

褐牙鲈(♀)×犬齿牙鲈(♂)杂交子代及亲本群体形态和外周血红细胞 DNA 含量

关 健¹ 柳学周^{2*} 刘洪军¹ 郑永允¹ 官曙光¹ 徐永江²

(¹ 山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

(² 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 2006~2007 年进行了犬齿牙鲈 *Paralichthys dentatus* (♂)×褐牙鲈 *P. olivaceus* (♀) 杂交, 获得杂交子代苗种养殖至全长 27~33 cm 时随机取样, 测定形态学特征。与父、母本相同规格成鱼相比, 杂交子代的有眼侧体色和花纹与父、母本都存在较大差异, 是区分杂交子代最突出的特征。杂交子代的多数可比、可量性状同父、母本相近, 但在体长/总高比等方面表现出较明显的杂交优势。聚类分析表明, 杂交子代的表型与犬齿牙鲈更为接近。尾静脉采血, 使用流式细胞仪检测杂交子代和父、母本外周血红细胞的 DNA 含量, 发现杂交子代、犬齿牙鲈和褐牙鲈的 DNA 含量分别为 1.51 ± 0.02 、 1.50 ± 0.04 、 1.43 ± 0.16 pg, 杂交子代的 DNA 含量与犬齿牙鲈接近, 较褐牙鲈略高, 表明杂交子代为二倍体。

关键词 犬齿牙鲈 褐牙鲈 杂交子代 形态 DNA 含量

中图分类号 Q418; Q959; Q321.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)05-0017-07

The morphologic characters and DNA contents of peripheral blood erythrocytes of *Paralichthys dentatus* (♂), *Paralichthys olivaceus* (♀) and their crossbreed F₁ progenies

GUAN Jian¹ LIU Xue-zhou^{2*} LIU Hong-jun¹ ZHENG Yong-yun¹

GUAN Shu-guang¹ XU Yong-jiang²

(¹ Sea Culture Research Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

(² Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT The crossbreed F₁ progenies of *Paralichthys dentatus* ♂ × *P. olivaceus* ♀ have been cultured since 2006 in indoor tanks. The F₁ fish (27~33cm in total length) and their parents were randomly sampled for morphological measurements. There were no significant difference for morphological parameters between F₁ fish and their parents. In addition, heterosis was manifested by ratio of body length and total height. The pigmentation and stripes on the body

山东省良种工程“优质抗病速生鱼类良种选育-工厂化适养品种的选育”和国家鲆鲽类产业技术体系建设项目(nycytx-50)共同资助

* 通讯作者。E-mail: liuxz@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85811982

收稿日期: 2010-12-30; 接受日期: 2011-02-18

作者简介: 关 健(1982-), 男, 博士, 主要从事海水鱼类繁育及育种学研究。E-mail: guanjian35@gmail.com

surface of F_1 were different from their parents. Peripheral blood was sampled from F_1 progenies and their parents respectively by withdrawing from tail vein. The DNA contents of erythrocytes in peripheral blood were determined using PARTEC Cell Counter Analyzer(CCA-Ⅱ). The DNA contents of F_1 fish, *P. dentatus* and *P. olivaceus* were 1.51 ± 0.02 pg, 1.50 ± 0.04 pg and 1.43 ± 0.16 pg respectively. The DNA contents of F_1 fish were similar to their male parents, *P. dentatus*, indicating that the heredity of F_1 fish may bear more close relationship with *P. dentatus*. Meantime, the results showed that the F_1 fish were diploid.

