

哲罗鲑与细鳞鲑属间远缘杂交的初步研究

徐革锋¹, 尹家胜¹, 刘洋¹, 李永发¹, 杜佳², 牟振波¹

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070; 2. 东北农业大学 水产养殖系, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 通过性激素药物诱导和全人工繁育技术对野生哲罗鲑(*Hucho taimen*)与细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)进行远缘杂交。结果表明, 哲罗鲑(♀) × 细鳞鲑(♂) (HB, 正交实验组) 杂交的受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率与其双亲自群繁育效果无显著性差异 ($P > 0.05$), 而且在胚后的不同发育时期 HB 杂交子代的死亡率和畸形率均低于哲罗鲑自繁(HH)和细鳞鲑自繁(BB)对照组。在内源性营养时期(卵黄囊吸收早期), HB、HH 和 BB 的仔鱼体质量分别呈负增长、正增长、零增长趋势变化; 在混合营养时期(开口 - 转口时期), HB 和 BB 组鱼体质量呈正增长趋势变化, HH 组体质量呈负增长趋势变化; 在外源性营养时期(驯化时期), HB、HH 和 BB 的鱼体质量均呈正增长趋势变化; 无论在哪个时期实验组和对照组的体长均呈正增长趋势变化。细鳞鲑(♀) × 哲罗鲑(♂) (BH, 反交实验组) 的杂交经过 2 年多批次实验均未得到成活杂交子代, 但在胚胎发育阶段 BH 的杂交受精率、发眼率均显著高于双亲(BB、HH)自繁对照组 ($P < 0.05$), 但其孵化率显著低于双亲对照组 ($P < 0.05$), BH 杂交子代在破膜后 1~2 h 内即死亡, 刚破膜的仔鱼尾干中后段至尾鳍部分盘绕于卵黄囊表面不能伸展, 且所有破膜仔鱼的尾干中后段均存在充血点, 本研究认为, 这种反交 [细鳞鲑(♀) × 哲罗鲑(♂)] 子代不能成活的原因可能是由远缘杂交受精卵核质不相容所导致。[中国水产科学, 2009, 16(6): 959-966]

关键词: 哲罗鲑; 细鳞鲑; 杂交种; 属间杂交

中图分类号: S9

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)06-0959-08

杂交育种技术是培育优良新品种常用的有效方法, 尤其是远缘杂交。自 1558 年世界上获得第一个有记录的鱼类交杂种至今, 国外学者已进行了多种鱼类间的远缘杂交研究^[1-6]。20 世纪 60 年代以来, 中国学者也陆续做了大量鱼类杂交研究, 主要涉及 3 个目、7 个科, 共 40 多种鱼类, 且不少杂交组合还具有明显的杂种优势^[3-5]。迄今中国在水产动物育种中已通过属间杂交技术培育出了许多优良品种^[7-21], 但绝大多数属间杂交的成功案例都集中在鲤科、鲤科范围内的亚科、鲢鳙亚科、鳊亚科和鲃亚科等, 一般情况下, 杂种生活力得到了提高, 大都产生了杂种优势^[4]。而目前国外的研究表明, 绝大部分鲑科鱼属间杂交不能获得成活的杂种, 即使能获得杂种, 也大多

不育或能育性低、生长性能不显著等, 尚无很大的应用前景, 如硬头鳟(*Oncorhynchus mykiss*)与湖红点鲑(*Salvelinus namaycush*)杂交, 不论正反交杂种孵化率低, 获得的少量鱼苗生活力也很低, 大多不育^[3-4]。所以在鲑鳟鱼类属内的种间杂交是主要的育种手段, 且杂交种大多数能存活, 如红点鲑属(*Salvelinus*)内的杂交有: 美洲红点鲑(*S. fontinalis*) (♀) × 北极红点鲑(*S. alpinus*) (♂), F_1 能育, 生长速度介于双亲之间; 而对大麻哈鱼属(*Oncorhynchus*)内的种间杂交, 研究得较多的是以下 2 个种: 大麻哈鱼(*O. keta*) × 红大麻哈鱼(*O. nerka*), 正反交杂种均能育, 生长速度和成活率高于双亲; 细鳞大麻哈鱼(*O. gorbuscha*) (♀) × 大麻哈鱼(*O. keta*) (♂), F_1 能育, 可达性成熟^[3]。

收稿日期: 2009-01-17; **修订日期:** 2009-06-01.

基金项目: 科技部农转资金项目(2007GB23260395); 国家十一五支撑计划(2006BAD03B08); 黑水研基本科研专项(2007HSYZX-YY-21); 黑龙江省科技攻关项目(GC03B511; GA06B203-4).

