

# 江苏水域 7 种重要养殖鱼类的同工酶分析

吴兴兵<sup>1</sup>, 许璞<sup>2</sup>, 戴卫平<sup>3</sup>, 张伟明<sup>4</sup>, 林建华<sup>5</sup>, 许广平<sup>6</sup>, 亚平<sup>6</sup>, 杨家新<sup>1</sup>

(1 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097)

(2 常熟理工学院生物与食品工程系, 江苏 常熟 215500)

(3 南通市水产技术推广站, 江苏 南通 226006)

(4 苏州市水产研究所, 江苏 苏州 215107)

(5 江苏省太湖渔业管理委员会, 江苏 常州 213161)

(6 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007)

**[摘要]** 采用垂直板不连续聚丙烯酰胺凝胶电泳, 研究了江苏水域 7 种重要养殖鱼类肌肉的数种同工酶(LDH、EST、MDH、ME、ADH、GDH 和 POX), 对这些酶在各鱼种表达的位点与酶带分别作了分析. 根据所统计的位点和酶带数目计算出 6 种鲤科鱼间遗传距离和相似性系数. 聚类分析显示, 青鱼、草鱼与鲢、鳙先分别汇聚, 然后再汇聚成一个单元, 团头鲂与翘嘴红鲮汇聚成一个单元, 最后这两个单元汇聚在一起, 这与分类学结论一致. 本文还讨论了各种鱼同工酶酶谱差异、江苏水域重要养殖鱼类资源状况以及鳊和翘嘴红鲮不同种群间酶谱异同.

**[关键词]** 青鱼, 草鱼, 鲢鱼, 鳙鱼, 团头鲂, 翘嘴红鲮, 鳊鱼, 同工酶

**[中图分类号]** Q956 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2007)01-0096-06

## Analysis of Isozymes of Seven Kinds of Aquacultural Fishes in Jiangsu Waters

Wu Xingbing<sup>1</sup>, Xu Pu<sup>2</sup>, Dai Weiping<sup>3</sup>, Zhang Weiming<sup>4</sup>, Lin Jianhua<sup>5</sup>,  
Xu Guangping<sup>6</sup>, Ding Yaping<sup>6</sup>, Yang Jiaxin<sup>1</sup>

(1. School of Life Science Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. Department of Biology and Food Engineering Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

(3. Nantong Fisheries Technical Extension Station, Nantong 226006, China)

(4. Suzhou Fisheries Institute, Suzhou 215107, China)

(5. Gehu Lake Fisheries Management Committee of Jiangsu Province, Changzhou 213161, China)

(6. Jiangsu Institute of Marine Fisheries, Nantong 226007, China)

**Abstract** The patterns of expression in seven multilocus isozymic systems lactate dehydrogenase(LDH), Esterase(EST), malate dehydrogenase(MDH), malic enzyme(ME), alcohol dehydrogenase(ADH), glutamate dehydrogenase(GDH) and peroxidase(POX) about seven kinds of important fishes in Jiangsu are investigated. The spots and enzyme belts are analyzed. Genetic distance and the similar coefficient of six kinds of Cyprinidae fish are calculated based on the number of spots and enzyme belts. The result of UPGMA is that *Mylopharyngodon piceus* with *Ctenopharyngodon idellus* cluster and *Hypophthalmichthys molitrix* with *Aristichthys nobilis* cluster, these two groups form a unit. Finally, this unit joins in the other unit to form *Megalobrama amblycephala* and *Erythroculter ilishaefomis*. The phylogenetic relationship is consistent with the result of taxonomy. The differences of enzyme spectrums in the seven fishes, the genetic resource conditions of these important agricultural fishes and the difference of enzyme spectrum in *Erythroculter ilishaefomis* and *Siniperca chuatsi* from different populations are also discussed in this article.

**Key words** *Mylopharyngodon piceus*, *Ctenopharyngodon idellus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Megalobrama amblycephala*, *Erythroculter ilishaefomis*, *Siniperca chuatsi*, isozyme

收稿日期: 2005-12-26 修回日期: 2006-03-09

基金项目: 江苏省科技公益专项资金(BM2003705)资助项目.