KEY WORDS *Paralichthys olivaceus* *Paralichthys dentatus* Crossbreed F_1 generation
Morphologic characters DNA contents

杂交育种能够有目的地创造变异,使杂交亲本的遗传基础通过重组、分离和后代选择,育成有利基因更加集中的新品系,是动物育种的重要方法(楼允东 2001)。形态学特征是育种研究的重要指标,是选择育种的直接选择参数。脱氧核糖核酸(DNA)是绝大多数生物的遗传物质,大多数生物的体细胞中所含 DNA 的量基本恒定不变,所以体细胞 DNA 含量可作为一个物种种质的特征性参数(范兆廷等 1995),目前主要使用流式细胞仪测定动物 DNA 含量,具有准确有效、快速简洁的优点。

犬齿牙鲆 *Paralichthys dentatus*, 又称大西洋牙鲆、夏牙鲆,英文名 Summer flounder,与褐牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 同属鲽形目 Peuronetiformes、鲽亚目 Pleuronectoidei、牙鲆科 *Paralichthys*(王波等 2004a)。犬齿牙鲆分布于北美洲大西洋东海岸,抗逆性较强,是近些年引入我国的一个极具发展潜力的养殖鱼种(王波等 2004b)。褐牙鲆是中、日、韩等东亚国家养殖规模较大的优良海水鱼类,但近年来养殖鱼病害频发,严重威胁到其养殖业的持续发展(王波等 2007)。研究这两个鱼种的种间杂交及其后代的特性,则有望获得具有优势的新品系用于养殖。目前对这两种鱼杂交的研究较多(关健等 2007),如杂交子一代的发育(田永胜等 2006;关健等 2007c;于道德等 2007)、环境适应性(关健等 2007a)、核型分析(尤锋等 2006)、遗传特性(徐晖等 2007;徐冬冬 2009)、营养成分分析(关健等 2007b)等。本研究比较和分析了褐牙鲆(♀)×犬齿牙鲆(♂)杂交子一代形态学特征及外周血细胞的 DNA 含量,初步探讨了杂交子一代的遗传特征,为杂交后代的种质鉴定提供了例证。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

2006 年春、夏季在青岛忠海水产有限公司进行了犬齿牙鲆、褐牙鲆苗种培育,以及褐牙鲆(♀)×犬齿牙鲆(♂)杂交试验,获杂交子代幼鱼 4.36 万尾。2007 年在该公司养殖的全长 27~33 cm 犬齿牙鲆(父本群体)、褐牙鲆(养殖鱼)以及杂交子代成鱼中,选取各 30 尾进行形态测定,测定前 1 d 停止投喂。随机选取活力好、无病无伤、摄食正常、全长 22~27 cm 的杂交子代与父、母本成鱼各 15 尾,暂养于 18~20 °C 的水泥池(1.5 m×1.5 m×1 m)内 3~4 d,待鱼状态稳定后采血测定 DNA 含量。

1.2 形态学特征测定方法

采用传统方法(殷名称 1995)测定形态特征:用两角规、钢尺和游标卡尺等分别测量全长、体长、体高、头长、吻长、眼径、眼间距、尾柄长、尾柄高等可量性状,对背鳍数、臀鳍数、胸鳍数、腹鳍数、尾鳍数等可数性状计数;体型指数按体长/体高、体长/头长、体长/尾柄高、头长/尾柄高、尾柄长/尾柄高等 8 种不同性状的比值。

1.3 形态学特征及杂交优势的计算方法

使用参数范围和平均值±标准差的方式表示各群体的形态学特征。杂交优势指数(Vigorous index,简称

VI)是一代杂交值对两亲本平均值的指数,其公式为: $VI = \left[100 \left(\frac{Mh - Mf}{Mm - Mf} \right) - 50 \right] \times 2$

式中, Mh 为杂交性状的平均值, Mf 为母本性状的平均值, Mm 为父本性状的平均值, VI 是以百分数表示杂种与双亲相似的程度,负值表示偏向母本,正值表示偏向父本,100%意味着杂交性状完全偏向于母本或父本,数值为0时表明杂交子代的性状为中间值。杂交优势率(Vigorous rate,简称VR)又称超中优势率,它是一代杂种植超过两亲本平均值的百分率,其计算式为: $VR(\%) = \frac{Mf - Mp}{Mp} \times 100$ (Mp 为两亲本性状的平均值)(楼允东 2001)。