作者简介: 徐革锋(1979-), 男, 助理研究员, 主要从事鱼类育种方面的研究. E-mail: xgffish@yahoo.com.cn

通讯作者: 牟振波, 研究员, 主要从事冷水性鱼类养殖、增殖研究. E-mail: hfishmzb@hotmail.com

目前中国在利用人工繁育技术对鲑科鱼进行属间远缘杂交的研究尚未见报道,对于属内种间杂交也未见报道,鲑科鱼的种间、属间杂交研究及其应用尚处于空白领域。

在鱼类的属间远缘杂交中,亲缘关系较远的精子往往可使卵核受精并产生两性原核,且能发育成杂种后代,但绝大部分鱼类在自然生境中却因为“生殖隔离”而无法实现远缘杂交^[3-4]。鲑科鱼中哲罗鲑属(*Hucho*)与细鳞鲑属(*Brachymystax*)的绝大部分鱼类是因为产卵期或分布区不同^[22-25],形成了天然的“生殖隔离”特性,但这并不意味着它们之间没有杂交的可能性,在鲑科鱼类中,国外已有多数天然的种间和属间杂种组合的记载^[1-2]。早在20世纪50年代末,薛镇宇等^[25]就曾报道,在黑龙江流域捕获了哲罗鲑与细鳞鲑(吻部形态未知)的天然杂交种。说明这2个属鱼类之间在人工繁殖状态下存在杂交的可能。本研究在流土池条件下投放野杂饵料鱼培育亲本(野生的哲罗鲑和具有尖吻特征的细鳞鲑^[24]),并通过注射性激素药物对这2种鱼进行催熟、催产,之后借鉴鳟鱼人工繁殖技术进行了远缘杂交繁育。

1 材料与方 法

1.1 亲本

远缘杂交的亲本为野生的哲罗鲑(*Hucho taimen*)和细鳞鲑(具有尖吻形态特征)(*Brachymystax lenok*),2002年采捕于乌苏里江虎头段,保存在中国水产科学研究院黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼试验站。哲罗鲑10尾(雌雄比2:3),均超过10⁺龄,全长84~91 cm,体质量4.69~6.75 kg;细鳞鲑12尾(雌雄比2:1),均超过8⁺龄,全长48.5~55 cm,体质量1.38~1.88 kg。

1.2 催产及人工杂交

于2007年5月,进行了第一批次初试,水温为6~9℃;2008年4月,进行了第二批次重复试验,水温5~7℃。

由于野生的哲罗鲑(3-4月份)^[26]与细鳞鲑(4-6月份)^[24,27]的繁殖季节有所不同,因此,需在人工培

育条件下选择合适水温范围,根据哲罗鲑和细鳞鲑对药物的不同敏感效应时间注射性激素,以达到让这2种鱼同步性成熟的目的,并通过人工繁育技术完成远缘杂交实验。首先分别采集哲罗鲑(3尾)和细鳞鲑(3尾)的精液,并将镜检精子活力状况良好的精液4℃保存,而后将采集的哲罗鲑(2尾)和细鳞鲑(4尾)的卵子与分别低温保存的精液混合受精。杂交组合分为哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)(正交实验组)和细鳞鲑(♀)×哲罗鲑(♂)(反交实验组),分别标识为HB和BH,对照组分别为哲罗鲑(♀)×哲罗鲑(♂)(HH)和细鳞鲑(♀)×细鳞鲑(♂)(BB)。按照雌雄比1:3比例对试验组和对照组进行人工授精,孵化采用与虹鳟相同的方法^[28]。每尾产卵雌鱼的人工繁育效果按文献[26]方法计算。

受精率(%)=受精卵数/排出卵数×100%;

发眼率(%)=发眼卵数/受精卵数×100%;

孵化率(%)=出苗数/发眼卵数×100%;

上浮率(%)=上浮仔鱼数/出苗鱼数×100%。

1.3 杂种子代的驯化及生长

本研究根据鲑科鱼类胚后发育规律,将破膜后仔鱼至稚鱼的发育阶段分为3个时期:内源性营养时期(破膜仔鱼卵黄囊吸收时期)、混合营养时期(上浮仔鱼开口-转口时期)和外源性营养时期(投喂全价饲料的驯化时期)。开口、驯化管理以及开口饵料选用参照徐革锋等^[29]的方法,当稚鱼完全摄食人工饲料后,日投喂量设为鱼体质量4%~6%,并根据鱼的摄食情况进行适当增减。

