



## 牙鲆“鲆优2号”不同养殖地点生长和存活性状的 基因型与环境互作分析

李仰真<sup>1,2</sup>, 杨英明<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1</sup>, 卢昇<sup>1</sup>, 吴垚磊<sup>1</sup>, 赵玉柱<sup>1</sup>,  
马腾<sup>1</sup>, 程向明<sup>3</sup>, 程佳禹<sup>3</sup>, 陈松林<sup>1,2\*</sup>

- (1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;  
2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237;  
3. 唐山市鲆鲷鱼类养殖工程技术研究中心, 唐山市维卓水产养殖有限公司, 河北 唐山 063202)

**摘要:** 为比较牙鲆“鲆优2号”在不同养殖地区的生长和存活性能, 实验利用连续多代对生长性状和抗迟缓爱德华氏菌病性状遗传参数评估和基因组选择的结果筛选出的亲本, 建立28个“鲆优2号”家系, 在河北(Site 1)和山东(Site 2)进行对比养殖试验, 利用混合线性动物模型对生长和存活性状进行了基因型与环境互作分析。Site 1和Site 2的平均日增重分别为1.5和1.2 g/d, 养殖成活率分别为81.4%和82.2%, “鲆优2号”在两个养殖地点的生长和抗病性能均表现优异。不同养殖环境间收获体质量和存活性状的遗传相关分别为0.57 (<0.7)和0.82 (>0.7), 说明不同养殖环境间收获体质量存在显著的基因型与环境互作效应, 但是不同养殖环境间存活性状的基因型与环境互作效应不显著。研究表明, 牙鲆“鲆优2号”新品种在不同养殖地点的生长和存活性能均表现良好, 为保证良好的推广效果, 需要对牙鲆的制种方案进一步优化, 针对不同的养殖地区进行“鲆优2号”苗种生产, 或培育具有普适性的“鲆优2号”苗种, 保证在不同养殖环境下的快速生长和高存活率优势。

**关键词:** 牙鲆; “鲆优2号”; 生长; 存活; 遗传参数; 基因型与环境互作

**中图分类号:** Q 785; S 917.4

**文献标志码:** A

牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)是我国重要的海水养殖鱼类之一, 在沿海地区广泛养殖, 南到福建沿海地区, 北到辽宁沿海地区。目前主要的养殖方式是网箱养殖(代表地福建)、工厂化室内养殖(代表地山东、天津和河北)和室外池塘养殖(代表地辽宁)。网箱养殖和工厂化养殖一般投喂配合饲料, 上市规格0.8~1.0 kg(1.5龄); 室外池塘养殖一般投喂冰鲜杂鱼(成本较低), 初冬回捕(外塘无法越冬), 当年上市, 所以上市规格较小, 约0.3~0.5 kg(0.5龄)。牙鲆生长速度较快, 性

成熟前雌雄生长差异不明显, 养殖风险较低, 因此养殖效益可观。以工厂化室内养殖为例, 养殖成活率70%, 每尾0.8~1.0 kg的成鱼养殖成本15~20元(大型养殖公司成本要略高于小型棚户养殖), 出厂价50~60元/kg, 即每尾鱼净利润约20~45元。

牙鲆育苗和养殖过程中病害时有发生, 例如细菌病、病毒病和寄生虫病等, 其中细菌病中由迟缓爱德华氏菌(*Edwardsiella tarda*)引起的腹水病是牙鲆养成过程中的主要病害, 感染

