

文章编号: 1674-5566(2010)02-0178-06

哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的人工 育苗技术初步研究

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 东北农业大学动物科技学院水产养殖系, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:通过性激素药物诱导和人工繁育技术对哲罗鲑(*Hucho taimen*)(HH)(♀)与细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)(BB)(♂)进行了远缘杂交。研究表明:哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)杂交种(HB)的人工繁育效果与双亲对照组(HH和BB)不存在显著性差异($P>0.05$),且HB的孵化率和仔鱼上浮率均高于HH和BB;选择水蚤和水丝蚓对HB鱼苗进行开口,采用全价饲料粉与水丝蚓的混合团进行过渡,再选用全价人工颗粒饲料进行驯化,驯化结果显示:BB最易于开口、驯化和摄食颗粒饲料,其次是HB,最难于驯化的是HH;HH、HB和BB经过6周的培育,其全长与体质量均呈正增长趋势变化,HB的体质量增长较HH和BB分别快25%、70%。HB的体长、体质量与周龄的最佳方程分别为 $Y=0.022x^2+0.52x+7.30$ ($R^2=0.9874$)和 $Y=2.8171e^{0.2541x}$ ($R^2=0.9877$),体长与体质量的最佳方程为 $Y=-0.0024x^3+0.051x^2+0.42x+7.4$ ($R^2=0.9875$),HB的日增重为 (0.30 ± 0.13) g分别高于HH和BB。

关键词:哲罗鲑;细鳞鲑;远缘杂交种;人工育苗;生长性能

中图分类号: S 961.2 **文献标识码:** A

A preliminary study on technique of artificial reproduction 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 Fisheries Science, Harbin 150070, China;

2 Department of Aquaculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In the present study, distant hybridizations between *Hucho taimen* and *Brachymystax lenok* were carried out by artificial propagation. The results showed that there were no significant differences in fertilization rate, eyed rate, hatching rate, larva floating rate of the hybrid between *Hucho taimen*(♀) and *Brachymystax lenok*(♂)(HB) and control groups($P>0.05$). First feeding larvae were fed with waterfleas and limnodrilus, then the mixture of limnodrilus and power diets, particulated diets. The taming results showed that the fries of *Brachymystax lenok*(BB) were the easiest to open mouth and to be fed particulated diets, then were the hybrid between *Hucho taimen*(♀) and *Brachymystax lenok*(♂)(HB), the fries of *Hucho taimen*(HH) were the hardest. After six weeks, the body weight and length of fries grew gradually in all groups. The body

收稿日期: 2009-06-03

基金项目: 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); 科技部农转资金项目(2007GB23260395); 国家“十一五”支撑计划(2006BAD03B08)

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, E-mail: mouzhenbo@163.com

weights of HB were 25% faster than HH and 70% faster than BB. The regression analysis of the relationship between body length and weeks old body weight and weeks old were $Y=0.022x^2+0.52x+7.30$ ($R^2=0.9874$) and $Y=2.8171e^{0.2541x}$ ($R^2=0.9877$), respectively. The regression analysis of the relationship between body length and body weight was $Y=-0.0024x^3+0.051x^2+0.42x+7.4$ ($R^2=0.9875$). The daily weight gain of HB was (0.30 ± 0.13) g which was higher than HH and BB.

Key words: Hucho taimen; Brachymystax lenok; intergeneric hybridizations; artificial reproduction; growth characteristics

哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 属鲑形目 (*Salmoniformes*)、鲑科 (*Salmonidae*)、哲罗鲑属 (*Hucho*)。濒危等级为易危, 国家二级保护动物^[1-2]。哲罗鲑主要分布在俄罗斯的伏尔加河、皮乔拉河、贝加尔湖流域、额穆尔河水系、哈萨克斯坦的鄂毕河水系、中国的黑龙江水系和额尔齐斯河水系^[3-5]。由于环境污染、过度捕捞等人为因素影响, 近 20 年来中国境内的哲罗鲑资源量极具下降, 其种群数量已处于濒危状态^[1, 6-7]。野生哲罗鲑性成熟年龄为 5⁺ 龄, 体长大于 40 cm, 是淡水鱼中最凶猛的大型鱼类之一^[8-9]。野生哲罗鲑一般集群于大的江河湖泊之中越冬, 繁殖期在每年的 4—5 月份, 水温在 8℃ 左右, 以底质为砂砾的清澈小河、溪流为产卵场, 属洄游产卵型鱼类, 其产卵方式与大麻哈鱼相似^[2, 8, 10]。

细鳞鲑 (*Brachymystax lenok*) 属鲑形目 (*Salmoniformes*)、鲑科 (*Salmonidae*)、细鳞鲑属 (*Brachymystax*)。濒危等级为易危, 国家二级保护动物^[1, 11]。细鳞鲑主要分布于西伯利亚东部、蒙古北部、中国、韩国、欧洲和北美洲等地区^[11-13]。目前在中国的黑龙江流域栖息着吻部特征不同的两种细鳞鲑^[14-15], 一种为尖吻形态的; 另一种为钝吻形态的。该鱼是我国名贵的鲑科冷水性经济鱼类, 具有很高的营养和食用价值。但近些年来随着人口增长、渔业资源的过度开发利用以及水域生态环境的污染等等, 使细鳞鲑的生存受到了前所未有的威胁, 乃至濒临绝灭的危险境地^[1, 16]。野生细鳞鲑性成熟年龄为 3⁺ 龄, 体长大于 25 cm, 是中小型偏肉食性鱼类^[17]。野生细鳞鲑在江河及支流的深水区栖息、越冬, 但不在湖泊开阔水域生活, 繁殖期为每年的 5 月份以后, 选择两岸植被茂密、水质澄清的石砾底质的溪流为产卵场, 属洄游产卵型鱼类^[8, 15, 17]。

哲罗鲑与细鳞鲑在生活习性、繁殖习性和遗传演化等方面有着极大的共性^[8, 18], 但由于他们

亲缘关系较远, 导致这两种鱼的绝大部分群体之间处于生殖隔离状态。但在上个世纪 50 年代薛镇宇等^[19]曾报道过, 在黑龙江上游呼玛河段捕获了哲罗鲑与细鳞鲑的天然杂交种。目前哲罗鲑和细鳞鲑的人工繁殖都已经宣告成功, 且均处于人工扩繁阶段。国内许多学者也对这两种鱼的人工繁育^[10, 20-21]、驯化养殖^[20, 22]、生物学^[2-9, 12-15]、遗传学^[23-24]和分子生物学^[11, 25]等方面作了大量工作。2007 年作者就已经解决了这两种鱼的属间杂交难题, 并已经获得大批杂交幼鱼和鱼种。因此, 在人工育苗过程中, 本研究对杂交卵 (哲罗鲑 (♀) × 细鳞鲑 (♂)) 的受精率、发眼率、仔鱼上浮率、开口驯化和幼鱼养殖等进行了初步研究, 在同等条件下将杂交组与对照组进行了对比养殖试验, 比较他们之间的生长性能差异, 验证杂交种是否易于驯化、是否具备杂种优势、是否具有良好的生长潜能等问题, 这将对今后提高生产性能、培育新品种起到重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 远缘杂交亲本

野生的哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 和细鳞鲑 (*Brachymystax lenok*) 采捕于乌苏里江虎头段, 至今仍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, 均超过 10⁺ 龄, 全长为 84~91 cm, 体重为 4.69~6.75 kg; 细鳞鲑 12 尾, 均超过 8⁺ 龄, 全长为 48.5~55 cm, 体重为 1.38~1.88 kg。

1.2 人工催产繁育

由于野生的哲罗鲑与细鳞鲑的繁殖季节有所不同, 因此, 需选择合适水温范围进行人工培育, 并根据他们对药物的不同敏感效应时间注射性激素, 使杂交亲本的雌雄配子达到同步成熟,

