

Study on the Heterosis between *Pseudobagrus ussuriensis* and *Pelteobagrus fulvidraco*

Wenjing Shi¹, Yifan Chen¹, Chuankun Zhu¹, Xiangsheng Yu², Hui Wang^{1*}

¹Life Sciences School, Huaiyin Normal University, Huai'an Jiangsu

²Huai'an Fishery Technical Guidance Station, Huai'an Jiangsu

Email: *hytcwvh@hytc.edu.cn

Received: Nov. 26th, 2016; accepted: Dec. 12th, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

To examine the presence of heterosis between *Pseudobagrus ussuriensis* and *Pelteobagrus fulvidraco*, four mating combinations were established using complete diallel cross: *P. Ussuriensis* × *P. ussuriensis*, *P. fulvidraco* × *P. fulvidraco*, *P. ussuriensis* ♂ × *P. fulvidraco* ♀ and *P. fulvidraco* ♂ × *P. ussuriensis* ♀. The heterosis of forward and backward crosses for survival, body weight, specific growth rate and condition factor at 60 d, 400 d and 700 d was analyzed based upon the additive-dominance genetic model. Results showed that there existed heterosis to a varying degree for the traits examined at different temporal points. The average heterosis and over-better-parent heterosis of survival for the combination *P. ussuriensis* ♂ × *P. fulvidraco* ♀ were highest, 17.03 (±2.21)% and 10.85 (±2.11)%, respectively; the heterosis of body weight for the combination *P. fulvidraco* ♂ × *P. ussuriensis* ♀ was highest, 24.11 (±2.01)% and the over-better-parent heterosis of body weight for the combination *P. ussuriensis* ♂ × *P. fulvidraco* ♀ was highest, 18.36 (±2.15)%; the heterosis of condition factor did not vary significantly; both average heterosis and over-better-parent heterosis gradually decreased over time. Results of our study can be favorably relevant to the aquaculture of these species.

Keywords

Pseudobagrus ussuriensis, *Pelteobagrus fulvidraco*, Average Heterosis, Super Parent Heterosis, Diallel Cross, Genetic Analysis Model

*通讯作者。

乌苏里拟鲮与黄颡鱼杂交效果的研究

史文竞¹, 陈奔帆¹, 朱传坤¹, 余祥胜², 王 辉^{1*}

¹淮阴师范学院生命科学学院, 江苏 淮安

²淮安市水产技术指导站, 江苏 淮安

Email: *hytcwvh@hytc.edu.cn

收稿日期: 2016年11月26日; 录用日期: 2016年12月12日; 发布日期: 2016年12月15日

摘 要

本文以乌苏里拟鲮(*Pseudobagrus ussuriensis*)与黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)为亲本, 采用完全双列杂交方法建立了乌苏里拟鲮、黄颡鱼种内互交组合、乌苏里拟鲮♂ × 黄颡鱼♀、黄颡鱼♂ × 乌苏里拟鲮♀四个试验组合, 以考察是否存在杂种优势。基于加-显性遗传分析模型分别计算了60 d、400 d、700 d时存活率、体重、特定生长率以及肥满度的正交及反交杂种优势率。结果表明, 两个种间的杂交不同性状在不同时间存在程度不同的杂种优势率, 其中乌♂ × 黄♀存活率的平均优势率、超亲优势率均为最高, 分别为17.03 (±2.21)%和10.85 (±2.11)%; 在体重方面, 黄♂ × 乌♀组合的平均优势率最高为24.11 (±2.01)%, 乌♂ × 黄♀体重的超亲优势率最高为18.36 (±2.15)%; 肥满度的平均优势率与超亲优势率变化不显著; 平均优势率与超亲优势率都随时间逐渐降低。本研究结果可为养殖生长提供参考。

