

鲤鱼鸟氨酸脱羧酶基因的序列特征和表达

俞菊华^{1,2} 李红霞¹ 唐永凯¹ 李建林¹ 夏正龙² 董在杰¹
徐雄峰² 范中原² 王志超²

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室,
无锡 214081; 2. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081)

CHARACTERIZATION AND EXPRESSION ANALYSIS OF ORNITHINE DECARBOXYLASE 1 GENES OF *CYPRINUS CARPIO* L.

YU Ju-Hua^{1,2}, LI Hong-Xia¹, TANG Yong-Kai¹, LI Jian-Lin¹, XIA Zheng-Long²,
Dong Zai-Jie¹, XU Xiong-Feng², FAN Zhong-Yuan² and WANG Zhi-Chao²

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture,
Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;
2. Wuxi Fishery College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China)

关键词: 鲤鱼; 鸟氨酸脱羧酶; 基因序列; 基因表达

Key words: *Cyprinus carpio* L.; Ornithine decarboxylase; Gene sequence; Gene expression

中图分类号: Q781 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)03-0566-06

鸟氨酸脱羧酶(Ornithine decarboxylase, ODC)活性能够影响机体的多种生物学过程, 包括细胞生长、分化、转化和凋亡等^[1]。在人类疾病研究中, ODC 被作为癌症等疾病治疗的一个靶位点^[2]。在养殖业中, ODC 是生长密切相关的候选基因, 研究报道鸡鸟氨酸脱羧酶基因位于生长 QTL 区内, 该基因启动子上的多态性与生长和躯体框架特征显著相关^[3]。鸟氨酸脱羧酶活性在生长旺盛的组织要明显高于生长缓慢的细胞和组织, 常被作为细胞增殖的指标^[4]。肌肉鸟氨酸脱羧酶活性被认为是与蛋白合成相关的生化指标。大西洋鲑(*Salmo salar*)的研究表明, 生长快的大西洋鲑幼鱼背轴肌肉鸟氨酸脱羧酶活性明显高于生长慢的^[5], 能作为特定生长率的指标^[6]。

鸟氨酸脱羧酶基因自 1985 年从鼠(*Mus musculus*)^[7]中被克隆后, 陆续在不同分类地位的物种中克隆到, 如莱茵衣藻(*Chlamydomonas reinhardtii*)^[8]、蟾蜍(*Xenopus laevis*)^[9]、牛(*Bos Taurus*)^[10]、鸡(*Gallus gallus*)^[11]、人(*Homo sapiens*)^[12]以及斑马鱼(*Danio rerio*)^[13]、褐牙鲈

(*Paralichthys olivaceus*)^[14]、大西洋鲑^[15]和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[16]等。本实验使用 RT-PCR 和 RACE 法, 在鲤鱼肝脏 cDNA 中克隆 *CcODC1* (*Cyprinus carpio ODC1*, *CcODC1*) cDNA 全序列。然后, 在 DNA 水平克隆部分基因, 通过搜索鲤鱼基因组序列, 获得了两个鲤鱼 *ODC1* 基因, 分析了该基因序列特征和基因结构。使用荧光定量 RT-PCR 方法测定了这两个 *ODC1* 基因在鲤鱼不同组织中的表达水平, 研究不同生长率对基因表达的影响, 探讨该基因的表达和鲤鱼生长的关系。本实验为今后在该基因上筛选生长相关的分子标记提供了基础和依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼取自中国水产科学院淡水渔业研究中心宜兴养殖基地。两龄建鲤成鱼 3 尾 500 g 左右, 取肝组织抽提 RNA 克隆 *ODC1* cDNA。尾静脉血抽提基因组 DNA, 克

收稿日期: 2012-04-10; 修订日期: 2012-12-09

基金项目: 水产分子育种共性技术的建立与应用(200903045); 国家科技部“863 计划”项目(2011AA100401); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46); 鲤肉质相关分子标记的挖掘(2013JBFM03)资助

通信作者: 俞菊华(1966—), 女, 江苏苏州人; 博士, 研究员; 主要从事水生生物技术研究。E-mail: yujh@ffrc.cn

隆部分内含子。同批繁殖的 1 龄建鲤养殖在池塘和网箱中, 体重分别是(590±45) g 和(45±3.5) g 的雌雄各 3 尾; 解剖鱼体后分别取端脑、肝、肠、性腺和背部肌肉用于 RNA 提取。