1.4 DNA 含量测定方法

用加入0.1%肝素钠浸润的注射器,自实验鱼尾静脉采血0.5 ml, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存待测。采集健康公鸡 *Cal-lus domesticus* 的血液,等比例加入抗凝剂,以速度 $500 \times g$ 离心10min后,取上清液后再加入抗凝剂,如此重复3次。以8:100比例加入DMSO制成细胞悬浊液,待用。预实验发现双亲及杂交子代的DNA含量与鸡红血细胞相近,流式细胞仪检测显示的峰有较严重的重叠现象,因此,选取紫贻贝 *Mytilus edulis* 作为内标。活体解剖紫贻贝,取鳃组织,加入DAPI荧光染液(Sigma),用注射器吹打成细胞悬浊液,与鸡红血细胞以适当比例混合,500目筛绢过滤后使用PARTEC Cell Counter Analyser(CCA-II)流式细胞仪检测,确定贻贝的DNA含量。

以鸡红血细胞DNA含量(2.5 pg)为标准,依照公式 $M = X_1 / X_2 \times 2.5$ 进行计算。式中, M 表示贻贝DNA含量(pg); X_1 表示贻贝的荧光强度; X_2 表示鸡红血细胞的荧光强度。贻贝鳃丝细胞悬浊液与实验用鱼的血液以适当比例混合,上机检测,获取检测结果。

1.5 统计与分析

使用SPSS 11.5的单因子方差分析(One-Way ANOVA),并采用Duncan法多重比较分析,比较子一代与亲本群体间的形态差异,差异显著性设置为 $P < 0.05$,极显著差异 $P < 0.01$ 。采用欧氏距离的最短距离法进行系统聚类分析,绘制反映形态相似性的树形图。

2 结果

2.1 杂交子代及其父、母本形态学特征

杂交子代及其双亲的外部形态见图1。三者共有的形态特征为:体侧扁,长卵圆形,两眼位于左侧,背鳍从眼窝前方的无眼侧开始,两侧腹鳍大致对称;无眼侧白色;有眼侧为栉鳞,无眼侧为圆鳞;有眼侧、无眼侧具有侧线,侧线在胸鳍上方弯曲,无附属分支。形态差别主要体现在有眼侧的体色和花纹,见表1。杂交子代体表花纹最显著的特征,侧线两侧有20个左右与侧线平行排列的斑点,中间为深褐色,周围为一圈淡棕色,类似眼睛。部分杂交子代侧线两旁也分布有5个大的深棕色斑点,似褐牙鲆。

表1 杂交子代及其双亲的有眼侧体色和花纹比较

Table 1 Pigmentation and stripes of crossbreed F_1 and its parents

	有眼侧体色 Pigmentation	有眼侧花纹 Stripes on the eye-side
犬齿牙鲆 <i>P. dentatus</i> (Mm)	深棕褐色	散布大量的白色圆斑,沿背、臀鳍各有4~5个大的白色圆斑
褐牙鲆 <i>P. olivaceus</i> (Mf)	深褐色或灰褐色	散布暗褐色和白色圆斑,沿侧线两侧有5个较大的深棕色斑点
杂交子代 (Mh) Crossbreed F_1	灰橄榄色	散布大量白色小斑点,侧线两侧有20个左右与侧线平行排列的斑点,中间为深褐色,周围为一圈淡棕色,类似眼睛