关键词

乌苏里拟鲮, 黄颡鱼, 平均杂交优势, 超亲杂交优势, 双列杂交, 遗传分析模型

1. 引言

杂交子代个体一般在生长速度、生命力、生殖能力、抗病性等方面一定程度上优于亲本[1]而呈现杂种优势[2]-[8]。由于这种优势具有较大生产意义, 因此许多国内外的学者对杂交优势进行了较全面研究。在水产养殖方面也开展了广泛研究, 并取得了较大应用效果[9] [10] [11]。

乌苏里拟鲮(*Pseudobagrus ussuriensis*)为鲮科拟鲮属鱼类[12], 广泛分布于黑龙江、珠江, 洪泽湖、太湖等水域。乌苏里拟鲮体细长, 生长速度较慢, 对环境适应力强。黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)为鲮科黄颡鱼属鱼类[13], 主要分布于长江流域, 珠江流域等南方地区, 体形小, 生长速度较快。目前, 两种鱼都被广泛养殖。为提高生长速度, 一些研究者开展了两个属间的杂交研究, 如邱丛芳等[14]对黄颡鱼♀和乌苏里拟鲮♂杂交的可行性进行了研究, 表明杂交后代的存活率、生长速度较亲本高; 王明华等[15]对乌苏里拟鲮和瓦氏黄颡鱼进行了杂交, 结果表明杂交后代中也存在不同程度的优势。此外董少杰等[16]对黄颡鱼与乌苏里拟鲮杂交子代的胚胎发育进行了研究。

本研究拟采用完全双列杂交方法全面考察乌苏里拟鲮与黄颡鱼杂交后代的在不同阶段和不同性状上的杂交优势率, 进而为养殖生产提供指导。

2. 材料与方法

2.1. 亲本材料

试验用亲鱼来自淮安市水产研究所, 选择无病症、体表光滑无外伤、质量及个体大、有较强活动力、

性发育成熟的个体，作为亲鱼。雌雄分离，乌苏里拟鲮与黄颡鱼分开，分别暂养于水泥池中，等待催产。

2.2. 试验设计

本实验采用完全双列杂交设计共建立四种双列交配组合：乌苏里拟鲮♂ × 乌苏里拟鲮♀、黄颡鱼♂ × 黄颡鱼♀、乌苏里拟鲮♂ × 黄颡鱼♀、黄颡鱼♂ × 乌苏里拟鲮♀。四种双列交配组合分别设 2 个重复，在 60 d、400 d、700 d 时计算存活率，并取 30 尾鱼苗测量鱼苗的体长、体重，记录特定生长率及肥满度。

2.3. 催产

选择 3 种常用的催产激素处理雌、雄亲鱼，分别为绒毛膜促性腺激素（HCG）、人工合成丘脑下部促黄体素释放激素类似物（LRH-A）、马来酸地欧酮（DOM）。乌苏里拟鲮雌鱼和黄颡鱼雌鱼均采用二次注射法，雄鱼均采用一次注射法。乌苏里拟鲮雌鱼第一次注射 LRH-A5 ug/kg，间隔 11 h 后，注射 HCG1500IU + LRH-A20 ug/kg + DOM4 mg/kg [15]。乌苏里拟鲮雄鱼与雌鱼的第二次注射同步，注射用激素的量为雌鱼的一半。黄颡鱼雌鱼第一次注射 LRH-A8 ug/kg，间隔 11 h 后，注射 HCG2300IU + LRH-A19 ug/kg + DOM5 mg/kg。雄鱼处理方法同乌苏里拟鲮雄鱼。具体用量根据亲鱼的发育生长情况进行调节。

2.4. 人工受精

本实验采用人工授精方法，保持水温在 27℃~29℃。催产 10 h 后，捞取同等数量的雌、雄亲鱼，擦干亲鱼体表的水。将雌鱼的卵挤入干燥的盆中，同时取出雄鱼的精巢，放入研钵中研磨出精巢液，用生理盐水稀释 5 倍，立即加入盛卵的盆内，轻轻搅动，使卵受精形成受精卵，3 分钟后将盆中污水倒掉，用清水洗涤 2 次。将受精卵放入孵化池中孵化，水温保持在 24℃~27℃。