2 结果与分析

2.1 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的杂交

HB杂交子代的胚胎发育较为理想,与HH对照组差别不大,HB受精卵经过148~155℃·d出现眼点,而对照组HH和BB的分别需经过160~170℃·d、140~150℃·d出现眼点。本研究在2007年初试中共获得1500尾HB杂交子代,并成功对其进行开口、驯化,现已培育到鱼种阶段;2008年重复实验中共获得5000余尾HB杂交子代,同样成功开口、驯化,现

已培育为健康的幼鱼。HB 各项人工繁育的技术指标与双亲对照组之间不存在显著性差异 ($P>0.05$), 但 HH 的受精率、发眼率和孵化率最高, HB 的次之, BB 的最低; 仔鱼上浮率 HB 的最高, BB 次之, HH 最低(表 1)。HB 不同发育阶段的畸形率均显著低于

双亲对照组 ($P<0.05$); 破膜时期 HB 的死亡率与 BB 之间不存在显著性差异 ($P>0.05$), 但显著高于 HH ($P<0.05$), 上浮仔鱼、稚鱼开口和稚鱼驯化期 HB 的死亡率均显著低于双亲对照组(表 2)。

表 1 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)杂交子代及亲本对照的受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率
 Tab. 1 Fertility rate, eyed rate, hatching rate and larva floating rate of hybrids between *H. taimen* (♀) and *B. lenok* (♂) and the parental pair $n=4\ 000; \bar{x} \pm SD; \%$

分组 Group	受精率(范围) Fertilization rate (Range)	发眼率(范围) Eyed rate (Range)	孵化率(范围) Hatching rate (Range)	仔鱼上浮率(范围) Larva floating rate (Range)
HB	91.3±2.6 (87.3~94.5)	90.5±1.3 (89.0~92.1)	95.2±1.9 (92.5~98.0)	97.5±0.4 (97.0~98.1)
HH	93.1±1.8 (90.2~95.7)	92.5±1.7 (91.5~95.0)	95.3±1.0 (94.1~96.7)	95.3±1.0 (94.5~97.0)
BB	91.2±1.5 (89.1~92.5)	90.8±1.7 (88.5~93.0)	93.6±4.3 (84.1~96.7)	95.7±4.0 (94.7~96.5)

表 2 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)子代及亲本对照的胚后不同发育时期的死亡率和畸形率
 Tab. 2 Abnormality rate and mortality rate of hybrids between *H. taimen* (♀) and *B. lenok* (♂) and the parental pair $n=2\ 000; \bar{x} \pm SD; \%$

分组 Group	破膜时期 Hatching stage		上浮仔鱼时期 Larva floating stage		稚鱼开口时期 First feeding stage		稚鱼驯化时期 Juvenile acclimatization stage	
	死亡率 Mortality rate	畸形率 Abnormality rate	死亡率 Mortality rate	畸形率 Abnormality rate	死亡率 Mortality rate	畸形率 Abnormality rate	死亡率 Mortality rate	畸形率 Abnormality rate
HB	6.5 ^a	0.10 ^a	0.2	0.05 ^a	3~5 ^a	<0.03	0.5~0.8 ^a	—
HH	5.0 ^b	0.50 ^b	0.3	0.1 ^b	10~20 ^b	<0.05	1.0~5.0 ^b	—
BB	7.0 ^a	0.50 ^b	0.2	0.1 ^b	5~10 ^c	<0.05	2.0~5.0 ^b	—

注: 同列数值上标字母表示差异程度, 不同字母表示数值间存在显著差异 ($P<0.05$)。

Note: Values in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

HB、HH 和 BB 子代的胚后生长发育情况见图 1 和图 2。HB 仔鱼破膜后与双亲对照组仔鱼特征一致, 即 HB 仔鱼尾干伸直、略微上翘(图 3)。仔鱼破膜后经过约 10 d 发育开始上浮成为早期稚鱼(卵黄囊吸收末期), 其卵黄囊将被吸收 80% 以上。在卵黄囊吸收早期, HB 仔鱼的体质量呈负增长趋势、HH 仔鱼的体质量呈增长趋势、BB 仔鱼的体质量呈零增长趋势。稚鱼在开口驯化阶段(上浮后 11~19 d)开始具有摄食和快速游泳能力, HB 组和 BB 组的体质量均呈增长变化趋势, 且 BB 的体质量增长幅度相对最高, 由于 HH 组摄食水平低, 其体质量呈下降变化趋势即负增长(图 1), 但实验组和对照组稚鱼的体长一直呈增长变化趋势(图 2)。在投喂全价颗粒饲料的驯化时期, 由于 HB、HH 和 BB 组稚鱼已完全适应摄