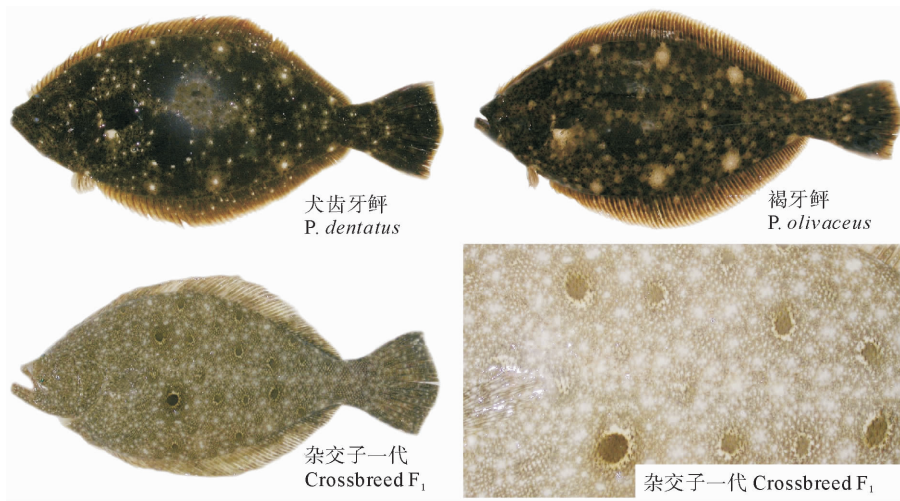


图 1 犬齿牙鲆、褐牙鲆、杂交子代的外部形态

Fig. 1 Morphology of *P. dentatus*, *P. olivaceus*, and crossbred F_1 flounder

2.2 杂交子代及其父母本可比、可数性状及杂交优势

杂交子代及其双亲的可数性状范围及平均值见表 2, 可比性状均值、标准误及杂交优势比较见表 3。可数性状上, 褐牙鲆与犬齿牙鲆的 5 种鳍的鳍条数目范围全部有重合, 其中背鳍、腹鳍和尾鳍极为接近, 而胸鳍和臀鳍差异较大; 但褐牙鲆除腹鳍以外的 4 种鳍的鳍条数目平均值都与犬齿牙鲆存在显著差异 ($P < 0.05$)。除体长/尾柄长与头长/下颌长以外, 褐牙鲆与犬齿牙鲆的可比性状都存在显著差异 ($P < 0.05$)。上述结果表明, 褐牙鲆与犬齿牙鲆的形态学特征存在较大的差异。

表 2 杂交子代及其双亲的可数性状均值、标准误及杂交优势比较

Table 2 Overall means, standard error and vigorous index of denumerable characters of crossbred F_1 and its parents

	犬齿牙鲆(♂) <i>P. dentatus</i> (Mm)		褐牙鲆(♀) <i>P. olivaceus</i> (Mf)		杂交子代 F_1 (Mh)		杂交优势指数 Vigorous index	杂交优势率 Vigorous rate
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean		
背鳍 Dorsal fin	77~90	83.75±0.82 ^a	75~89	77.35±0.65 ^b	75~89	80.75±0.76 ^c	41.550	2.712 0
胸鳍 Pectoral fin	10~13	11.30±0.24 ^a	12~14	13.05±0.15 ^b	12~14	13.0±0.07 ^b	-247.432	10.270
腹鳍 Pelvic fin	6	6.0±0 ^a	6	6.0±0 ^a	6~7	6.15±0.11 ^b	0	5.606 1
臀鳍 Anal fin	60~69	63.65±0.49 ^a	55~63	58.40±0.59 ^b	57~67	62.95±0.56 ^a	82.754	5.637
尾鳍 Tail fin	15	15.0±0 ^a	15~17	16.0±0.18 ^b	16~17	16.75±0.10 ^c	-3 310	11.607

注: 英文字母上标表示群体间的差异程度。上标相同或包含关系表示差异不显著, 上标不同或交集关系表示差异显著

Note: The same superscripts or containing relationship mean the differences are not significant among populations; different superscripts or intersection relationship mean the differences are significant among populations

杂交子代的多数鳍的鳍条数目没有超越双亲的极限范围, 唯一例外是腹鳍条数, 双亲都为 6, 而杂交子代为 6~7, 平均值 6.15, 表现出杂交优势。观察鳍条数平均值, 杂交子代的背鳍条数处于父、母本平均值处, 胸鳍条数偏近母本, 腹鳍条数无偏近, 但腹鳍条数超越父、母本, 臀鳍条数偏近父本, 尾鳍条数偏近母本但有超出。杂交优势指数上, 背鳍、臀鳍为正值, 偏向父本; 胸鳍、尾鳍为负值, 偏向母本。杂交优势率方面, 胸鳍和尾鳍皆大于 10, 表明杂交优势较为显著。