2.5. 苗种培育与养成

鱼苗在养殖池中培育 3 d 后，转移至流水养鱼实验设备中养殖，每个实验设备中放入 200 尾鱼苗。在鱼苗培育期间，控制 pH 值保持在 7.4 左右，水温保持在 27℃~30℃，控制水流量为 0.3 m³/h，水中溶解氧的浓度大于 5 mg/L，NO₂-N 在 0.014 mg/L 左右，NH₄⁺-N 保持在 0.14 mg/L，全天微充气。以卤虫作为鱼苗的开口饵料，并逐步诱食全价配合饲料，主要成份：粗蛋白 40%、粗脂肪 8%、粗纤维 5%、粗灰分 18%、水分 8%。待鱼苗培育 60 d 后，计算各组合的存活率，并取出 30 尾，对其进行体长、体重的测量，计算特定生长率及肥满度，然后将各组合的鱼苗全部转移到池塘网箱中(1.5 m × 1.5 m × 1 m)养殖，在 400 d、700 d 时，各取出 30 尾，对其进行体长、体重的测量。

2.6. 指标度量

杂种优势率

本试验基于加性 - 显性遗传模型[17]分析不同时间完全双列杂交试验数据，分析了三个阶段实验用鱼的子一代 F₁ 在该环境下的存活率、体重、特定生长率、肥满度、群体平均优势率、群体超亲优势率。在试验期 3 个时间点分别考察 4 个性状的平均杂交优势率和超亲优势率，具体公式请参见文献[17]

肥满度

根据测定 60 d、400 d、700 d 时鱼体的体长、体重，计算肥满度(condition factor, CF)。

$$CF = M(g) / L(\text{cm})^3 \times 100$$

式中，CF 表示肥满度，M 表示体质量，L 表示体长。

特定生长率

分别测定 60 d、400 d、700 d 鱼体的质量，计算特定生长率(specific growth rate, SGR)。

$$SGR(\%/d) = \left[(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \right] \times 100$$

式中，ln 表示取自然对数， W_2 、 W_1 表示在 t_1 、 t_2 时刻试验鱼的质量。

2.7. 分析方法

基于加性 - 显性遗传分析模型，采用方差分析法对试验数据进行分析处理。

3. 结果

3.1. 存活率、特定生长率与肥满度

鱼苗养成后统计四种双列交配组合的存活率(见图 1)：乌苏里拟鲮种内互交组合为 80%、黄颡鱼种内互交组合 84%、乌苏里拟鲮♂ × 黄颡鱼♀组合为 88%、黄颡鱼♂ × 乌苏里拟鲮♀组合为 93%。统计分析结果表明差异极显著($P < 0.01$)且随着时间的延长差异逐渐变小。

由图 2 可以看出，乌苏里拟鲮♂ × 黄颡鱼♀组合子一代的体重在各时间点均为最大。在各时间点杂交组合和种内互交组合之间，差异极显著($P < 0.01$)，且随着时间的延长差异逐渐变小。由图 3 可以看出，不同组合之间的特定生长率之间差异不显著($P > 0.05$)。黄颡鱼种内互交组合在各个时间点的肥满度均为最大，杂交优势在肥满度方面差异显著($P < 0.05$)，见图 4。

3.2. 杂交优势率

由表 1 可以看出，在不同时间点乌♂ × 黄♀、黄♂ × 乌♀之间的成活率、体重的平均优势率及超亲优势率相较于亲本组合均差异极显著($P < 0.01$)，但是随着时间的增长差异逐渐减小。肥满度的平均优势率及超亲优势率差异不显著($P > 0.05$)。特定生长率的差异显著($P < 0.05$)。