1.2 实验方法

RNA、DNA 抽提 RNA 抽提使用 RNAiso Reagent (Takara, 大连), 按照使用说明书抽提总 RNA, 紫外分光光度计(Eppendorf)测定 RNA 浓度, $A_{260}/_{280}$ 一般为 1.9—2.0。DNA 抽提使用传统酚-仿法。

***CcODC1s* 基因的克隆** 引物: 通过搜索 GenBank, 获得斑马鱼(NM_131801)、褐牙鲈(AY214169)、大西洋鲑(BT045263)、人(AK292352)、鸡(AJ392686)等的 *ODC1* cDNA 序列, 使用 ClustalW 进行序列比对, 在保守区设计引物, 优先考虑斑马鱼序列。所有引物(表 1)均由上海博尚生物有限公司合成。

***CcODC1* 全长 cDNA 克隆** 肝脏总 RNA 约 5 μ g, 使用 M MLV (Rnase H⁻) (Takara, 大连)按照说明书配制反应液, 42°C 1h, 85°C 5min 在 PCR 仪 (Eppendorf)上进行 RT 反应, 取 RT 液 2 μ L 于 25 μ L 反应体系, 分别使用引物对 E1F-E6R, E6F-E9R 和 E8F-E11R 获得部分片段, 及 3'RACE 获得基因 3'端序列, 拼接得 *CcODC1* 全长 cDNA 序列。

***CcODC1s* 部分内含子获得:** 基因组 DNA 100 μ g 为模板, 分别使用引物对 E5F-E6R、E6F-E9R 和 E10F-E11R, 克隆内含子 5、6、7、8 和 10。结果均能得到两长度差异的片段, 使用这些片段以及全长 cDNA 序列, 在中国水产科学研究院基因中心鲤鱼基因组测序结果中提取到鲤鱼

两个 *ODC1* 基因。

DNA 片段的回收、克隆和转化 PCR 反应液经 1%琼脂糖电泳, 切割目的条带, 使用胶回收试剂盒(上海申能博彩)回收, 后与 pMD18-T 载体(Takara, 大连)16°C 连接 2h 以上, 后转入 DH5 α 敏感态细胞, 蓝白斑挑选菌落, *EcoR* +*Hind* 双酶切验证阳性克隆, 阳性克隆送至上海博尚生物有限公司测序。

组织表达 *CcODC1a* 和 *b* 定量引物均跨内含子 8 和 9, 通过较短的延伸时间避免 RNA 中残留的少量 DNA 干扰, 根据产物 T_m 温度和电泳片段长度可以判别是 RNA 或 DNA 的产物。两基因定量引物扩增产物均为 320 bp, *a* 基因产物能被 *Bsh* 1236I 酶切为 122 bp 和 198 bp, 而 *b* 基因产物则不能。内标 β -actin 引物根据鲤鱼 β -actin 基因 (M24113)设计, 扩增片段长 278 bp。实时定量 RT-PCR 使用 SYBR PrimeScript RT-PCR Kit (Takara), 反应在定量 PCR 仪(Takara)上进行, 使用 5 μ g 总 RNA 在 20 μ L 体系进行 RT 反应, PCR 反应总体积 20 μ L, cDNA 模板 2 μ L, 引物各 0.8 μ L (引物浓度 10 μ mol/L), 反应条件 95°C 30s; 95°C 5s, 61°C 30s, 40 个循环, T_m 曲线。使用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法^[17] 计算基因表达量。

序列分析 使用 DNASTar、DNATools 5.1 进行序列拼接和氨基酸翻译, Clustal W 在线分析序列间的相似性, Mega4.0 构建系统进化树。