图 2 为杂交子代及其双亲的可比性状、可数性状聚类分析的树形图,杂交子代的可比性状均值处于两亲本均值之间的有体长/全长、头长/下颌长,接近父本的有全长/总高、体长/总高、头长/眼径、眼径/眼间距,接近母本的有体长/头长、头长/眼间距,超越父母本均值较大的有体长/尾柄长、体长/尾柄高(表 3),此情况也体现在杂交优势指数上。

由聚类分析(图 2)看出,无论是可比性状还是可数性状,杂交子代都是与犬齿牙鲂较为接近,并且均与褐牙鲂差异较大。

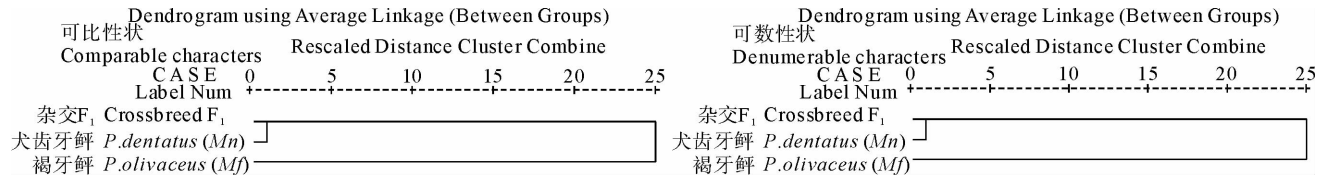


图 2 杂交子代及其双亲的可比性状、可数性状聚类分析

Fig. 2 Clustering dendrogram of *P. olivaceus*, *P. dentatus* and crossbreed F_1

表 3 杂交子代及其双亲的可比性状均值、标准误及杂交优势比较

Table 3 Overall means, standard error and vigorous index of comparable characters of crossbreed F_1 and its parents

	犬齿牙鲂(♂) <i>P. dentatus</i> (Mm)		褐牙鲂(♀) <i>P. olivaceus</i> (Mf)		杂交子代 (M_h)		杂交优 势指数 Vigorous index	杂交优 势率 Vigorous rate
	范围 Range	平均数 Mean	范围 Range	平均数 Mean	范围 Range	平均数 Mean		
全长/体长 Total length/ Body length	1.147 5~ 1.233 3	1.183± 0.005 ^a	1.149 4~ 1.189 2	1.167± 0.002 ^b	1.181 8~ 1.222 2	1.205± 0.003 ^c	359.31	2.582
全长/总高 Total length/ Total height	1.783 9~ 2.055 6	1.923± 0.148 ^a	1.940 0~ 2.300 0	2.086± 0.195 ^b	1.746 2~ 2.136 4	1.920± 0.020 ^a	103.68	-4.216
体长/总高 Body length/ Total height	1.523 8~ 1.750 0	1.625± 0.124 ^a	1.660 0~ 1.980 0	1.789± 0.018 ^b	1.461 5~ 1.772 7	1.593± 0.016 ^a	139.02	-6.678
体长/头长 Body length/ Head length	3.855 4~ 4.342	4.056± 0.030 ^a	3.491 4~ 4.381 4	3.830± 0.050 ^b	3.454 6~ 4.019 6	3.660± 0.036 ^c	-250.4	-7.177
体长/尾柄长 Body length/ Tail length	9.545 5~ 12.500 0	11.14± 0.191 ^a	9.555 6~ 12.666 7	11.189± 0.231 ^a	10.200~ 11.764 7	11.91± 0.351 ^a	-2 911.8	6.651 1
体长/尾柄高 Body length/ Tail height	7.111 1~ 10.833 3	8.862± 0.246 ^a	8.444 4~ 10.125 0	9.265± 0.095 ^b	7.407 4~ 10.947 4	7.970± 0.165 ^c	542.68	-12.07
头长/下颌长 Head length/ Nether jaw length	2.303 0~ 2.880 0	2.581± 0.031 ^a	2.042 6~ 3.055 6	2.509± 0.049 ^a	2.200 0~ 2.789 5	2.546± 0.041 ^a	-247.2	-3.497
头长/眼间距 Head length/ Length between two eyes	3.181 8~ 4.210 5	3.721± 0.058 ^a	3.200 0~ 4.560 0	3.859± 0.158 ^b	3.642 9~ 4.533 3	3.886± 0.053 ^b	-139.1	2.532 9
头长/眼径 Head length/ Nether eye diameter	5.384 6~ 7.727 2	6.339± 0.141 ^a	6.277 8~ 9.000 0	8.058± 0.069 ^b	5.100 0~ 7.250 0	6.242± 0.131 ^a	111.3	-13.28
眼间距/眼径 Length between two eyes/ Nether eye diameter	1.400 0~ 1.875 0	1.706± 0.033 ^a	1.777 8~ 2.384 6	2.094± 0.038 ^b	1.500 0~ 2.090 9	1.610± 0.037 ^a	167.89	17.087