4. 讨论分析

表 1 证明三个阶段杂交子代的存活率、体重优势显著。存活率中乌♂ × 黄♀组合平均优势最大为 17.03 (± 2.21)%，超亲优势最大为 10.85 (± 2.11)%，差异显著。体重中平均优势最大为黄♂ × 乌♀组合，为 24.11 (± 2.01)%，超亲优势率最大为乌♂ × 黄♀组合，为 18.36 (± 2.15)%，差异显著。且随着时间的增加，优势

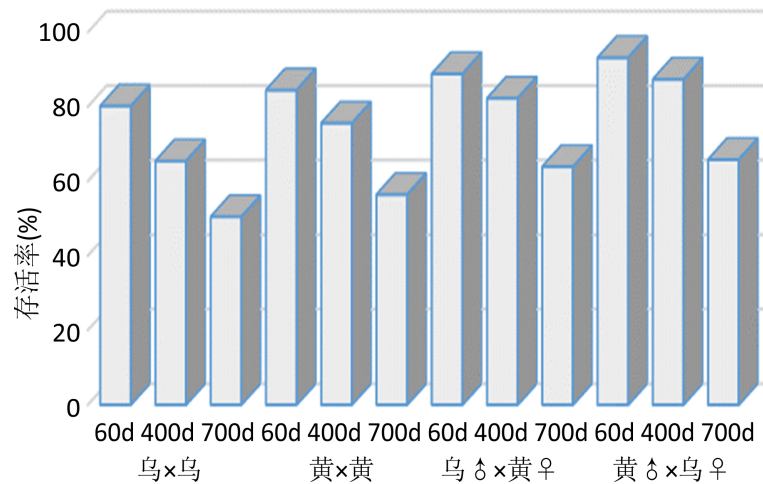


Figure 1. Survival rate of different parent combinations at different time points
图 1. 不同亲本组合在不同时间点的存活率

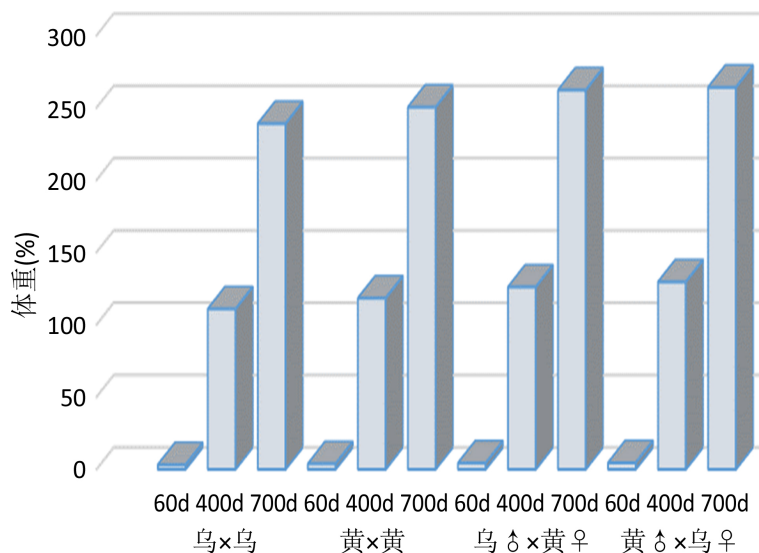


Figure 2. The weight of different parent combinations at different time points
图 2. 不同亲本组合在不同时间点的体重