2 结果

2.1 *CcODC1s* 基因结构和序列分析

RT-PCR 和 3'RACE 获得包含鲤鱼 *ODC1* 完整阅读框

表 1 实验使用引物信息
Tab. 1 Information of primers used in this experiment

| 引物 Primer | 序列 Sequence (5'—3') | 退火温度 Annealing temperature (°C) | 扩增片段 PCR fragment |
|-------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| E6F | GTTCTCCGCATCGCCACAGA | 58 | 部分 cDNA 序列及内含子 6—8 |
| E9R | CGCCGTCATTACGTCAGTACATCAG | | |
| E1F | CTCTGGTCTAATGGGAACACTCTTTG | 55 | 5'端 cDNA |
| E6R | GTACGTCTCAGGATCAGTGCAGC | | 外显子 8—11 |
| E8F | GATAAGTATTTCCCTGTTGACTGCGG | 58 | |
| E11R | CACGAATCTGCTGCATGCACTG | | 3'端 cDNA |
| 3F1 | GACCTGTGATGGGCTGGACC | 56 | |
| 3F2 | GGCGACTGGCTGCTGTTTGA | 58 | |
| E5F | AAGCAGGATCATCTACGCCAATC | 55 | 与 E6R 扩增内含子 5 |
| E10F | GATGAGCGCATGTACCCCTGC | 58 | 与 E11R 扩内含子 10 |
| a-DF | GGTCATCATGAAGGAGCAATCGT | 61 | 定量 <i>a</i> 基因 |
| a-DR | AGCCATTAAGTGAAGAAGCAG | | |
| b-DF | GGTCATCATGAAGGAGCAATCAG | 61 | 定量 <i>b</i> 基因 |
| b-DR | ATTGAAGGTGGAGGATGCGG | | |
| β -actin-DF | CGCCCCAGACATCAGGGTG | 61 | 定量内标 |
| β -actin-DR | GTGTTGAAGGTCTCAAACATGATCTGTG | | |

1383 bp 的 cDNA 序列(JQ342671), 编码 461 个氨基酸。根据已获 cDNA 序列和内含子 5—8、10 的序列在已有鲤鱼基因组序列中提取到 2 条 *CcODC1* 序列, 使用 PCR 对序列进行部分验证, 得到两条 *CcODC1* 基因 (JQ342674, JQ342675), 与 cDNA 序列比对, 发现整个基因有 10 个内含子, 内含子 1 和 2 在 5'UTR 内, 相对于人等哺乳动物, 缺少内含子 6。10 个内含子的位置与斑马鱼的完全一致, 但大部分的长度比斑马鱼的短 (表 2)。

表 2 鲤鱼和斑马鱼 *ODC1* 基因内含子长度

Tab. 2 Lengths of introns in *ODC1*s of common carp and zebrafish

| | ODC1a | ODC1b | <i>Danio rerio</i> ODC1* |
|------------------|-----------|-----------|--------------------------|
| 内含子 1 Intron 1 | 1115 | 764 | 758 |
| 内含子 2 Intron 2 | 646 | 644 | 1865 |
| 内含子 3 Intron 3 | 133 | 144 | 2070 |
| 内含子 4 Intron 4 | 143 | 149 | 261 |
| 内含子 5 Intron 5 | 278 | 491 | 1582 |
| 内含子 6 Intron 6 | 81 | 88 | 739 |
| 内含子 7 Intron 7 | 84 | 102 | 480 |
| 内含子 8 Intron 8 | 210 | 233 | 262 |
| 内含子 9 Intron 9 | 86 | 84 | 1741 |
| 内含子 10 Intron 10 | 577—607** | 393—400** | 1759 |

注: *斑马鱼 *ODC1* DNA 序列来自 DNA 连锁群 17 (CU638706)克隆 CH1073-378J2; **不同个体长度不等是因为其中存在重复序列

Note: *Zebrafish *ODC1* DNA sequence was from clone CH1073-378J2 in linkage group 17 (CU638706); **Repeated sequences lead to different lengths in different individuals