再通过人工繁育技术完成远缘杂交试验。2007年5月份,首先采集哲罗鲑(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,而后再将采集的哲罗鲑(2尾)和细鳞鲑(4尾)的卵子分别与低温保存的精液混合受精。哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)为杂交组,定义为HB;哲罗鲑(♀)×哲罗鲑(♂)和细鳞鲑(♀)×细鳞鲑(♂)为双亲对照组,分别定义为HH和BB。杂交组和对照组均按照♀:♂=1:3比例进行人工授精,孵化采用与虹鳟鱼相同的方法^[26]。受精卵的人工繁育效果按如下公式计算^[27]:

$$F = N_2 / N_1 \times 100\% \quad (1)$$

$$E = N_3 / N_2 \times 100\% \quad (2)$$

$$H = N_4 / N_3 \times 100\% \quad (3)$$

$$L = N_5 / N_4 \times 100\% \quad (4)$$

式中:F为受精率(%);E为发眼率(%);H为孵化率(%);L为仔鱼上浮率(%);N₁为排出卵数(个);N₂为受精卵数(个);N₃为发眼卵数(个);N₄为出苗数(个);N₅为上浮仔鱼数(个)。

1.3 鱼苗开口、驯化饲养

参照徐革锋等^[20]和徐伟等^[10,21]的方法,对不同时期上浮的鱼苗(HH、HB和BB)进行同等条件下的生物饵料(水蚤和水蚯蚓)开口、转口,人工饲料(饲料粉末、软颗粒、硬颗粒)驯化,并培育出一定数目的幼鱼群体。

1.4 幼鱼期生长特性比较

将哲罗鲑(HH)、细鳞鲑(BB)及其杂交种(HB)幼鱼各900尾,分成3个试验组,每组设3个平行(3×300)。第一组为哲罗鲑对照试验组(HH₁—HH₃组),第二组为细鳞鲑对照试验组(BB₁—BB₃组),第三组为杂交试验组(HB₁—HB₃组),投喂国产饲料(山东升索,1.5 mm粒径),试验共进行6周,第0周设为应激适应期,试验前每组随机测量30尾鱼的初始全长和体质量数据,之后每周分别测量一次。每天投饵量保持在鱼体质量的8%~10%,投饵率为3次/d。试验期间饲养管理参照徐革锋等^[20]的方法。

1.5 生长性能指标及数据统计

幼鱼期生长性能指标分别设置为全长、体质量的变化曲线,全长增长与体质量增长的变化关系及日增重。通过SPSS11.5分别对HH₁₋₃、

HB₁₋₃和BB₁₋₃的鱼全长、体质量与周龄,全长与体质量进行回归分析,根据相关指数(R²)的大小表示回归方程可靠程度的高低,并选择相关指数最高的曲线关系式作为生长性能最佳曲线方程,通过显著性比较对不同试验组的日增重情况进行分析与计算。

2 结果

2.1 人工繁育效果

HB受精卵经过148~155℃·d出现眼点,而HH和BB的眼点分别需经过160~170℃·d、140~150℃·d发育才能出现。HB、HH和BB的各项人工繁育的技术指标见表1。杂交组(HB)与对照组(HH和BB)的受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率均差异不显著(P>0.05)。HB的孵化率和仔鱼上浮率均高于HH和BB的。

表1 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的远缘杂交
受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率

Tab. 1 The fertilization rate eyed rate hatching rate
larva floating rate of the hybrid between
H. taimen (♀) and B. lenok (♂)

分组	受精率 (%)	发眼率 (%)	孵化率 (%)	仔鱼上浮率 (%)
$\bar{X} \pm S D$				
HB	90.1±3.1	89.1±0.8	94.2±0.9	97.5±0.1
HH	91.5±0.8	91.8±0.7	93.0±1.0	96.3±0.5
BB	90.1±1.5	89.8±0.9	91.8±2.3	94.7±1.0