作者简介: 吴兴兵(1979-), 硕士研究生, 主要从事水产分子生物学的学习与研究. E-mail: passedday@163.com

通讯联系人: 杨家新(1963-), 教授, 主要从事水生生物学的教学与研究. E-mail: jiaxinyp@public1.ptt.js.cn

## 0 引言

青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) (以下简称四大家鱼)、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)、翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaefomis*)和鳊 (*Siniperca chuatsi*)是重要的淡水养殖物种,其养殖产量在我国淡水养殖业中占有重要比重,尤其是四大家鱼养殖一直是淡水养殖的主导产业<sup>[1]</sup>。

近年来不断出现养殖鱼类性状退化现象,如生长缓慢、性成熟提前、亲鱼个体小型化以及品质下降等。养殖物种性状退化不仅对养殖产业造成了不利影响,而且有些逃逸性强的种类还可能对天然种群造成遗传渗透<sup>[2]</sup>。造成养殖物种性状退化的原因主要和遗传多样性的丧失有关<sup>[3]</sup>。现代遗传学观点认为,一个物种遗传多样性高低与其适应能力、生存能力和进化潜力密切相关,遗传变异是有机体适应环境的必要条件<sup>[4]</sup>。限制性环境条件是生物种群遗传变异变窄的重要因素<sup>[5]</sup>。同工酶和 RAPD 遗传标记对四大家鱼和团头鲂等养殖种群或远近交种群的研究,也证实了致使养殖种群遗传变异程度下降的主要原因可能是近交<sup>[6-7]</sup>。

目前关于上述鱼种生化遗传方面的资料主要集中在对天然种群的研究。20世纪80年代起,国内学者运用同工酶遗传标记从个体发育、组织特异性和种群遗传多样性等方面较系统地考察了四大家鱼和团头鲂,以了解其种群资源状况,胚胎发育过程中基因表达和调控,种群亲缘关系以及系统发育等<sup>[8-13]</sup>。根据这些研究结果,专家提出了一系列保护天然种群的措施,包括保护产卵场所、建立天然保护区和制定种质标准参数等<sup>[14]</sup>。

江苏地处长江下游地带,具有淡水养殖的优越条件,四大家鱼、团头鲂、鳊和翘嘴红鲌是这一地区重要淡水养殖物种。迄今有关该水域养殖鱼类遗传资源状况尚未见有专门报道。本文采用同工酶遗传标记,对上述养殖鱼种进行遗传变异研究,旨在了解这些种群的资源现状,为维持或改良养殖种群遗传结构及其遗传育种提供基础性资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

实验用鱼取自江苏境内国家和地方水产良种场。四大家鱼取自南通市水产良种场,引种自国家级邗江四大家鱼原种场,为长江下游原种繁殖的后代种群,鱼体规格约 15 cm;团头鲂取自国家级溇湖团头鲂良种场,为溇湖水域人工选育的亲本后代,规格约 25 cm;鳊和翘嘴红鲌取自苏州市水产研究所,均为太湖水域野生亲鱼的繁殖后代,鳊规格约 20 cm,翘嘴红鲌规格约 25 cm。选用的实验鱼体均经充氧袋运回实验室,并在充气水槽中暂养备用。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 酶液提取

取鱼体肌肉 0.4 g 双蒸水冲洗干净,吸水纸吸干,置于研钵,按 1:3(*w/v*)加入 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 (pH 7.0),冰浴研磨。4℃下 10 000 r/min 离心 30 min,吸取上清液用于电泳分析。

#### 1.2.2 电泳

采用垂直平板不连续聚丙烯酰胺凝胶电泳法,电泳槽为 DYCZ-24D 型。聚丙烯酰胺凝胶制备参照卢龙斗等的方法<sup>[15]</sup>,浓缩胶 5%,分离胶 10%;电极缓冲液为 Tris-Gly 溶液 (pH 8.3)。进样量 45~50 μL,指示剂为溴酚蓝,电泳在 4℃下进行,电泳时间 4~5 h。

#### 1.2.3 染色

染色方法参照卢龙斗等<sup>[15]</sup>和 Shaw 等<sup>[16]</sup>的方法并略加改进,染色完毕后用数码相机摄片。电泳酶谱谱带命名和分析参照熊全沫的方法<sup>[17]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 同工酶谱表型