鲤鱼 *ODC1* 的 5'UTR 区外显子 1 存在一个短阅读框, 编码 9 个氨基酸 (MGKLFVNAF.), 与斑马鱼 (MGTLFVNAF.) 相差 1 个氨基酸, 和牙鲈 (MDKKFVNAF.) 相差 2 个氨基酸, 与褐鼠 (*Rattus norvegicus*) (MGPASRFPVL. NM_012615) 相比少 1 个氨基酸, 序列相差也较大。在外显子 3 起始部位存在内部核糖体插入位点 UUUC 序列 (Internal ribosome entry site, IRES)。ODC1a 和 b 5'UTR 序列相似性为 93%, 主要差异为 b 的外显子 2a 多 14 bp 和 10 bp 两小段。*CcODC1* 5'UTR 序列与斑马鱼相似性为 92%, 与牙鲈为 69%, 与哺乳类鼠的为 23%。*CcODC1* 3'UTR 序列与斑马鱼相似性最高为 64%, 与牙鲈为 42%, 与哺乳类鼠的为 18%。

CcODC1 基因阅读框碱基序列间相似性高达 96%, 阅读框编码 461 个氨基酸, 两者相似性为 96%, 与斑马鱼的相似性分别为 94% 和 95%。和其他物种 *ODC1* 氨基酸序列比对发现: *ODC1* 二聚物形成关键位点 (D134、K169、K294、Y324、Y332、D365、G388、F398) 以及酶活性关键位点 (K69、D88、R154、K169、H197、G235、G236、G237、R277、Y324、D333、C361、D362、Y390、

N399) 高度保守, 在鱼类 (鲤鱼、斑马鱼、大西洋鲑、褐牙鲈) 和人、鸡等的完全一致; 与 *ODC* 抑制酶结合的氨基酸区域 (117VSQIKYASAHGVQMMTFDSDELML140) 保守性也很高, 只有下划线的 4 个位点存在差异, 其中前面 3 个在鱼类中一致; C-端对应人的两个蛋白降解元件 (376—424, 422—461) 保守性较差。

2.2 *CcODC1*s 的系统进化

在基因库中提取其他物种的 *ODC1* 氨基酸序列, 包括鱼类的斑马鱼 (NM_131801)、虹鳟 (ACT22738)、大西洋鲑 (ACI33056, ACI33525)、罗非鱼 (XP_003445497) 和褐牙鲈 (AAO92750)、两栖类的蟾蜍 (NP_001080167), 爬行类的绿安乐蜥 (*Anolis carolinensis*, XP_003215471), 鸟类中的鸡 (NP_001161238) 和哺乳类包括鸭嘴兽 (*Ornithorhynchus anatinus*, XP_001513468)、鼠 (AAH33264) 和人 (NP_002530), 以莱茵衣藻 (CAE46410) 为外群, 使用 Mega 软件构建 NJ 系统树 (图 1)。结果显示, 鲤鱼的两个 *ODC1* 是斑马鱼 *ODC1* 的同源基因, 所有鱼类的 *ODC1* 聚为一支, 其中鲤科 (斑马鱼和鲤鱼)、鲑科 (虹鳟和大西洋鲑) 和鲈科 (罗非鱼和牙鲈) 又分属不同的小支, 且鲤科鱼类与鲑科鱼类的亲缘关系比与鲈科鱼类近; 另一大支包括蟾蜍一小支, 爬行类绿安乐蜥和鸟类 (鸡) 一小支以及哺乳类 (鸭嘴兽、鼠、人) 一小支, 但考虑到置信值低于 70 分支不可信的情况, 鸭嘴兽可能是单独一支。