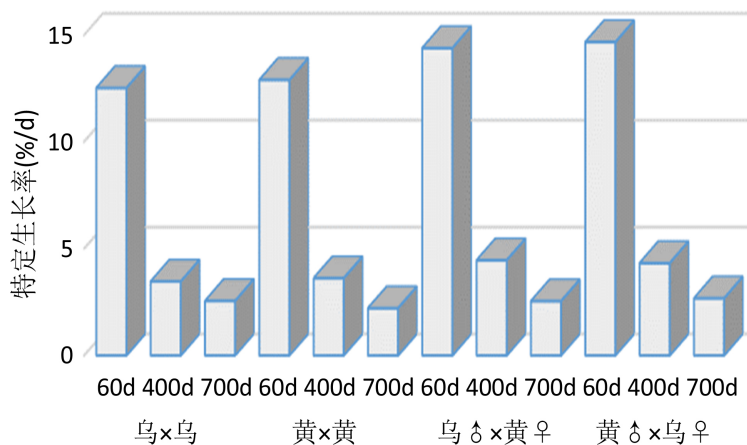


Figure 3. Specific growth rate of different parent combinations at different time points
图 3. 不同亲本组合在不同时间点的特定增长率

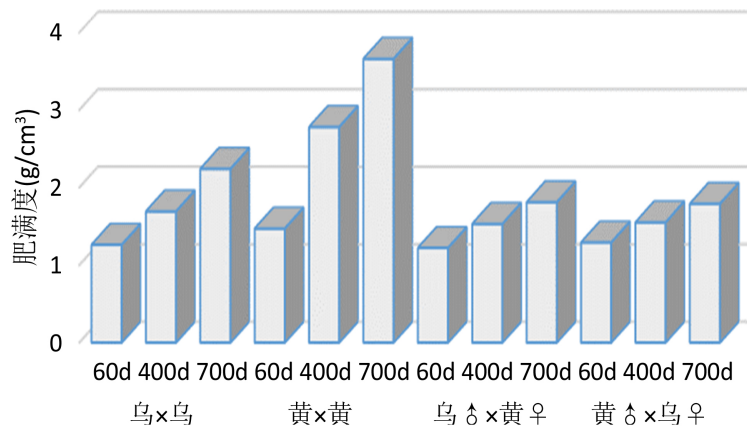


Figure 4. Relative fatness of different parent combinations at different time points
图 4. 不同亲本组合在不同时间点的肥满度

Table 1. The heterosis rate of F₁ in the different time of the cultivation period
表 1. F₁ 在养成期内不同时间的杂交优势率

性状	日期	平均优势率%		超亲优势率%	
		乌♂ × 黄♀	黄♂ × 乌♀	乌♂ × 黄♀	黄♂ × 乌♀
成活率(%)	60 d	17.03 (±2.21)	16.24 (±1.47)	10.85 (±2.11)	8.97 (±2.3)
	400 d	10.36 (±1.42)	13.55 (±1.83)	6.56 (±1.44)	4.87 (±1.59)
	700 d	7.69 (±0.81)	8.87 (±1.06)	4.47 (±0.92)	3.10 (±0.78)
体重(g)	60 d	23.34 (±1.69)	24.11 (±2.01)	18.36 (±2.15)	17.45 (±1.95)
	400 d	15.63 (±1.34)	17.74 (±1.22)	10.89 (±1.53)	12.85 (±1.32)
	700 d	7.98 (±1.21)	8.41 (±0.95)	4.01 (±0.62)	6.46 (±0.86)
肥满度(g/cm ³)	60 d	1.87 (±0.15)	1.33 (±0.26)	1.46 (±0.33)	1.12 (±0.25)
	400 d	0.84 (±0.13)	0.31 (±0.12)	1.28 (±0.30)	0.23 (±0.06)
	700 d	0.56 (±0.12)	0.12 (±0.06)	0.35 (±0.07)	0.18 (±0.05)
特定生长率(%/d)	60 d	6.37 (±1.1)	6.61 (±0.9)	5.69 (±0.86)	5.77 (±0.92)
	400 d	3.32 (±0.85)	2.89 (±0.68)	3.46 (±0.76)	3.29 (±0.59)
	700 d	2.44 (±0.43)	2.28 (±0.53)	2.88 (±0.61)	2.18 (±0.41)