食全价硬颗粒饲料, 杂交实验组与双亲对照组的子代完全发育为健康的早期幼鱼(上浮后 30 d), 可以进行高密度常规饲养, 体质量开始不断增加(图 1), 体长继续增长(图 2)。

2.2 细鳞鲑(♀)×哲罗鲑(♂)的杂交

BH 杂交尚未得到存活子代, 但 BH 受精卵在胚胎时期的发育情况较为理想(另文待发表), BH 受精卵经过 198~207 °C·d 出现眼点, 而对照组 BB 和 HH 的受精卵分别需经过 140~150 °C·d 和 160~170 °C·d 才出现眼点, 但在 BH 破膜后仔鱼与双亲对照组仔鱼形态特征区别很大, 即 BH 仔鱼的尾干仍紧贴于卵黄囊表面, 无法伸直, 且躯干中段有部分体节充血(图 4)。本研究在 2007 年初试中共制备杂交受精卵 2 000 余粒, 胚胎时期发育良好(表 3),

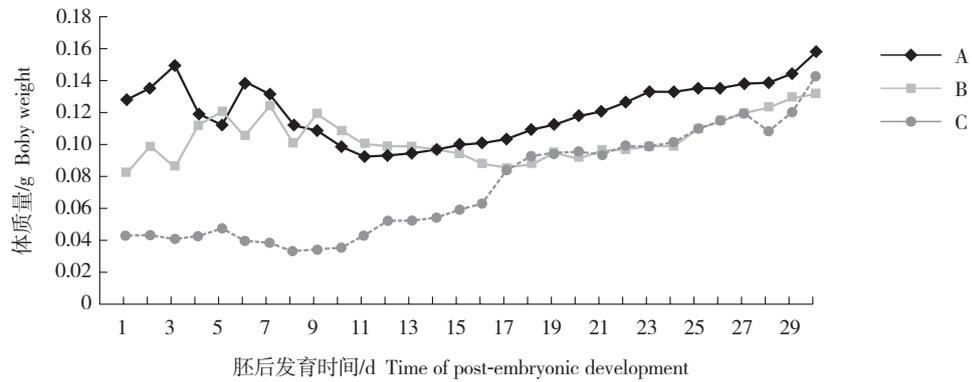


图1 哲罗鲑(♀) × 细鳞鲑(♂)杂交子代及亲本对照的不同胚后发育时期的体质量变化情况
A- 杂交组(HB); B- 哲罗鲑对照组(HH); C- 细鳞鲑对照组(BB).

Fig.1 Changes of body weight of the hybrid between *H. taimen* (♀) and *B. lenok* (♂) and the parental pair at different stages of post-embryonic development

A-*H. taimen* (♀) × *B. lenok* (♂); B-*H. taimen* F₁; C-*B. lenok* F₁.

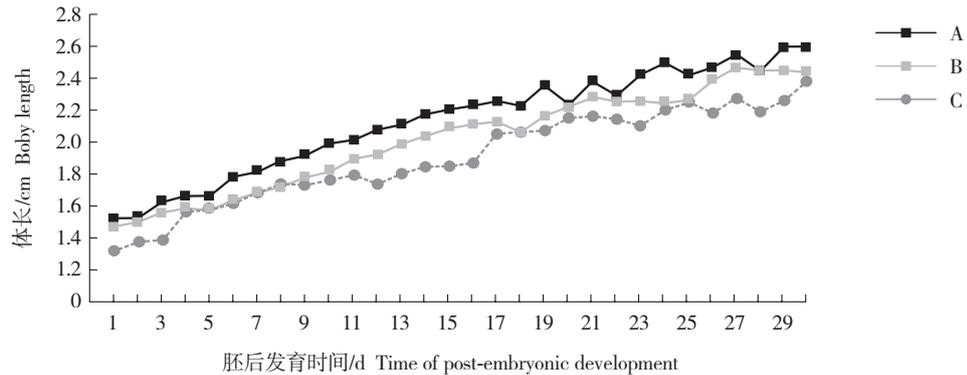


图2 哲罗鱼(♀) × 细鳞鲑(♂)杂交子代及亲本对照的不同胚后发育时期的体长变化情况
A- 杂交组(HB); B- 哲罗鲑对照组(HH); C- 细鳞鲑对照组(BB).

Fig.2 Changes of body length of BH、HH and BB at different stages of post-embryonic development of the hybrid between *H. taimen* (♀) and *B. lenok* (♂) and the parental pair

A-*H. taimen* (♀) × *B. lenok* (♂); B-*H. taimen* F₁; C-*B. lenok* F₁.