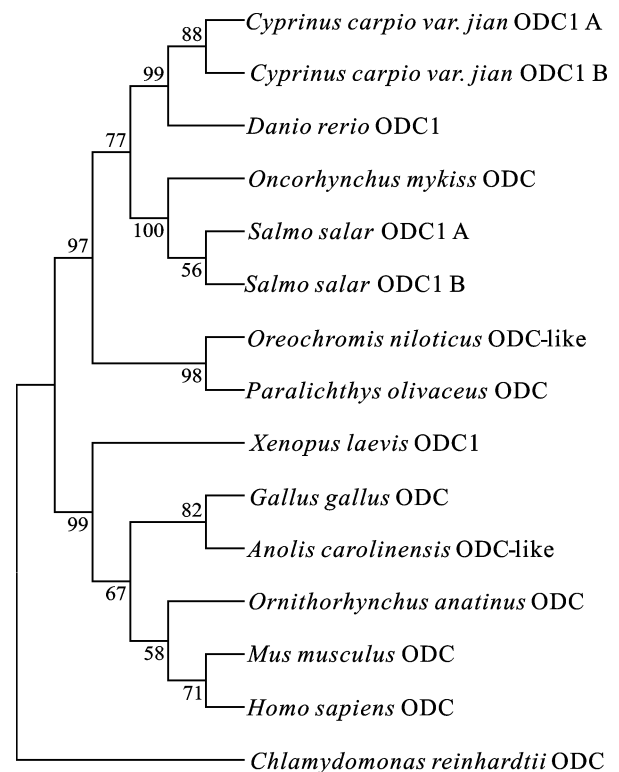


图 1 *ODC1* 邻接法系统进化树

Fig. 1 Phylogenetic tree of *ODC1* protein sequences based Neighbor-joining method

2.3 ODC1s 的表达

CcODC1a 和 b 引物的特异性 对 CcODC1a 和 b 定量产物进行随机检测, Bsh 1236I 酶切后电泳发现, a 基因产物均能被完全切为 122 bp 和 198 bp 两片段, b 产物则不能被酶切 (图 2), 证明本实验使用的引物特异。

CcODC1s 的表达 CcODC1a 和 b 的组织表达结果如下: a 基因在性腺、脑、肝和肌肉组织中表达量高于 b, 但肠中 b 的表达量要略高于 a, 除了在肝脏两者表达量差异

显著外, 其余差异不显著; 两 CcODC1s 在性腺的表达量最高, 是肠表达量的百倍以上, 其余依次是肝脏、前脑、肌肉和肠; 两基因的表达量在雌雄鱼没有显著差异 (图 3)。

生长呈明显不同的个体的前脑、肝脏、肠、肌肉中两 CcODC1s 的表达量, 结果: 生长快个体组织中的表达量普遍比生长慢个体组织中的表达量高, 在雌鱼肌肉中, 表达量差异显著, 雄鱼脑中 b 和肝中 a 的表达量差异显著, 其余差异不显著 (图 4)。

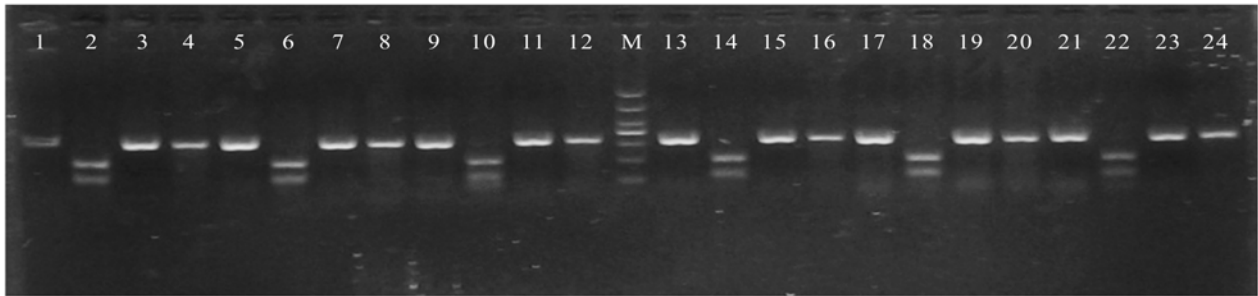


图 2 CcODC1a 和 b 定量 PCR 产物的特异性

Fig. 2 Specificity detection of PCR products of two CcODC1s

4 个点样孔为一组, 前 2 个为 ODC1b、1a PCR 液酶切后结果、后面 2 个为对应的 PCR 产物。1—12 为雌鱼, 13—24 为雄鱼, 依次为脑、肝和肌肉组织产物

Four sample wells are one group, the first two show the restriction fragments of ODC1b and 1a PCR, followed by two corresponding PCR products. 1—12 are female and 13—24 are male, in the order of brain, liver and muscle tissue products