程度降低。杂交子代的肥满度优势不显著。黄颡鱼的体型较小，肥满度高。乌苏里拟鲮的体型细长，肥满度低。故杂交子代的肥满度优势不明显。肥满度还与投喂食料有关，蛋白质含量高，则肥满度大。对于特定生长率而言，杂交组合的平均优势率与超亲优势率均差异显著。随着时间的增加，几个性状的优势程度都降低，这与王明华等[15]的结果一致。鱼类早期生长较快，生长相关基因表达旺盛，基因位点内与位点间互作(显性效应与上位效应)较强，因而杂种优势较大。相反，随着鱼类生长速度降低，生长相关基因表达变弱，基因互作亦变弱，因而杂交优势随之降低。

杂种优势估计与所采用遗传分析模型密切相关，在分析杂种优势时应该指明是某个遗传分析模型的具体形式。杂交优势的大小取决于显性效应大小，由于分母中含有加性效应，因此这些杂种优势的统计量并不能真正度量杂种优势的基因效应。以前研究没有将加性效应与显性效应分离开来而是混合在一起，理论上说低估了杂交优势率，而本研究中由于采用加-显性遗传分析模型，从杂交优势率的公式中剔除了加性效应，故此估计应该更加准确。

邱丛芳等[14]报道了乌苏里拟鲮与黄颡鱼间的杂交子代在苗种阶段(60 d)的结果，比较了杂交子代与两个亲本组合的体长、体高、体重。杂交子代体重、体长的增加量明显高于两个亲本组合。实验结束时，杂交子代体重优势为 2.612，明显高于自交组。作者没有计算杂种优势率，所以无法与本研究结果相比较。

王明华等[15]着重研究乌苏里拟鲮和瓦氏黄颡鱼的种内互交、正交、反交组合的生长参数，对各生长参数进行方差分析，显著性检验用 Duncan 法进行多重比较。发现不同阶段正交组的体重、体长最大。51d 时杂交子代体质量的超亲优势率最大，为 24.747，且正交组优势高于反交组，但随着时间增大，超亲优势率降低。710 d 时杂交子代肥满度最大，为 1.761 ± 0.72 ，与种内互交组相比无明显优势。

本研究在其基础上研究了乌♂ × 黄♀、黄♂ × 乌♀两个杂交组合与乌苏里拟鲮、黄颡鱼种内互交亲本组合的生长比较，发现子代在各方面的性状上均有一定程度的改良。并且基于加性-显性遗传分析模型，发现不仅在苗种培育期杂种优势明显，经过 700 d 的养成仍然能够表现出较为显著的杂种优势。在肥满度方面，两个杂交组合的杂种优势均不明显，偏向于乌苏里拟鲮，可能与乌苏里拟鲮体内控制体型的基因占

优有关。

近年来,水产动物属间杂交的种类逐年增加,如不同种类鲈鱼的杂交[18][19],草鱼和鳊鱼杂交,黄金鲈和伊犁鲈杂交,黄颡鱼、江黄颡鱼与粗唇鲃的杂交,表明一些属间杂交的可行性,这为研究远缘杂交提供了可能。本文着重研究的乌苏里拟鲮和黄颡鱼是不同属鱼种,证明远缘杂交的可行性。杂交子代具有一定的杂交优势,但是有的种间杂交产生的子代存活率、受精率低,可能导致不育现象,这需要进行深入研究。

基金项目

江苏省海洋与渔业局水产三新工程项目(2014-2016)“乌苏里拟鲮人工性转技术的研究与应用”(项目编号:Y2014-30)。

参考文献 (References)