通过实验筛选,LDH、EST、MDH、ME、ADH、GDH 和 POX 酶谱稳定且酶带清晰,被选作分析对象。

LDH (乳酸脱氢酶) 为位点 LDH - A 和 LDH - B 编码的四聚体. 青鱼、草鱼、团头鲂和翘嘴红鲌检测到 5 种四聚体酶带  $A_4$ 、 $A_3B$ 、 $A_2B_2$ 、 $AB_3$  和  $B_4$  (图 1), 鲢和鳙检测到 3 种四聚体酶带  $A_2B_2$ 、 $AB_3$  和  $B_4$ , 鳊检测到 2 种四聚体酶带  $AB_3$  和  $B_4$ .

EST (酯酶) 为单体酶. 青鱼检测到由 EST - 4 编码的 1 条酶带, 草鱼、鲢和鳙检测到由 EST - 3 编码的 1 条酶带, 团头鲂和翘嘴红鲌检测到由 EST - 3 和 EST - 4 编码的 2 条酶带 (图 2), 鳊检测到由 EST - 1、EST - 2 和 EST - 4 编码的 3 条酶带 (见图 4).

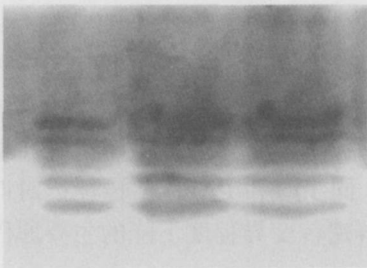


图 1 青鱼 LDH 酶谱

Fig.1 The electropherograms of LDH of *Mylopharyngodon piceus*

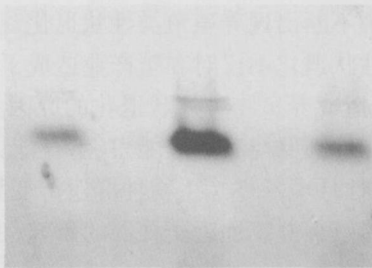


图 2 团头鲂 EST 酶谱

Fig.2 The electropherograms of EST of *Megalobrama amlycephala*

GDH (谷氨酸脱氢酶) 为 2 个位点编码的二聚体. 青鱼检测到 6 条酶带, 2 个位点各编码 3 条酶带; 草鱼、鳙、团头鲂和翘嘴红鲌检测到 5 条酶带, 位点 GDH - 1 编码 2 条酶带, 位点 GDH - 2 编码 3 条酶带; 鲢检测到位点 GDH - 2 编码的 3 条酶带; 鳊检测到由 GDH - 1 编码的 3 条酶带.

ADH (乙醇脱氢酶) 为 2 个位点编码的二聚体. 青鱼和草鱼检测到由 5 条酶带 (图 3); 鲢检测到 2 条酶带; 鳙检测到 3 条酶带, 位点 ADH - 1 编码 2 条酶带, 位点 ADH - 2 编码 1 条酶带; 团头鲂和翘嘴红鲌检测到 5 条酶带, 位点 ADH - 1 编码 2 条酶带, 位点 ADH - 2 编码 3 条酶带; 鳊检测到 3 条酶带, 位点 ADH - 1 编码 1 条酶带, 位点 ADH - 2 编码 2 条酶带.

MDH (苹果酸脱氢酶) 有 s-MDH 和 m-MDH 两种类型, 均是由 2 个位点编码的二聚体. 青鱼、草鱼、鲢和鳙检测到 5 条酶带, s-MDH 的 2 个位点 (s-MDH - A 和 s-MDH - B) 编码 2 条酶带, m-MDH 的 2 个位点 (m-MDH - C 和 m-MDH - D) 编码 3 条酶带; 团头鲂和翘嘴红鲌检测到 6 条酶带, s-MDH 的 2 个位点和 m-MDH 的 2 个位点各编码 3 条酶带; 鳊检测到 3 条酶带, s-MDH 编码 1 条酶带, m-MDH 的 2 个位点编码 2 条酶带.