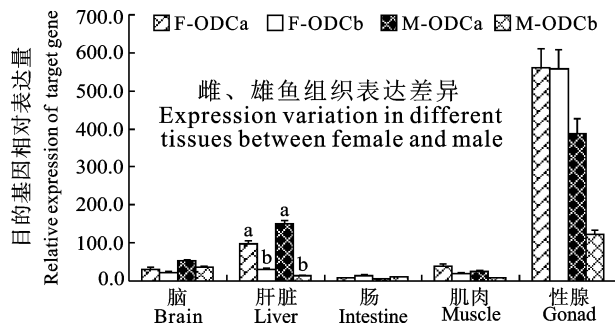


图 3 建鲤雌雄鱼 ODC1s 基因组织表达差异

Fig. 3 Expression variation of CcODC1s in different tissues between the male and female of *C. carpio* var. Jian

F 表示雌鱼, M 表示雄鱼, 显著性差异检验使用 *t*-检验不同字母表示 a 和 b 基因表达差异显著

F. female; M. male. T-test is used to test significant difference. Different letters indicate a and b genes significant difference

3 讨论

本实验在鲤鱼基因组克隆到两个与斑马鱼 ODC1 相似性极高的基因, 系统树也显示鲤鱼的两个 ODC1 基因对应斑马鱼的 1 个 ODC1 基因, 这一结果和鲤鱼的 *MSTN*^[18]、*GHR*^[19]、*GHSR*^[20] 等一样, 均反映了鲤鱼染色体数是斑马鱼的两倍的事实。CcODC1s 中存在 ODC1 功能和结构保守的氨基酸位点, 说明了这两个基因均具有鸟氨酸脱羧酶活性, 5'UTR 区和其他动物的 ODC1 一样也

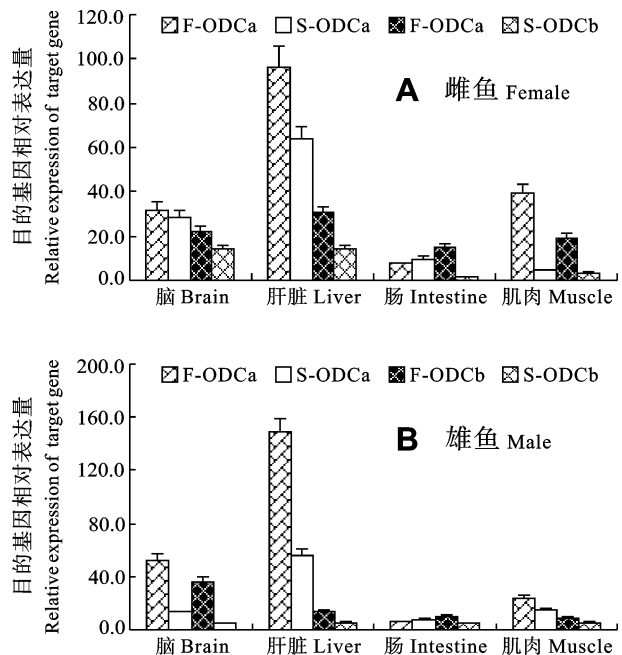


图 4 ODC1s 基因在建鲤雌鱼(A)和雄鱼(B)不同组织间的表达

Fig. 4 Expression of CcODC1s between the different tissues of the male (A) and female (B) of *C. carpio* var. Jian

F 表示生长快个体, S 表示生长慢个体, 不同字母表示同一基因在不同个体间表达差异显著

F. fast growing individuals; S. slow growing individuals. Different letters indicate significant difference of one gene between different individuals

存在一短的相对保守的阅读框和内部核糖体插入位点,显示翻译后调控机制存在一定保守性^[14],但5'UTR和3'UTR序列与哺乳类的差异比较大,说明调控效率和哺乳类的存在差异。双倍化基因的存在或者是两基因表达存在组织或发育阶段的差异,或者功能有差异^[19]。本实验的定量表达分析显示,两基因在不同组织的表达存在着差异,如在脑、肝和肌肉中*a*的表达量要高于*b*,提示了两基因的调控已经存在一定的差异。