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)。

2.2 鱼苗开口及驯化

当HH、HB和BB的上浮仔鱼开始摄取外源营养时,需根据已有经验与鱼苗发育情况,于2007年适时选择不同饵料进行投喂,饵料选择、配比和驯化方法等见表2。投喂饵料的规格主要取决于鱼苗口列大小,在开口初期只能投喂小规格的水蚤,随着鱼苗口列变大,可以选用细微机械破碎的水丝蚓→粗略机械破碎的水丝蚓→水丝蚓团,再选用饲料粉与水丝蚓按一定比例混合成泥团进行饲喂,经过这种过渡后,逐渐选用饲料泥团→软颗粒饲料→硬颗粒饲料进行饲喂。研究发现,BB最易于开口驯化和摄食人工饲料,其次是HB,最难于驯化的是HH。

表 2 HH、HB 和 BB 鱼苗对不同饵料的选择及人工驯养
Tab. 2 Different food choice of young HH, HB, BB and artificial acclimatization

日 期 (月, 日)	饵料及其配比			驯化方法		死亡率 (%)
	HH	HB	BB	投喂量	投饲频率 (次 /d)	
5. 24 — 6. 3	100%水蚤	100%水蚤	100%水蚤(或水丝蚓)	饱和	4	1~5
6. 4—6. 11	100%水蚤	75%水蚤 +25%水丝蚓	100%水丝蚓	饱和	4	1~5
6. 12—6. 20	50%水蚤 +50%水丝蚓	25%水蚤 +75%水丝蚓	50%水丝蚓 +50%粉状饲料	饱和	4	1~5
6. 21—7. 1	25%水蚤 +75%水丝蚓	100%水丝蚓	100%粉状饲料	饱和	4	1~3
7. 2—7. 10	100%水丝蚓	50%水丝蚓 +50%粉状饲料	100%微颗粒饲料	饱和	4	1~3
7. 11—7. 20	50%水丝蚓 +50%粉状饲料	25%水丝蚓 +75%粉状饲料	100%微颗粒饲料	饱和	4	1~3
7. 21—8. 1	10%水丝蚓 +90%粉状饲料	100%微粒饲料	100%微颗粒饲料	饱和	6	1
8. 2—	100%微颗粒饲料	100%微颗粒饲料	100%颗粒饲料	8~12% (体质量)	6	1

2. 3 幼鱼阶段不同试验组的生长性能比较

HH、HB 和 BB 幼鱼的初始全长和体质量见图 1 和图 2。由于发育速度不同,导致 HB 和 HH 的全长显著大于 BB; HB 的体质量显著大于 BB 和 HH ($P<0.05$), BB 全长与 HH 之间不存在显著性差异 ($P>0.05$)。HH、HB 和 BB 经过 6 周的培育,其全长与体质量均呈正增长趋势变化(图 1 和图 2), HB 的体质量增长较 HH 快近 25%,较 BB 快近 70%。