ME (苹果酸酶) 为 2 个位点编码的四聚体. 青鱼和草鱼检测到 4 条酶带  $A_4$ 、 $A_2B_2$ 、 $AB_3$  和  $B_4$ , 鲢检测到 2 条酶带  $A_4$  和  $B_4$ , 鳙检测到 3 条酶带  $A_4$ 、 $A_2B_2$  和  $B_4$ , 团头鲂检测到 5 条酶带  $A_4$ 、 $A_3B$ 、 $A_2B_2$ 、 $AB_3$  和  $B_4$ , 翘嘴红鲌检测到 2 条酶带  $A_4$  和  $B_4$ , 鳊检测到 1 条酶带.

POX (过氧化物酶) 为二聚体. 青鱼和草鱼检测到由 1 个位点编码的 1 条酶带; 鲢和鳙由 2 个位点编码, 位点 POX - 2 编码 1 条酶带, 位点 POX - 1 表现多态性; 团头鲂由 3 个位点编码, 位点 POX - 1 和 POX - 3 各编码 1 条酶带, 位点 POX - 2 表现多态性; 翘嘴红鲌检测到 6 条酶带, 位点 POX - 1 和 POX - 2 各编码 3 条酶带; 鳊检测到 5 条酶带, 位点 POX - 1 和 POX - 3 各编码 1 条酶带, 位点 POX - 2 编码 3 条酶带.

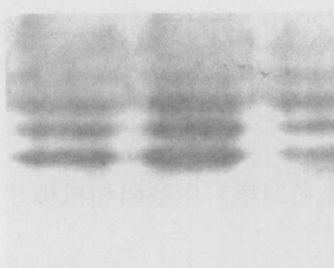


图 3 草鱼 ADH 酶谱

Fig.3 The electropherograms of ADH of *Ctenopharyngodon idella*

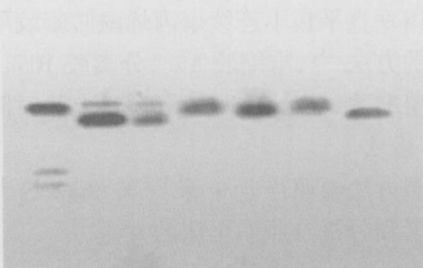


图 4 7 种鱼 EST 酶谱

Fig.4 The electropherograms of EST of seven fishes

2.2 遗传距离和聚类分支图

6种鲤科鱼的酶谱记录在 1/0 矩阵中, 根据 Nei 遗传距离公式计算出遗传距离和相似性系数, 如表 1 所示. 左下方为遗传距离, 右上方为相似性系数.

表 1 6种鲤科鱼遗传距离(左下方)和相似性系数(右上方)矩阵

	青鱼 (MP)	草鱼 (CI)	鲢 (HM)	鳙 (AN)	团头鲂 (MA)	翘嘴红鲌 (ER)
MP	—	0.793 9	0.664 3	0.750 0	0.488 9	0.482 2
CI	0.206 1	—	0.733 3	0.722 2	0.575 5	0.568 9
HM	0.335 7	0.266 7	—	0.996 0	0.618 1	0.611 4
AN	0.350 0	0.277 8	0.004 0	—	0.660 9	0.654 3
MA	0.511 1	0.424 5	0.381 9	0.339 1	—	0.966 6
ER	0.517 8	0.431 1	0.388 6	0.345 7	0.033 4	—

根据遗传距离, 用 PHILIP(v3.5)软件构建 6 种鲤科鱼聚类分析图(图 5). 青鱼、草鱼与鲢、鳙先分别汇聚, 然后再汇聚成一个单元, 团头鲂与翘嘴红鲌汇聚成一个单元, 最后这两个单元汇聚在一起.