- [1] 景小兰, 李金梅, 张福耀, 等. 作物杂种优势的生理生化研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 233-237.
- [2] 王卫民, 严安生, 张志国, 等. 黄颡鱼♀与瓦氏黄颡鱼♂的杂交研究[J]. 淡水渔业, 2002, 32(3): 3-5.
- [3] Senanan, W., Kapuscinski, A.R., Na-Nakorn, U., et al. (2004) Genetic Impacts of Hybrid Catfish Farming (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) on Native Catfish Populations in Central Thailand. *Aquaculture*, **235**, 167-184. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.020>
- [4] 宓国强, 练青平, 王雨辰, 等. 杂交鳊胚胎发育观察[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2009, 28(3): 264-269.
- [5] Glover, K.A., Ottera, H., Olsen, R.E., et al. (2009) A Comparison of Farmed, Wild and Hybrid Atlantic Salmon (*Salmo salar*, L.) Reared under Farming Conditions. *Aquaculture*, **286**, 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.09.023>
- [6] Chakrabarti, R., Rathore, R.M., Mittal, P., et al. (2006) Functional Changes in Digestive Enzymes and Characterization of Proteases of silver carp (♂) and Bighead carp (♀) Hybrid, during Early Ontogeny. *Aquaculture*, **253**, 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.018>
- [7] Nielsen, H.M., Ødegård, J., Olesen, I., et al. (2010) Genetic Analysis of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Strains: I: Genetic Parameters and Heterosis for Growth Traits and Survival. *Aquaculture*, **304**, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.016>
- [8] Tymchuk, W.E. and Devlin, R.H. (2005) Growth Differences among First and Second Generation Hybrids of Domesticated and Wild Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **245**, 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.007>
- [9] Essa, M.A., Mabrouk, H.A., Mohamed, R.A., et al. (2011) Evaluating Different Additive Levels of Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, on the Growth and Production Performances of a Hybrid of Two Populations of Egyptian African Catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, **320**, 137-141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.015>
- [10] Jie, H., Liu, S., Xiao, J., et al. (2012) Characteristics of Diploid and Triploid Hybrids Derived from Female *Megalobrama amblycephala*, *Yih* × Male *Xenocypris davidi*, Bleeker. *Aquaculture*, **364-365**, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.025>
- [11] Koolboon, U., Koonawootrittriron, S., Kamolrat, W., et al. (2014) Effects of Parental Strains and Heterosis of the Hybrid between *Clarias macrocephalus* and *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, **424-425**, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.023>
- [12] 潘伟志, 陈军, 王鹏, 等. 乌苏里拟鲮人工繁育技术研究[J]. 水产学杂志, 2006, 19(1): 31-35.
- [13] 赵文学, 杨星, 彭智, 等. 黄颡鱼属物种的 RAPD 分子鉴定及杂种遗传分析[J]. 水生生物学报, 2006, 30(1): 101-106.
- [14] 邱丛芳, 王彬, 余祥胜. 黄颡鱼♀ × 乌苏里拟鲮♂苗种繁殖养殖试验[J]. 科技信息, 2009, 26(4): 314.
- [15] 王明华, 蔡永祥, 陈校辉, 等. 乌苏里拟鲮、瓦氏黄颡鱼杂交与自交子代生长性能比较[J]. 水产科学, 2013, 32(1): 50-54.
- [16] 董少杰, 孙洁, 毕相东, 等. 黄颡鱼、乌苏里拟鲮杂交子代胚胎发育和胚后 30 d 的体长变化[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 313-315.
- [17] Zhu, J. and Weir, B.S. (1996) Diallel Analysis for Sex-Linked and Maternal Effects. *Theoretical and Applied Genetics*,

92, 1-9. <https://doi.org/10.1007/BF00222944>

- [18] Weirich, C.R., Tomasso, J.R. and Smith, T.I.J. (1992) Confinement and Transport-Induced Stress in White Bass *Morone chrysops* × Striped Bass *M. saxatilis* Hybrids: Effect of Calcium and Salinity. *Journal of the World Aquaculture Society*, **23**, 49-57. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00750.x>
- [19] Mylonas, C.C., Magnus, Y., Gissis, A., *et al.* (1996) Application of Controlled-Release, GnRHa-Delivery Systems in Commercial Production of White Bass × Striped Bass Hybrids (*Sunshine bass*), Using Captive Broodstocks. *Aquaculture*, **140**, 265-280. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01178-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01178-1)

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojfr@hanspub.org