但发眼卵在破膜后的1~2 h即大量死亡,无存活子代;2008年重复实验中共获得杂交受精卵4 000余粒,结果与2007年杂交情况一致(表3),未获得存活子代。BH的各项人工繁育的技术指标见表3。由于HB杂交实验组在仔鱼破膜后即全部死亡,因此没有相关仔、稚鱼阶段的生长情况。

3 讨论

3.1 哲罗鲑与细鳞鲑的远缘杂交

野生的哲罗鲑和细鳞鲑全年绝大部分时间栖息在20℃以下的湍急溪流中,性成熟分别为5龄和3

龄。每年的4~6月份,这2种鱼分别在山间溪流中交配繁殖,并将受精卵埋于砂砾中孵化^[22,27-28]。本研究利用地下冷泉水在流水土池中培育野生的哲罗鲑和细鳞鲑,由于其雌、雄配子成熟不同步现象严重,因此需通过人工注射性激素药物诱导这2种鱼达到同步成熟效果。人工培育状态下野生的哲罗鲑与细鳞鲑几乎不能自然交配,这可能与2种鱼的性腺发育快慢等因素有关,因为有研究表明,鱼类的性腺完全发育需要一个低温期刺激,低温环境是鱼体营养物质向性腺中转化的条件,而卵黄的积累也恰恰发生在冬季和早春时节^[30]。徐伟等^[26]认为,哲罗鲑的

表3 细鳞鲑(♀)×哲罗鲑(♂)的远缘杂交子代及亲本对照的受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率

Tab. 3 Fertilization rate, eyed rate, hatching rate, larva floating rate of the hybrids between *B. lenok* (♀) and *H. taimen* (♂)
 $n=4\ 000$; $\bar{x}\pm SD$; %

分组 Group	受精率(范围) Fertilization rate (Range)		发眼率(范围) Eyed rate (Range)		孵化率(范围) Hatching rate (Range)		仔鱼上浮率(范围) Larva floating rate (Range)	
BH	96.1±0.8 ^a	(95.0~97.2)	96.3±1.3 ^a	(95.0~98.0)	87.8±1.9 ^a	(85.7~90.5)	—	—
BB	90.2±1.5 ^b	(88.1~92.5)	90.5±1.7 ^b	(88.5~93.0)	90.6±4.3 ^b	(84.1~96.7)	91.7±4.0	(85.7~96.5)
HH	93.1±1.8 ^b	(90.2~95.7)	92.5±1.7 ^b	(91.5~95.0)	95.3±1.0 ^c	(94.1~96.7)	95.3±1.0	(94.5~97.0)

注: 同列数值肩 uppercase 字母表示差异程度, 不同字母表示存在显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: Values in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).



图3 刚破膜的 HB 杂交仔鱼
Fig. 3 Larva of hybrid HB after newly hatching

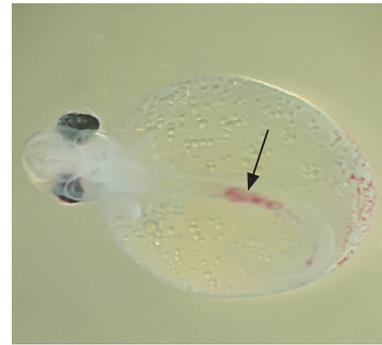


图4 刚破膜的 BH 杂交仔鱼
箭头示体节充血处
Fig. 4 Larva of hybrid BH after newly hatching
Arrow shows blood

配子成熟需要低于 8℃ 的温度刺激, 而细鳞鲑则需要相对较高的 (7~10℃) 温度刺激, 所以人工培育条件下这 2 个远缘种无法达到同步成熟、自然交配。因此, 本研究根据哲罗鲑与细鳞鲑的繁殖生理学特性, 选择水温在 7~8℃ 季节对这 2 种鱼的可繁殖个体进行催熟、催产, 通过人工繁育技术^[26] 获得杂交子代, 而且 HB 正交繁育效果明显好于早期学者在对其他鲑鳟鱼类的属间以及个别属内种间杂交的繁育效果^[3-4], 但对于 HB 杂交种的鱼种生存能力、生长速度和抗病能力还有待于进一步研究, 对于其成鱼的可育性、性成熟年龄以及能否进行自群繁育等问题还需要通过养殖学、遗传学和解剖学等相关技术进行验证。尽管在不同的分布区域这 2 种鱼无法进行自然交配, 但在“共享”同一个产卵场的环境下, 情况就不同了, 个别发育迟缓的哲罗鲑与成熟过早的细鳞鲑个体在水温合适的繁殖季节, 其异源配子由于意外混合而产生天然杂交种是完全可能的。因为