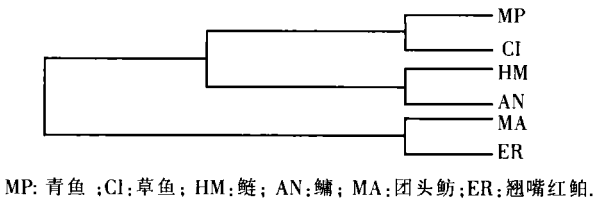


图 5 6 种鲤科鱼的聚类图  
Fig.5 The dendrogram of six fishes of cyprinoid

3 讨论

3.1 同工酶酶谱比较

同工酶作为一种遗传标记, 可以反映物种间亲缘关系<sup>[18]</sup>. 青鱼和草鱼属雅罗鱼亚科 (Leuciscinae), 在形态上也较相似. 二者酶谱显示: 在 MDH 和 ME 上无差异, GDH、ADH 和 LDH 在位点和酶带数目上相同, 只是草鱼的 3 种酶靠近阴极的 2 条酶带迁移速率明显较青鱼慢, 酶谱表现从生化水平反映了青鱼和草鱼的亲缘关系相近. 鲢和鳙属鲢亚科 (Hypophthalmichthinae), 在形态特征上有较多相似之处. 其 LDH、EST、POX 和 MD 酶谱相同, GDH、ADH 和 ME 表现出差别. 翘嘴红鲌和团头鲂同属鲌亚科 (Culterinae), 但形态差别较大. 从酶谱上看, 二者仍有较近的亲缘关系, 表现在 LDH、EST、GDH、ADH 和 MDH 上没有差别, 仅在 ME 和 POX 的酶带数目上表现出差异. 鳊和 6 种鲤科鱼分属不同目, 亲缘关系较远, 其酶谱也和其它鱼类差别较大.

作为反映编码蛋白的 DNA 信息的同工酶可以准确反映物种的亲缘关系, 甚至比受环境影响较大的形态学标记更合理<sup>[19]</sup>. 7 种鱼的酶谱分析所得结果和上述观点一致. 聚类结果显示了 6 种鲤科鱼类间亲缘关系, 同时也证实了同工酶遗传标记用于考察养殖鱼种之间差异的可靠性.

3.2 江苏水域重要养殖鱼类遗传资源状况

LDH、MDH、EST 和 ME 是以往进行四大家鱼与团头鲂生化遗传分析的重要内容. 将本次实验酶谱与历次研究结果比较(表 2), 可以看出江苏水域的四大家鱼亲本种群与取自长江天然种群和鄂州三山渔场的实验种群在 LDH、MDH 和 ME 的位点和酶带数目上基本一致, 与取自沙市长江水产研究所实验渔场的四大家鱼稍有差. 江苏水域亲本材料的 MDH、LDH 和 ME 在位点或酶带数目上较丰富, 说明江苏水域四大家鱼养殖种群具有与天然种群一致的遗传变异水平. 团头鲂与取自长江中、下游天然种群以及中国科学院水生生物研究所水关桥实验所的实验种群在 LDH 和 MDH 上没有差别, 因此就 LDH 和 MDH 看, 江苏水域人工选育的团头鲂繁殖种群仍保持着原种的遗传性状. 生化遗传研究结果表明, 江苏境内国家和地方良种场的四大家鱼和团头鲂亲本仍属于良种种群.

EST的位点和酶带数目在历次研究结果中起伏较大,推测可能与 EST 本身比较复杂且弱带显带不稳定有关<sup>[20]</sup>,但本次实验检测到的 EST 显带稳定,酶谱清晰. GDH、ADH 和 POX 在以往研究仅在肝脏、晶体、心脏或肾脏中检测到活性,但在本实验中上述几种鱼的肌肉中均检测到活性,表明它们同属鱼体组织普遍表达的酶带. 这些酶可用于遗传资源的评估.