已有研究证明凡生长旺盛的组织如胚胎、再生肝、肿瘤组织或动物给予生长激素,鸟氨酸脱羧酶的活性和多胺含量均会增加^[2, 4],鸟氨酸脱羧酶基因的表达受多种生长因子、紫外线、雄激素等的刺激上调^[21]。鲤鱼两个*ODC1*基因的定量表达结果显示在富含雄性激素、细胞增殖频繁的性腺组织表达量最高,其次是有多种生长因子存在的肝脏和脑,在肠中的表达量最低,这些结果符合上述观点。大西洋鲑的研究表明肌肉中鸟氨酸脱羧酶活性与生长有正相关性,可以作为特定生长率的指标^[5,6]。在鲤鱼中生长快个体肌肉中*CcODC1s*基因的表达量比生长慢个体中的要高,特别是在雌鱼中,说明*CcODC1s*基因的表达量和鲤鱼生长也有一定的正相关性。鲤鱼两个*ODC1*基因在生长不同个体的表达量变化说明鲤鱼*ODC1*基因的表达与生长呈正相关,可以作为筛选生长相关分子标记的候选基因。本文揭示的基因序列和基因结构为进一步的分子标记筛选提供了基础数据和依据。

参考文献:

- [1] Pendeville H, Carpino N, Marine J C, et al. The ornithine decarboxylase gene is essential for cell survival during early murine development [J]. *Molecular and Cellular Biology*, 2001, **21**(19): 6549—6558
- [2] Gerner E W, Meyskens F L. Polyamines and cancer: old molecules, new understanding [J]. *Nature Reviews Cancer*, 2004, **4**(10): 781—792
- [3] Uemoto Y, Sato S, Ohtake T, et al. Ornithine decarboxylase gene is a positional candidate gene affecting growth and carcass traits in F₂ intercross chickens [J]. *Poultry Science*, 2011, **90**(1): 35—41
- [4] Li E Z, Ning Q J, Li C K, et al. The effect of ornithine decarboxylase and polyamines on cell proliferation [J]. *Journal of Henan Normal University (Natural Science)*, 2004, **32**(1): 113—114 [李恩中, 宁黔冀, 李超堃, 等. 鸟氨酸脱羧酶及多胺对细胞增殖影响. 河南师范大学学报(自然科学版), 2004, **32**(1): 113—114]
- [5] Benfey T J, Saunders R, Knox D E, et al. Muscle ornithine decarboxylase activity as an indication of recent growth in pre-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Aquaculture*, 1994, **121**(1—3): 125—135
- [6] Arndt SKA, Benfey T J, Cunjak R A. A comparison of RNA concentrations and ornithine decarboxylase activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle tissue, with respect to specific growth rates and diel variations [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1994, **13**(6): 463—471
- [7] Kahana, C, Nathans, D. Nucleotide sequence of murine ornithine decarboxylase mRNA [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1985, **82**(6): 1673—1677
- [8] Voigt J, Fausel M, Bohley P, et al. Structure and expression of the ornithine decarboxylase gene of *Chlamydomonas reinhardtii* [J]. *Microbiological Research*, 2004, **159**(4): 403—417
- [9] Cao Y, Zhao H, Hollemann T, et al. Tissue-specific expression of an ornithine decarboxylase paralogue, XODC2, in *Xenopus laevis* [J]. *Mechanisms of Development*, 2001, **102**(1—2): 243—246
- [10] Yao J, Zadworny D, Kuhnlein U, et al. Molecular cloning of a bovine ornithine decarboxylase cDNA and its use in the detection of restriction fragment length polymorphisms in Holsteins [J]. *Genome*, 1995, **38**(2): 325—331
- [11] Johnson R, Bulfield G. Molecular cloning and sequence analysis of a chicken ornithine decarboxylase cDNA [J]. *Animal Genetics*, 1992, **23**(5): 403—409
- [12] Moshier J A, Gilbert J D, Skunca M, et al. Isolation and expression of a human ornithine decarboxylase gene [J]. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 1990, **265**(9): 4884—4892
- [13] Hascilowicz T, Murai N, Matsufuji S, et al. Regulation of ornithine decarboxylase by antizymes and antizyme inhibitor in zebrafish (*Danio rerio*) [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression*, 2002, **1578**(1—3): 21—28
- [14] Lee J H, Son M Y, Yoon M Y, et al. Isolation and characterization of ornithine decarboxylase gene from flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Marine Biotechnology*, 2004, **6**(5): 453—462
- [15] Leong J S, Jantzen S G, von Schalburg K R, et al. *Salmo salar* and *Esox lucius* full-length cDNA sequences reveal changes in evolutionary pressures on a post-tetraploidization genome [J]. *BMC Genomics*, 2010, **11**: 279
- [16] Tuziak S M, Moghadam H K, Danzmann R G. Genetic mapping of the ornithine decarboxylase (*odc*) gene complex in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Cytogenetic and Genome Research*, 2009, **125**(4): 279—285
- [17] Yuan J S, Reed A, Chen F, et al. Statistical analysis of real-time PCR data [J]. *BMC Bioinformatics*, 2006, **7**: 85
- [18] Yu J H, Li H X, Tang Y K, et al. Isolation and expression of myostatin (*MSTN*) genes, and their polymorphism correlations with body form and average daily gain in *Cyprinus carpio* var. jian [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2010, **18**(6): 1062—1072 [俞菊华, 李红霞, 唐永凯, 等. 建鲤生长抑制素基因 *MSTN* 的分离、表达及多态性与体型、