注:英文字母上标表示群体间的差异程度。上标相同或包含关系表示差异不显著,上标不同或交集关系表示差异显著

Note: The same superscripts or containing relationship mean the differences are not significant among populations; different superscripts or intersection relationship mean the differences are significant among populations

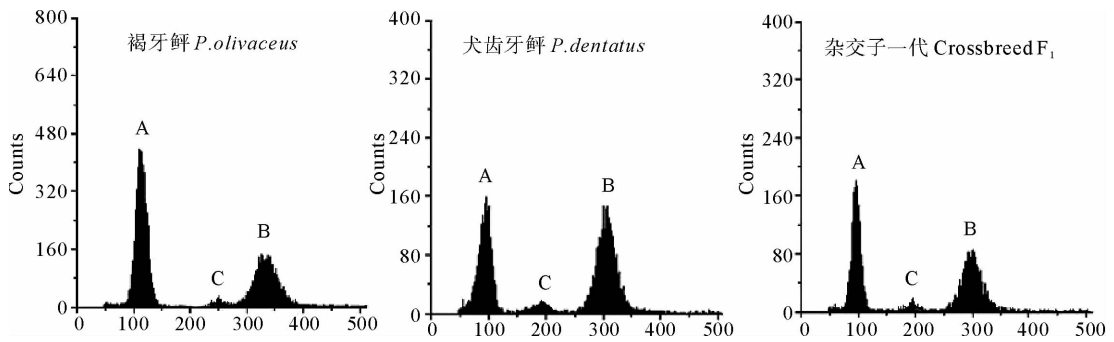


图 3 杂交子代及其双亲的 DNA 相对含量流式细胞仪检测

Fig. 3 Ploid identification of *P. olivaceus*, *P. dentatus* and crossbred F_1 by DNA relative content analysis

2.3 杂交子代及其父、母本 DNA 含量

图 3 为杂交子代与褐牙鲷、犬齿牙鲷的流式细胞仪检测图,每张检测图中横坐标 300 左右的峰(B 峰)为紫贻贝的鳃组织细胞所产生,横坐标 100 左右的峰(A 峰)为鱼外周血红细胞所产生,横坐标的 200 处所出现的峰(C 峰)为外周血红细胞的分裂峰。分裂峰所处的横坐标值恰好是红细胞峰横坐标值的两倍,表明为二倍体。杂交子代与犬齿牙鲷的外周血红细胞 DNA 含量极其相近,分别为 1.51 ± 0.02 、 1.50 ± 0.04 pg,而褐牙鲷为 1.43 ± 0.16 pg,相对较低但差异不显著。