收稿日期: 2019-08-16 修回日期: 2019-10-22

资助项目: 山东省自然科学基金重点项目(ZR2016QZ003); 山东省泰山学者攀登计划

通信作者: 陈松林, E-mail: chensl@ysfri.ac.cn

后死亡率极高<sup>[1-2]</sup>。与其他水产养殖动物一样,收获体质量和养殖成活率是牙鲆两个最重要的经济性状。为提高牙鲆的抗病力和生长速率,更好地提高养殖效益和服务社会,黄海水产研究所陈松林团队先后培育出“鲆优1号”和“鲆优2号”新品种,其中“鲆优2号”是通过对生长性状和抗迟缓爱德华氏菌病性状进行连续多代家系选育并结合基因组选择技术培育而成的速生抗病新品种。目前已经连续多年多个省市(山东、河北、天津、江苏和福建)推广示范养殖,并取得良好效果。但是由于各地的养殖条件和水环境等因素并不相同(如养殖用水的水温和盐度等、管理方法),因此在养殖效果方面会产生一定的差异,不可避免的存在基因型与环境互作效应。从遗传学上讲,个体的总表型变异是遗传变异和环境变异共同作用的结果<sup>[3]</sup>。在不同的环境条件下,来自单一基因型的生长表现可能并不相同。有证据表明,基因型间的环境敏感性或反应规范会有差异并且能够产生较大的基因型和环境互作(G×E interaction, GEI)<sup>[4]</sup>。此前“鲆优2号”的培育和保种工作在山东的养殖条件下制定的,但是实际上“鲆优2号”在全国多地大量推广养殖,因此为了更有效地改善育种方案,增强其普适性,有必要对GEI进行了解和探究,因为,这种相互作用可以降低遗传增益或影响个体的性状优劣<sup>[5-6]</sup>,即降低选择效果。

GEI是基因型对环境梯度不同反应的现象,主要包括基因型的重排效应(re-ranking effect)和遗传变异的异质性(即尺度效应, scaling effect)<sup>[5,7]</sup>。这对育种计划的制定是一个挑战,特别是重排效应,因为某一基因型在某一环境中具有优势并不代表在另一个环境中也具有优势<sup>[8-9]</sup>。利用两种环境中目标性状测量值之间的遗传相关性,可以估计环境之间的重排效应<sup>[10]</sup>。在鱼类育种中,有学者指出,当遗传相关低于0.7时,需要根据不同养殖环境分别针对目标性状制定不同的育种方案<sup>[11-12]</sup>。因此,为了更好地保证“鲆优2号”在各地的快速生长和高成活率,本研究对28个“鲆优2号”家系分别在山东和河北进行对比养殖试验,利用混合线性动物模型(基于最佳线性无偏预测, BLUP)对其生长性状和存活性状在不同养殖地点的GEI进行了分析,以期以此为据,对牙鲆的制种方案进行优化,进而保证更好的推广效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 家系建立和养成

亲鱼培育和家系建立在黄海水产研究所实验基地(海阳市黄海水产有限公司)进行。根据本研究室对2012—2015年家系生长和抗迟缓爱德华氏菌病性状家系选育及遗传参数评估结果<sup>[13-16]</sup>和对2013—2015年家系抗迟缓爱德华氏菌病基因组选择结果<sup>[17]</sup>,选取育种值高的亲本120尾(已经用于建立家系并且进行了电子标记),选取家系平均育种值高的子代个体400尾作为亲本,同时进行电子标记(PIT标记,青岛海星仪器有限公司),这520尾个体或生长速度快,或抗病力强,或二者兼备。将这些个体进行重点培育,分别在2018年5月4日和14日选取其中性腺发育良好的抗病且生长速度快的个体(雌27尾,雄22尾)通过人工授精建立“鲆优2号”家系28个(5月4日20个,5月14日8个)。其余亲本通过人工授精和自然产卵方式大批量生产“鲆优2号”受精卵推广到日照、河北、天津和江苏等地进行示范养殖。

家系鱼苗培育期间根据生长情况进行了多次密度调整,保证每个家系养殖密度一致。家系鱼苗标记前管理方法参照文献<sup>[18]</sup>。2018年8月6日—10日,每个家系分别随机选取50尾测量体质量,每个家系随机选取200尾(2批,每批每个家系100尾)进行荧光标记(青岛海星仪器有限公司),稳定10 d,其中一批运到河北省唐山市维卓水产养殖有限公司(Site 1)进行养成,流水养殖,盐度18~24,养殖水温16℃~26℃,夏季用冷水井(常年16~18℃)调温不超过26℃,秋季自然海水温度,冬季和春季用地热井水(60~70℃)调温,不低于16℃;另外一批在海阳实验基地(Site 2)进行养成,流水养殖,盐度26~30,30,养殖水温12℃~28℃,夏季用冷水井调温不超过28℃,秋季用自然海水,冬季和春季用冷水井调温不低于12℃。总的来讲,养成期间Site 1水温波动范围较小,平均水温较Site 2高。两个养殖地点所投喂饲料均为海童牌配合饲料[三通生物工程(潍坊)有限公司],日投喂率均为1%~2%。其他统计信息见表1和图1。