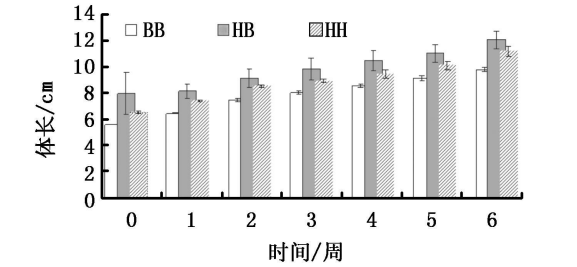


图 1 HH、HB 和 BB 在 6 周内的体长增长情况
Fig. 1 The body length of HH, HB, BB with six weeks

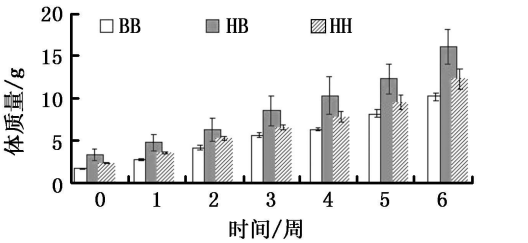


图 2 HH、HB 和 BB 在 6 周内的体重增长情况
Fig. 2 The body weight of HH, HB, BB with six weeks

2. 4 生长性能的回归分析

本研究根据试验结果选用二次多项式曲线 $Y = ax^2 + bx + c$ 做为 HH、HB 和 BB 的全长与周龄关系的最佳方程(表 3);体质量与周龄的关系选用指数曲线 $Y = ae^{bx}$ 做为最佳方程(表 3);全长与体质量的关系选用三次多项式 $Y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 为最佳曲线方程(表 3)。HH、HB 和 BB 的日均增重之间不存在显著性差异 ($P>0.05$)(表 3),但 HB 的平均日增重最大、HH 的次之、BB 的最小。

表 3 HH、HB 和 BB 幼鱼时期生长特性的回归分析
Tab. 3 The regression analysis of growth on fingerlings of HH, HB, BB

项 目	方程式		
	HH	HB	BB
体长与周龄	$Y = -0.011x^2 + 0.81x + 5.88$ ($R^2 = 0.9841$)	$Y = 0.022x^2 + 0.52x + 7.30$ ($R^2 = 0.9874$)	$Y = -0.038x^2 + 0.99x + 4.68$ ($R^2 = 0.995$)
体质量与周龄	$Y = 2.0822e^{0.2622x}$ ($R^2 = 0.9693$)	$Y = 2.8171e^{0.2541x}$ ($R^2 = 0.9877$)	$Y = 1.5046e^{0.2883x}$ ($R^2 = 0.9605$)
体长与体质量	$Y = 0.028x^3 - 0.34x^2 + 1.9x + 4.9$ ($R^2 = 0.9951$)	$Y = -0.0024x^3 + 0.051x^2 + 0.42x + 7.4$ ($R^2 = 0.9875$)	$Y = 0.012x^3 - 0.18x^2 + 1.5x + 4.2$ ($R^2 = 0.9973$)
日增重 ($\bar{X} \pm S.D.$) (g/d)	0.24 ± 0.82	0.30 ± 0.13	0.20 ± 0.069

3 讨论

3.1 哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)的人工繁育

哲罗鲑与细鳞鲑均属鲑科鱼类,但分类于不同属^[1],在黑龙江水系这两种鱼分布极为广泛,并且它们的繁殖特性和进化地位等方面具有极大的共性^[8,18]。薛镇宇等^[19]和张觉民^[8]均报道过,在黑龙江水系的呼玛河段曾捕获到哲罗鲑与细鳞鲑的天然杂交种,充分证明哲罗鲑与细鳞鲑存在杂交的可能性。一般情况下在鲤科、鲤科范围内的亚科、鲢鳙亚科、鳊亚科和鲃亚科等鱼类中运用属间杂交育种手段较为成功和有效^[28]。而在鲑鳟鱼类领域属内的种间杂交是主要的育种手段,且人工繁育的杂交子代大多数能存活^[29]。但绝大部分鲑科鱼属间杂交不能获得成活的杂种,如硬头鲑(*Oncomyzus mykiss*)与红点鲑属鱼(*Salvelinus*)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^[28-29]。本研究通过人工繁育技术成功将哲罗鲑(♀)与细鳞鲑(♂)进行了远缘杂交,结果表明,HB、HH和BB的受精率、发眼率、孵化率和仔鱼上浮率不存在显著性差异($P>0.05$),但HB的孵化率和仔鱼上浮率均高于双亲对照组(表1),且人工繁育效果均好于其他鲑科鱼属间^[28-29]、部分种间杂交^[30]。本研究发现,进行属间杂交的难点在于亲本配子成熟的同步性和2个远缘种的雌雄核质的亲和性,再有就是要有较为成熟的人工繁育经验作为基础,本研究主要借鉴了哲罗鲑、细鳞鲑以及虹鳟的人工繁育经验,从而完成了对哲罗鲑(♀)与细鳞鲑(♂)的属间远缘杂交,且成功获得了大批繁育后代。本研究对哲罗鲑(♀)与细鳞鲑(♂)的成功繁育不但为我国鲑科鱼领域的属间杂交研究填补空白,还为将来开发新的商业养殖品种奠定了基础。