3 讨论

鱼类杂交育种的情况较为复杂,虽然也出现了诸如鲑科、鲤科鱼类的杂交子代发育正常并表现出相当的优势的现象,但更多是出现杂交不亲和,如精卵不能授精、授精后不正常发育、子代正常生长但繁殖力低下等现象(楼允东 2001)。海水鲷鳃鱼类之间已进行了许多的种间杂交研究,有些杂交组合因亲本的遗传差异,在杂交中会发生诸多不亲和的现象:不能受精或发生卵裂、产生致死杂种、产生不育且无杂交优势的子代、产生可育且无杂交优势的子代等,如褐牙鲷♂×大菱鲷♀杂交卵受精率仅 2.7%,虽有部分受精卵孵化但仔鱼全部畸形,表明二者杂交遇到较大阻力(季相山等 2005)。另外一些种间杂交组合会在某些性状上产生杂交优势,甚至子代可育,如石鲷♂×褐牙鲷♀杂交获得 4 000 余尾杂交成鱼,体高/全长比具有一定杂交优势(王新成等 2003)。犬齿牙鲷与褐牙鲷同属于牙鲷属,地理分布相差很远,但分类距离较近,生态习性有较大差异,因此,二者杂交有可能产生杂交优势。初步试验也表明,褐牙鲷♀×犬齿牙鲷♂的杂种具有养殖优势(王波等 2007),然而,犬齿牙鲷♀×褐牙鲷♂的反交试验发现,褐牙鲷和犬齿牙鲷正、反交活力不对称,即褐牙鲷♀×犬齿牙鲷♂(正交)的杂种活力正常,能够正常存活、生长和发育,而反交杂种体态畸形,孵出后不久死亡。本次杂交试验培育出较大数量的苗种也表明二者间正交不存在繁殖障碍或繁殖障碍小,能够产生生存能力较高的受精卵并继续生长发育。

鱼类的杂交优势,主要表现为出肉率高、生长速度快、抗病力和抗逆性强等方面,而出肉率与身体形态直接相关(楼允东 2001)。鱼类杂交种形态学特征已有的研究表明,多数杂交种的形态介于双亲之间,为居间类型,具有一些可以彼此区分的特征,但杂交种之间互交所获得的子代之间却通常不易区分(刘义新等 2007; Matondo *et al.* 2008)。本研究获得了相似的结果,通过有眼侧体色和花纹可以区分杂交子代同亲本,杂交子代多数可比性状与可数性状介于双亲之间,部分性状出现了超亲现象:全长/总高、体长/总高的均值低于双亲均值,即相对于相同体长或全长的亲本,杂交子代的总高有所增加,而高体型鱼一般出肉率较高,在一定程度上表现出了杂交优势。尤锋等(2006)使用流式细胞仪检测褐牙鲷(初孵仔鱼)、犬齿牙鲷(苗种肌肉组织)和杂交子代(初孵仔鱼)中 DNA 相对含量,发现 3 个群体中所有个体的 DNA 相对含量都在 100 处有一高峰,在 200 处有一小峰,故应为二倍体,与染色体核型研究所得结论相一致。本研究也得到相似的结果,并且杂交子

代的 DNA 含量与犬齿牙鲈极其相近,而褐牙鲈 DNA 含量低于二者,这可能表明杂交子代在遗传上偏向于父本。

通过对外部形态及 DNA 含量的研究,发现褐牙鲈♀×犬齿牙鲈♂杂交子代的形态总体上更加偏向父本,但与双亲都存在一定差异,DNA 含量的测定也得到了相似的结果;而杂交子代的腹鳍数、胸鳍数、尾鳍数、全长/总高、体长/总高出现超亲现象,表现出一定的杂交优势。