早在 20 世纪 50 年代末, 薛镇宇等^[25] 就曾报道, 在黑龙江流域捕获了哲罗鲑与细鳞鲑的天然杂交种。因此, 本研究根据这 2 种鱼的繁殖生理学特性进行人工杂交繁育, 使野生的哲罗鲑与细鳞鲑的远缘杂交得以实现, 这不但为中国鲑科鱼领域的属间杂交研究填补了空白, 还将为远缘杂交子代的可育性、回交选育, 以及属间杂交 F_1 的杂交优势利用与开发等方面奠定了研究基础, 为今后开发出一种新的鲑鱼商业养殖品种做出积极的贡献。

3.2 哲罗鲑与细鳞鲑的正反交效应与机制

一般鱼类正反交结果基本相同^[31], 然而, 哲罗鲑与细鳞鲑的正反杂交则不然。本研究选用哲罗鲑做母本、细鳞鲑做父本进行远缘杂交, 得到的杂交繁育效果与其双亲 (HH、BB) 自群繁育效果无显著性差异 ($P>0.05$) (表 1、表 3), 而且在胚后的不同发育时期 HB 杂交子代的死亡率和畸形率均好于 HH 和 BB 对照组 (表 2), HB 的破膜仔鱼发育健全, 能够进行

正常发育、生长(图3);但细鳞鲑作母本,哲罗鲑做父本经过2年多次实验均未得到成活的杂交子代,但在胚胎发育阶段BH的杂交受精率、发眼率、孵化率显著好于其双亲(HH、BB)自群繁育效果($P<0.05$) (表1、表3),然而BH仔鱼在破膜后1~2h内即死亡,刚破膜的仔鱼尾干中后段至尾鳍部分盘绕于卵黄囊表面、不能伸展,且所有破膜仔鱼的尾干中后段均有充血点(图4)。导致这种结果的原因可能是在进行亲缘关系较远的鱼类杂交过程中,由于其父母本间染色体数目或核型有差异,导致反交(BH)的受精卵核质不相容,因此BH仔鱼破膜后即全部死亡。已经有研究证明,母本的卵细胞质控制着杂种胚胎基因表达的迟滞或加速^[5],即如果细鳞鲑卵子的细胞质不能与哲罗鲑精子的核DNA正常协调(不相容),就会阻滞或加速杂交胚胎基因的表达,从而致使BH胚胎不能正常发育,直至破膜后死亡。鲤鲫杂交^[32]、草鱼×三角鲂^[33]、兴国红鲤×草鱼^[34]、奥利亚罗非鱼×鳊^[35]等远缘杂交也有同样情况,这些鱼类的远缘杂交、正反交结果不同也许都可用核质是否相容来解释^[35]。

3.3 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的杂交子代胚后发育及开口驯化

卵黄囊时期仔鱼至稚鱼的发育阶段,主要是内源性营养向外源性营养转换的重要临界期^[29],开口饲料的适口性、营养的均衡性是决定仔鱼能否顺利实现开口、转口、直至摄食与度过饥饿不可逆点的主要因素,仔鱼初次摄食成功率高,就意味着临界期被抑制,仔鱼的成活率也将提高^[36]。由于哲罗鲑与细鳞鲑均属肉食性鱼类,其远缘杂交子代也应该属于肉食性,因此本研究根据徐革锋等^[29]的方法对HB进行开口驯化,这与当前国内外多数养殖的杂食性鲑鳟鱼类不同,如虹鳟、大西洋鲑和银鲑等都完全采用人工配合颗粒饲料进行开口驯化、饲养^[28,37-38]。通过对HB实验组和对照组(HH和BB)子代在不同发育时期的体长和体质量进行测量发现,在仔鱼内源性营养时期,HH组、BB组体质量分别呈正增长和零增长变化,但HB组的体质量却呈负增长变化,而它们的体长均呈正增长趋势,从大到小依次为HB、

HH、BB, HB组的子代体质量增长与体长增长负相关,这种现象可能与HB杂交子代生长特性有关,说明在内源性营养时期杂交个体代谢旺盛,这与发育速度较快是相适应的,该时期持续近10d,长于其他鱼类内源性营养时间^[36]。在混合营养时期,HB组和BB组体质量均呈快速增长变化,HH组呈负增长变化,但它们的体长增长均为正增长,这说明较长的内源性营养将对仔鱼后期生长发育产生重要影响,HB组和BB组以体质量不增长为代价更快地度过了内源性营养和混合营养时期,从而在外源性营养时期长势更好。庄志猛等^[36]认为,仔鱼的内源性营养时期过长,相对地延长了其混合营养期的时间,因此就要以或多或少的内源性营养补充其生命活动和生长所需的能量,因此生长缓慢。本研究在不同时期获得的实验组与对照组生长数据证明了上述观点,HH组混合营养时期过长为其积累摄食经验创造了条件,这与其仔鱼开口、摄食能力比较差是相适应的^[39],HB组和BB组的外源性营养时期摄食能力强、生长速度快与其机体自身遗传特性有关,HB继承了父本(细鳞鲑)的易开口、摄食好的特性^[29],因此HB能很好地克服从内源性营养向外源性营养转换这一鱼类发育所必须经历的生理障碍,进而更具有杂种生长优势。