3.2 哲罗鲑(♀)、细鳞鲑(♂)及其杂交种鱼苗的开口及驯化

鱼类摄食人工全价颗粒饲料是规模化养殖的一个重要环节,但其食性及摄食行为是生物进化过程中长期形成的遗传特性,一般较难人为改变,肉食性凶猛鱼类的鱼苗人工驯养难度表现的尤为突出^[10]。鲟鱼(*Acipens*)^[31-32]、细鳞鲑^[20,33]

和哲罗鲑^[10,27]等的驯养都是采用先投喂动物性或生物饵料,然后再逐渐掺入人工配合饲料的方法进行转口驯化,且转口时期选用的饲料均要求较高的蛋白质含量。从本研究的结果来看,在哲罗鲑鱼苗阶段进行生物饵料开口和人工饲料转口及驯化均较为困难,这与徐伟等^[10]的结果相一致,但Jungwirth^[34]在对多瑙河哲罗鱼(*Hucho hucho*)的研究发现,利用人工饲料无法对其进行驯养;而在细鳞鲑鱼苗阶段进行生物饵料开口、以及人工饲料转口均较哲罗鲑的容易,这与徐革锋等^[20]的研究结果一致,但哲罗鲑(♀)×细鳞鲑(♂)在鱼苗阶段开口、驯化难度介于双亲之间,较哲罗鲑容易,但不如细鳞鲑易于驯化。研究表明,HB遗传了HH的生长快的优势,同时还继承了BB的易于开口、驯化等一些特性,并推测HB的杂种优势应来源于HH与BB异质性结合后的等位基因间相互作用的结果。相比较之下,其它鲑鳟鱼类如虹鳟、大西洋鲑和银鲑等的鱼苗均可完全采用人工全价饲料进行开口驯化^[10,27,35],这可能与不同种类的遗传、食性和适应生境的因素有关。

3.3 哲罗鲑(♀)、细鳞鲑(♂)及其杂交种在幼鱼时期的生长性能分析

本研究发现,HB在胚胎时期和鱼苗时期的生活力与双亲无显著性差异($P>0.05$),且HB在幼鱼阶段表现出杂种的生长优势。HB的生长较父母本都快,这与以往鲑科鱼的属间杂交不能获得子代或子代不具有生长优势有所不同^[29]。本研究对HH、HB和BB的6周生长性能指标进行了回归分析,拟合出了相关的最佳生长方程(表3)。通过对日增重分析发现,HB的生长快于双亲,但由于杂种优势的遗传基础的复杂性,及其研究与验证方法的局限性,导致我们对杂种优势的本质或遗传机理仍不太清楚,但通过杂种优势贡献力的估算和分子生物学证据(另文待发表)能够定性的推断出,HB的生长优势主要贡献者是HH。

参考文献:

- [1] 乐佩琦,陈宜瑜.鱼类[M]/任松.中国濒危动物红皮书,1版.北京:科学出版社,1998:29-37.
- [2] 董崇智,李怀明,赵春刚.濒危名贵哲罗鱼保护生物学研究I,哲罗鱼分布区域及其变化[J].水产学杂志,1998,11(1):65-69.