表 2 7种重要鱼类同工酶研究结果比较

Table 2 The comparative study on the enzyme spectrums of seven fishes

鱼名	电泳方法	实验鱼来源	研究者	LDH	EST	MDH	ME
青鱼	聚丙烯酰胺凝胶	长江汉阳、九江	李思发等 ( 1986、1992、1998 )	5	3	6	
	聚丙烯酰胺凝胶	长江武汉	无锡淡水渔业研究中心 ( 1998 )	5		6	
	淀粉凝胶	长江武汉	吴力钊等 ( 1990 )			6	
	聚丙烯酰胺凝胶	湖北沙市	姜建国等 ( 1997 )	5	3	2	3
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏南通	本次实验 ( 2005 )	5	1	5	4
草鱼	聚丙烯酰胺凝胶	长江汉阳、九江	李思发等 ( 1986、1992、1998 )	5	4	6	
	聚丙烯酰胺凝胶	长江武汉	朱蓝非等 ( 1982 )	5			
	淀粉凝胶	湖北鄂州	吴力钊等 ( 1987 )	5	11	6	
	聚丙烯酰胺凝胶	湖北沙市	姜建国等 ( 1997 )	5	2	2	2
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏南通	本次实验 ( 2005 )	5	1	5	4
鲢	聚丙烯酰胺凝胶	长江汉阳	李思发等 ( 1992、1998 )	5	3	6	2
	聚丙烯酰胺凝胶	长江武汉	朱蓝非等 ( 1982 )	5			
	聚丙烯酰胺凝胶	长江	刘青 ( 1986 )	5			
	聚丙烯酰胺凝胶	湖北沙市	姜建国等 ( 1997 )	2	2	4	2
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏南通	本次实验 ( 2005 )	3	1	5	2
鳊	聚丙烯酰胺凝胶	长江汉阳、九江	李思发 ( 1986、1992、1998 )	5	2	6	2
	聚丙烯酰胺凝胶	长江武汉	朱蓝非等 ( 1982 )	5			
	聚丙烯酰胺凝胶	长江南京	吴力钊等 ( 1992 )	5	2	6	
	聚丙烯酰胺凝胶	湖北荆沙市	姜建国等 ( 1998 )	2	1	2	2
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏南通	本次实验 ( 2005 )	3	1	5	3
团头鲂	淀粉凝胶	湖北武汉	傅予昌等 ( 1988 )	5	2	6	
	聚丙烯酰胺凝胶	武汉、邗江	李思发等 ( 1998 )	5		6	
	聚丙烯酰胺凝胶	江西鄱阳湖	朱必凤等 ( 1999 ) <sup>[21]</sup>		4		
	聚丙烯酰胺凝胶	江西鄱阳湖	欧阳敏等 ( 1999 )		4		
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏溇湖	本次实验 ( 2005 )	5	2	6	5
鳊	聚丙烯酰胺凝胶	江西鄱阳湖	朱必凤等 ( 1999 )	2			
	聚丙烯酰胺凝胶	江西鄱阳湖	李达等 ( 2002 ) <sup>[22]</sup>		4		
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏太湖	本次实验 ( 2005 )	2	2		
翘嘴红鲌	淀粉凝胶	黑龙江兴凯湖	马波等 ( 2000 ) <sup>[23]</sup>	5	4	6	4
	聚丙烯酰胺凝胶	江苏太湖	本次实验 ( 2005 )	3	2	6	2

3. 3 鳊鱼和翘嘴红鲌不同种群酶谱比较

通过对表 2资料分析,可以看出鳊和翘嘴红鲌的不同种群酶谱显示差异. 太湖鳊和鄱阳湖鳊的 LDH、EST 和 POX 酶谱存在差异: 太湖鳊的 LDH 为 AB<sub>3</sub> 和 B<sub>4</sub> 2条酶带, 鄱阳湖鳊为 A<sub>4</sub> 和 B<sub>4</sub> 2条酶带; 太湖鳊的 EST 为 2条酶带, 鄱阳湖鳊为 4条酶带; 太湖鳊的 POX 检测到活性, 鄱阳湖鳊未检测到活性. 太湖翘嘴红鲌和兴凯湖翘嘴红鲌相比,除 MDH 无差别外, LDH、EST 和 ME 的酶谱都存在差异: 太湖翘嘴红鲌的 LDH 为 3条酶带, 兴凯湖翘嘴红鲌为 5条酶带; 太湖翘嘴红鲌的 EST 为 2条酶带, 兴凯湖翘嘴红鲌为 4条酶带; 太湖翘嘴红鲌的 ME 为 2条酶带, 兴凯湖翘嘴红鲌为 4条酶带. 鳊和翘嘴红鲌不同种群酶谱上的差异,反映了不同种群由于地域或繁殖上彼此隔离,形成生化遗传水平上的差异.