参考文献:

- [1] Schwartz F J. World literature to fish hybrids with an analysis by family, species, and hybrid [M]. Pub Gulf Coast Res Lab Mus (Mississippi), 1972.
- [2] Schwartz F J. World literature to fish hybrids with an analysis by family, species, and hybrid: supplement 1 [M]. NOAA Technical Report NMFS SSRF2750, 1981.
- [3] 楼允东主编. 鱼类育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 83-86.
- [4] 范兆廷主编. 水产动物育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 109-114.
- [5] 楼允东, 李小勤. 中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用 [J]. 中国水产科学, 2006, 13 (1): 151-158.
- [6] Almini F, Zamini A A, Ahmadi M R. Intergeneric Hybridization between Kutum, *Rutilus frisii kutum*, and Bream, *Abramis brama orientalis*, of the Caspian Sea [J]. J World Aquac Soc, 2007, 38 (4): 497-505.

- [7] 陈佳礼, 蒋益祥, 何工. 鲫鲤杂交鱼自然繁殖了新一代[J]. 动物学杂志, 1979, 4: 8.
- [8] 曹伏君. 鲫(♀)鲤(♂)杂交 F₁ 代精巢细胞学研究[J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(1): 4-9.
- [9] 吴维新, 曾国清, 李传武, 等. 鲫鲤杂交子代败育的细胞遗传学研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 94-95.
- [10] 闵乃. 鲫鲤杂交种的培育[J]. 生物学通报, 1959, 9: 395-399.
- [11] 陈敏容, 阎康, 刘汉勤, 等. 人工诱导白鲫(♀) × 红鲤(♂) 异源四倍体鱼的初步研究[J]. 水生生物学报, 1987, 11(1): 96-98.
- [12] 张克俭, 高健, 张景龙, 等. 兴淮鲫(白鲫♀ × 散鳞镜鲤♂) 及其双亲同工酶的研究[J]. 上海水产大学学报, 1993, 2(4): 181-187.
- [13] 张克俭, 何玉明, 张景龙, 等. 兴淮鲫(白鲫♀ × 散鳞镜鲤♂) 及其双亲血清蛋白的电泳分析[J]. 上海水产大学学报, 1994, 3(1-2): 75-78.
- [14] 张克俭, 张景龙, 何玉明, 等. 兴淮鲫(白鲫♀ × 散鳞镜鲤♂) 性腺发育的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(1): 58-64.
- [15] 张克俭, 高健, 张景龙, 等. 杂交鲫(白鲫♀ × 散鳞镜鲤♂) 及其双亲染色体组型的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 305-309.
- [16] 陈道印. 远缘鲫(日本白鲫♀ × 兴国红鲤♂) 人工繁育获得成功[J]. 动物学杂志, 2000, 35(4): 60-61.
- [17] 朱蓝菲, 桂建芳, 梁绍昌, 等. 鲢的远缘杂交子代和人工三倍体的同工酶表达[J]. 水生生物学报, 1993, 17(4): 293-297.
- [18] 殷源洪, 韩荀, 韩如斋. 鳊鲂人工杂交的初步研究[J]. 遗传学通讯, 1974, 3: 36-38.
- [19] 江世贵, 李加儿, 区又君, 等. 平鲷♀ 与真鲷♂ 的杂交研究[J]. 海洋科学, 1997, 5: 33-38.
- [20] 区又君, 李加儿, 周宏团. 鲷科鱼类属间远缘杂交的发育和生长[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 110-112.
- [21] 张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海. 中国池塘养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 89-120.
- [22] 张觉民. 黑龙江鱼类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学出版社, 1995: 50-52.
- [23] 徐伟, 尹家胜, 姜作发, 等. 哲罗鱼人工繁殖技术要点[J]. 中国水产科学, 2004, 17(2): 69-75.
- [24] 徐革锋. 细鳞鱼(*Brachymystax lenok*) 卵巢发育及卵子发生[J]. 沈阳: 东北农业大学, 2006.
- [25] 薛镇宇, 黄尚务, 阎荣元. 黑龙江流域的细鳞鱼和哲罗鱼及其杂交种[J]. 水生生物学集刊, 1959, 2: 215-220.
- [26] 徐伟, 孙慧武, 关海红, 等. 哲罗鱼全人工繁育的初步研究[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 896-902.
- [27] 赵永军, 齐子鑫. 细鳞鲑的生态习性及其资源保护策略[J]. 水利渔业, 2006, 26(3): 38-39.
- [28] 刘雄, 王照明, 金国善, 等. 虹鳟养殖技术[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 34-70.
- [29] 徐革锋, 夏大明, 姚德鑫, 等. 不同饵料对细鳞鱼仔鱼开口驯化的比较[J]. 水产学杂志, 2007, 20(2): 7-11.
- [30] 王义强, 黄世蕉, 赵维信, 等. 鱼类生理学[M]. 上海: 科技技术出版社, 1990: 258-260.
- [31] 叶玉珍, 吴清江, 陈荣德. 草鱼和鲤杂交的细胞学研究——鱼类远缘杂交核质不同步现象[J]. 水生生物学报, 1989, 13(3): 234-239.
- [32] 闵乃. 鲫鲤杂交种的培育[J]. 生物学通报, 1959, (9): 395-399.
- [33] 刘思阳. 草鱼卵子和三角鲂精子杂交的受精细胞学研究[J]. 水产学报, 1987, 11(3): 225-232.
- [34] 刘国安, 吴维新, 林临安, 等. 兴国红鲤同草鱼杂交的受精细胞学研究[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 17-21.
- [35] 王金龙, 杨弘, 吴婷婷, 等. 奥利亚罗非鱼(♀) × 鳊(♂) 远缘杂交子代的遗传结构[J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 32-38.
- [36] 庄志猛, 万瑞景, 陈省平, 等. 半滑舌鳎仔鱼的摄食与生长[J]. 动物学报, 2005, 51(6): 1 023-1 033.
- [37] 李永发, 梁双, 候俊林. 陆封型大西洋鲑的池塘养殖及生物学研究[J]. 水产学杂志, 2005, 18(1): 29-32.
- [38] 刘瑜, 李吉强, 郝小星, 等. 淡水银鲑养殖技术[J]. 渔业现代化, 2003, 5: 17-18.
- [39] 徐伟, 尹家胜, 姜作发, 等. 哲罗鱼人工繁育技术的初步研究[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 26-30.