- [3] 尼科里斯基. 黑龙江流域鱼类 [M]. 高岫, 译. 北京: 科学出版社, 1960, 42—47.
- [4] 李思忠. 新疆北部鱼类的调查研究 [J]. 动物学报, 1966, 18(1): 41—56.
- [5] Holcik J, Hensel K, Nieslanik J et al. The Eurasian Huchen Hucho hucho, Largest Salmon of the World [M]. Hingham (USA): Kluwer Academic Publishers, 1988, 42—131.
- [6] 董崇智, 李怀明, 赵春刚. 哲罗鱼性状及生态学资料 [J]. 水产学杂志, 1998, 11(2): 34—39.
- [7] 任慕莲, 郭焱, 张秀善, 等. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002, 58—63.
- [8] 张觉民. 黑龙江省鱼类志 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科技出版社, 1995, 50—54.
- [9] 尹家胜, 徐伟, 曹顶臣, 等. 乌苏里江哲罗鲑的年龄结构、性比和生长 [J]. 动物学报, 2003, 49(5): 687—692.
- [10] 徐伟, 尹家胜, 匡友谊, 等. 哲罗鱼人工育苗技术研究 [J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4): 252—256.
- [11] 夏颖哲, 盛岩, 陈宜瑜. 利用线粒体 DNA 控制区序列分析细鳞鲑种群的遗传结构 [J]. 生物多样性, 2006, 14(1): 48—54.
- [12] 黄浩明, 张德龙, 庄龙杰, 等. 鸭绿江细鳞鱼的生物学 [J]. 水生生物学报, 1989, 13(2): 160—168.
- [13] Lee sangmin. Protein requirement of juvenile Manchurian trout *Brachymystax lenok* [J]. Fisheries Science, 2001, 67, 46—51.
- [14] 马波, 尹家胜, 李景鹏. 黑龙江流域两种细鳞鲑的形态学比较及其分类地位初探 [J]. 动物分类学报, 2005, 30(2): 257—260.
- [15] 牟振波, 刘伟, 徐革锋. 乌苏里江二种细鳞鱼生物学比较研究 [J]. 水产学杂志, 2006, 19(2): 1—8.
- [16] 徐革锋, 陈松波, 牟振波. 细鳞鱼的卵黄发生 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(3): 377—38.
- [17] 董崇智, 夏重志, 姜作发, 等. 呼玛河细鳞鱼种群生态学特征及保护 [J]. 水产学杂志, 1997, 10(1): 77—81.
- [18] Hartley S E. The chromosomes of salmonid fishes [J]. Biological Reviews, 1987, 62, 197—214.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 姜作发, 尹家胜, 徐伟, 等. 人工养殖条件下哲罗鱼生长的初步研究 [J]. 水产学报, 2003, 27(6): 590—594.
- [23] Viktorovsky R M, Makoedov A N, Shevchishin A A. The chromosomal sets of *Brachymystax lenok* and *Hucho taimen* and the divergency of the salmonid genera [J]. Tsitologiya, 1985, 27, 703—709.
- [24] 张荣华, 孙中武, 尹家胜, 等. 哲罗鱼的染色体核型分析 [J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 64—67.
- [25] 佟广香, 鲁翠云, 匡友谊, 等. 哲罗鱼基因组微卫星富集文库的构建与分析 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 181—186.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 范兆廷主编. 水产动物育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005, 109—110.
- [29] 楼允东主编. 鱼类育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999, 83—86.
- [30] Galbreath P F, Thongard G H. Saltwater performance of triploid Atlantic salmon *Salmo salar* L. × brown trout *Salmo trutta* L. hybrids [J]. Aquaculture Research, 1997, 28, 1—8.
- [31] 孙大江, 曲秋芝, 吴文化, 等. 史氏鲟人工繁殖及养殖技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2000, 52—58.
- [32] 柴毅, 危起伟, 李罗新, 等. 中华鲟仔鱼的转食驯化 [J]. 安徽农学通报, 2008, 14(17): 179—203.
- [33] 张玉勇, 徐革锋, 金舒博, 等. 养殖密度对饵料驯化期细鳞鱼稚鱼生长的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 321—326.
- [34] Jungwirth M. The problem of farming and conservation of the Danube salmon (*Hucho hucho* L.) [J]. Envir Biol Fish, 1978, 3, 231—234.
- [35] 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.