[参考文献]

[ 1 ] 李思发, 吴力钊, 王强, 等. 长江、珠江、黑龙江三水系的鲢、鳊、草鱼原种种群生化遗传结构和变异 [ J ]. 水产学报, 1986, 10( 4 ): 351-370.

[ 2 ] Clifford S L, Mc Ginnity P, Ferguson A. Genetic changes in an Atlantic salmon population resulting from escaped juvenile

- fam salmon[ J]. Journal Fish Biology, 1998, 52( 1): 118-127.
- [ 3] 张喜昌,梁玉波,刘仁沿,等. 海湾扇贝养殖群体遗传多样性的研究[ J]. 海洋科学, 2002, 24( 2): 107-114.
- [ 4] Conrad M. Adaptability: The Significance of Variability From Molecular to Ecosystem[M]. New York: Plenum Press, 1983.
- [ 5] Engelbrecht G D, Mulder P F S. Allozyme variation in the river sardine *Meobola brevianalis* ( Pisces, Cyprinidae) [ J]. Water S A, 1999, 25( 3): 293-295.
- [ 6] 李思发,李广丽. 一代远近交选育对团头鲂遗传变异影响的初步研究[ J]. 水产养殖, 1992( 6): 13-15.
- [ 7] 张德春,余来宁,方耀林. 草鱼自然种群和人工繁殖种群遗传多样性的研究[ J]. 淡水渔业, 2004, 34(4): 5-7.
- [ 8] 吴力钊,王祖熊. 草鱼同工酶发育遗传学研究:不同组织器官的同工酶分析[ J]. 遗传学报, 1987, 14(4): 278-286.
- [ 9] 吴力钊,王祖熊. 长江下游鳊鱼天然种群的生化遗传变异[ J]. 水生生物学报, 1991, 15( 1): 94-96.
- [ 10] 吴力钊,王祖熊. 长江中游鲢鱼天然种群的生化遗传结构及变异[ J]. 水生生物学报, 1997, 21( 2): 157-162.
- [ 11] 姜建国,熊全沫,姚汝华. 青鱼不同组织中同工酶的表达模式[ J]. 水生生物学报, 1997, 21( 4): 353-358.
- [ 12] 姜建国,熊全沫,姚汝华. 鲢鱼的同工酶研究[ J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 1998, 26( 1): 108-111.
- [ 13] 姜建国,熊全沫,姚汝华. 鳊鱼不同组织的同工酶研究[ J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 1998, 26( 3): 68-72.
- [ 14] 李思发. 长江重要生物多样性和保护研究[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2001.
- [ 15] 卢龙斗,常重杰,杜启艳,等. 遗传学实验技术[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1996.
- [ 16] Shaw C R, Prasad R. Starch gel electrophoresis of enzymes— a compilation of recipes[ J]. Biochemical Genetics, 1970, 4( 2): 297-320.
- [ 17] 熊全沫. Lucania的同工酶研究[ J]. 中国科学( B辑 ), 1986( 1): 48-54.
- [ 18] Na-Na Kom U, Sodsuk P, W ongrat P, et al. Isozyme variation among four species of the catfish genus *Clarias*[ J]. Journal of Fish Biology, 2002, 60( 4): 1 051-1 057.
- [ 19] Blair S M, Mathieson A C, Cheney D P. Morphological and electrophoretic investigations of selected species of *Chaetomorpha* ( Chlorophyta Chlorophorales) [ J]. Phycologia, 1982, 21: 164-172.
- [ 20] 姜建国,熊全沫,姚汝华. 草鱼同工酶的组织分布及遗传结构分析[ J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 1997, 25(12): 105-110.
- [ 21] 朱必凤,葛刚,彭志勤,等. 鄱阳湖鳊鱼、团头鲂肌肉四种同工酶研究[ J]. 南昌大学学报:自然科学版, 1999, 23( 1): 62-66.
- [ 22] 李达,杨春,张力,等. 鄱阳湖鳊鱼不同组织中乳酸脱氢酶同工酶的比较研究[ J]. 淡水渔业, 2002, 32( 6): 41-43.
- [ 23] 马波,石连玉,伊家胜. 兴凯湖翘嘴鲇同工酶的研究[ J]. 水产学杂志, 2000, 13( 2): 63-68.

[责任编辑:孙德泉]