Intergeneric hybridizations between *Hucho taimen* and *Brachymystax lenok*

XU Ge-feng¹, YIN Jia-sheng¹, LIU Yang¹, LI Yong-fa¹, DU Jia², MOU Zhen-bo¹

(1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; 2. Department of Aquaculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In the present study, distant hybridizations between wild *Hucho taimen* and *Brachymystax lenok* were carried out by gonadal hormone induction and artificial propagation. The result showed that there were no significant differences in fertility rate, eyed rate, hatching rate and larva floating rate of the hybrid between *Hucho taimen* (♀) and *Brachymystax lenok* (♂) (HB, orthogonal experiment group) ($P>0.05$). The malformation rate and mortality rate of the hybrid (HB) at different stage of post-embryonic development were lower than that of control groups (HH, BB). The body weight of HB, HH and BB larvae showed negative growth, positive growth and zero growth respectively at the stage of endogenous nutrition. At the mixed feeding stage, the body weight of HB and BB showed positive growth, while the hybrid of HH showed negative growth. At the exogenous nutrition stage, the body weight of HB, BB and HH were all positive growth. No matter at which stage, the change tendency of body length increased in all groups. The hybrid between *Brachymystax lenok* (♀) and *Hucho taimen* (♂) (BH, reciprocal cross group) were not a live in the past 2 years. However, the fertility and eyed rate of BH were significantly higher than that of HH and BB ($P<0.05$), while the hatching rate were significantly lower ($P<0.05$). The larvae died within 1 to 2 hours after hatching. It was observed that the tail of yolk-sac larve couldn't stretch around the yolk, and there were hyperemia in the middle and posterior segment of the tail. The reason why the hybrid between *Brachymystax lenok* (♀) and *Hucho taimen* (♂) couldn't survive might was the karyoplasms of the gametes from *Brachymystax lenok* and *Hucho taimen* by distant hybridization were not compatible. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (6): 959–966]

Key word: *Hucho taimen*; *Brachymystax lenok*; hybrid; intergeneric hybridization

Corresponding author: MOU Zhen-bo. E-mail: hfishmzb@hotmail.com