致谢:本研究得到了青岛忠海水产有限公司的协助,以及蔡文超、高凌云、王连顺等同仁的支持,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 于道德,肖志忠,徐世宏,马道远,李 军. 2007. 杂交鲈(牙鲈♀×夏鲈♂)胚胎发育的初步观察. 海洋科学, 31(2): 55~60
- 王 波,张朝晖,张杰东. 2004a. 大西洋牙鲈繁殖生物学及繁育技术研究进展. 海洋水产研究, 25(1): 90~96
- 王 波,张朝晖,左言明,朱明远,张杰东,荆世锡,毛兴华. 2004b. 牙鲈属主要经济鱼类的生物学及养殖研究概况. 海洋水产研究, 25(5): 86~92
- 王 波,楼 宝,毛国民,谢琳萍,赵 鸣. 2007. 褐牙鲈♀×大西洋牙鲈♂杂交育种研究. 渔业现代化, 34(5): 29~33
- 王新成,尤 锋,倪高田,张起信,李尚友. 2003. 石鲈与牙鲈人工杂交的研究. 海洋科学, 27(1): 1~4
- 尤 锋,徐世宏,许建和,徐冬冬,马道远,张培军,李 军. 2006. 夏牙鲈(♂)与牙鲈(♀)人工杂交的细胞遗传学初步研究. 海洋科学, 30(3): 51~55
- 田永胜,陈松林,刘本伟,王 波. 2006. 大西洋牙鲈冷冻精子×褐牙鲈卵杂交胚胎的发育及胚后发育. 水产学报, 30(4): 433~443
- 刘义新,肖祖国,徐振秋. 2007. 几种杂交鲤的形态学特征及主要经济性状. 水产科学, 26(11): 619~621
- 关 健. 2007. 褐牙鲈♀×犬齿牙鲈♂杂交育种的初步研究. 见:中国海洋大学硕士学位论文
- 关 健,柳学周,兰春燕,蔡文超,徐永江,马 牲. 2007a. 温度、盐度对褐牙鲈(♀)×犬齿牙鲈(♂)杂交子一代胚胎发育和仔鱼存活的影响. 海洋水产研究, 28(3): 31~37
- 关 健,柳学周,翟毓秀,冷凯良,王志杰,马 牲. 2007b. 褐牙鲈(♀)×犬齿牙鲈(♂)杂交 F₁ 及其亲本肌肉营养成分分析与比较. 中国水产科学, 14(Z1): 41~47
- 关 健,柳学周,蔡文超,徐永江,马 牲. 2007c. 褐牙鲈(♀)×犬齿牙鲈(♂)杂交子一代胚胎发育及仔稚鱼形态学观察. 中国水产科学, 14(4): 644~653
- 范兆廷,尹洪滨,宋苏祥. 1995. 十三种淡水养殖鱼类的 DNA 含量. 水产学报, 19(4): 322~326
- 季相山,陈松林,赵 燕,邓 寒. 2005. 石鲈、牙鲈精子冷冻保存研究及其在人工杂交中的应用. 海洋水产研究, 26(1): 13~16
- 徐冬冬. 2009. 褐牙鲈和夏牙鲈杂交的遗传学研究. 见:中国科学院研究生院博士学位论文
- 徐冬冬,尤 锋,楼 宝,李 军,许建和,吴志昊,张培军. 2010. 8种鲈鱼种间遗传距离与杂交亲和性的相关性分析. 水产学报, 34(2): 178~184
- 徐 晖. 2007. 褐牙鲈(♀)×夏鲈(♂)的分子遗传学研究以及 18 种鲈形目鱼类的系统关系分析. 见:中国海洋大学硕士学位论文
- 徐 晖,肖志忠,孔晓瑜,李 军,董晓丽. 2007. 褐牙鲈(♀)、夏鲈(♂)及其杂交子一代线粒体 16S rDNA 序列遗传特性的初步研究. 热带海洋学报, 26(5): 60~63
- 殷名称. 1995. 鱼类生态学. 北京:中国农业出版社
- 楼允东. 2001. 鱼类育种学. 北京:中国农业出版社
- Matondo, B. N., Ovidio, M., Poncin, P., Vandewalle, P., and Philippart, J. C. 2008. Morphological recognition of artificial F₁ hybrids between three common European cyprinid species: *Rutilus rutilus*, *Blicca bjoerkna* and *Abramis brama*. Acta Zoologica Sinica, 51(1): 144~156