- 平均日增重相关性研究. 农业生物技术学报, 2010, **18**(6): 1062—1072]
- [19] Yu J H, Li H X, Tang Y K, *et al.* Growth hormone receptor genes in *Cyprinus carpio* var. jian: isolation, transcripts polymorphism and tissues expression [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, **35**(2): 218—229 [俞菊华, 李红霞, 唐永凯, 等. 建鲤生长激素受体基因分离、转录子多态性以及组织表达特性. 水生生物学报, 2011, **35**(2): 218—229]
- [20] Yu J H, Li H X, Li J L, *et al.* Characterization of growth hormone secretagogue receptor 1(GHS-R1) genes and weight gain associated SNP loci in *Cyprinus carpio* var. jian [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(3):1—9 [俞菊华, 李红霞, 李建林, 等. 建鲤生长激素促泌素受体 1 基因的特性及其对增重的影响. 中国水产科学, 2012, **19**(3): 1—9]
- [21] Crozat A, Palvimo J J, Julkunen M, *et al.* Comparison of androgen regulation of ornithine decarboxylase and S-adenosylmethionine decarboxylase gene expression in rodent kidney and accessory sex organs [J]. *Endocrinology*, 1992, **130**(3): 1131—1144

《水生生物学报》编辑委员会

EDITORIAL BOARD OF ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA

主 编 Chief Editor 桂建芳 GUI Jian-Fang

副主编 Associate Editor 解绶启 XIE Shou-Qi

委 员 Members (以姓氏拼音为序)

| | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 蔡庆华 CAI Qing-Hua | 曹文宣 CAO Wen-Xuan | 常剑波 CHANG Jian-Bo |
| 陈家宽 CHEN Jia-Kuan | 陈宜瑜 CHEN Yi-Yu | 陈毅峰 CHEN Yi-Feng |
| 高坤山 GAO Kun-Shan | 何舜平 HE Shun-Ping | 洪云汉 HONG Yun-Han |
| 胡征宇 HU Zheng-Yu | 李文鑫 LI Wen-Xin | 李钟杰 LI Zhong-Jie |
| 林浩然 LIN Hao-Ran | 刘建康 LIU Jian-Kang | 刘永定 LIU Yong-Ding |
| 麦康森 MAI Kang-Sen | 聂 品 NIE Pin | 曲久辉 QU Jiu-Hui |
| 宋立荣 SONG Li-Rong | 唐启升 TANG Qi-Sheng | 王 丁 WANG Ding |
| 吴灶和 WU Zao-He | 吴振斌 WU Zhen-Bin | 相建海 XIANG Jian-Hai |
| 肖 伟 XIAO Wei | 谢 平 XIE Ping | 谢小军 XIE Xiao-Jun |
| 熊邦喜 XIONG Bang-Xi | 熊思岳 XIONG Si-Yue | 徐旭东 XU Xu-Dong |
| 杨先乐 YANG Xian-Le | 于 丹 YU Dan | 余其兴 YU Qi-Xing |
| 游 力 YOU Li | 张奇亚 ZHANG Qi-Ya | 朱作言 ZHU Zuo-Yan |

Harald Rosenthal (德国)

编辑部 Editorial office 杜新征 DU Xin-Zheng 王 芹 WANG Qin 余 茜 YU Xi