### 1.2 数据获取和整理

养殖约250 d,2019年4月26日—28日同时测量两个地点的所有存活个体收获体质量并统计各家系数量,计算养殖成活率。在Excel中将收获体重数据整理成1个数据集,即Dataset\_weight\_

表 1 不同养殖地点的放养和收获数量、养殖时间、成活率和平均日增重

Tab. 1 Number of fish at stocking and harvest, experimental duration, survival rate and average daily gain in different sites

地点 sites	放养数量 no. of fish at stocking	收获数量 no. of fish at harvest	成活率/% survival	养殖时间/d duration	平均日增重/(g/d) average daily gain <sup>d</sup>
Site 1	2 800 (100) <sup>a</sup>	2 280 (71-93) <sup>b</sup>	81.4 (71-93) <sup>c</sup>	250	1.5
Site 2	2 800 (100) <sup>a</sup>	2 303 (56-96) <sup>b</sup>	82.2 (56-96) <sup>c</sup>	250	1.2

注: <sup>a</sup> 括号里数字是每个家系的放养数量; <sup>b</sup> 括号里的数字是所有家系收获数量的范围; <sup>c</sup> 括号里的数字是所有家系养殖成活率的范围; <sup>d</sup> 计算公式: (收获时平均体质量-放养时平均体质量)/养殖时间

Notes: <sup>a</sup> number in parentheses indicates stocking size of each family; <sup>b</sup> number in parentheses indicates the range of harvest fish number of all the families; <sup>c</sup> number in parentheses indicates the range of survival rate of all the families; <sup>d</sup> calculation formula: (average body weight at harvest-average body weight at stocking)/duration days

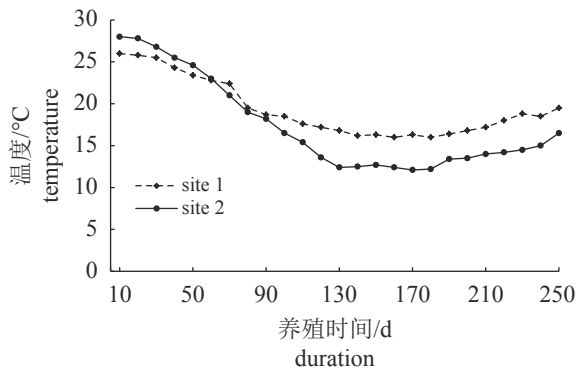


图 1 养成期间不同养殖地点的水温变化趋势

Fig. 1 Change trend of water temperature in different sites during the grow-out period

Site 1+ Site 2 (将Site 1和Site 2的收获体质量作为两个不同的性状, 缺失值用NA代替); 统计每个家系存活个体数量, 存活个体记为1, 死亡个体记为0, 同样整理成1个数据集, 即Dataset\_survival\_Site 1+ Site 2 (将Site 1和Site 2的存活/死亡数据作为两个不同的性状, 缺失值用NA代替)。同时整理每个数据集对应的系谱信息, 追溯到0代, 缺失值用NA代替。

### 1.3 基因型与环境互作分析

基于限制性极大似然(REML)方法, 利用线性混合动物模型(Model 1)对两个不同养殖地点的收获体质量的方差组分和环境间的遗传相关性进行了估计。Model 1 模型如下:

$$y = \mu + f + a + sd + e$$

式中,  $y$ 为性状的表型值;  $\mu$ 是总体均值;  $f$ 为固定效应, 包含地点和养殖池;  $a$ 为个体的随机加性效应;  $sd$ 为父母本交互效应;  $e$ 为残差效应。

采用阈值(连接函数为logit)动物模型(Model 2)对两个不同养殖地点的存活性状的环境间的方差组分和遗传相关性进行了分析(假设数据符合标准正太分布)。Model 2 模型如下:

$$Pr(y = 1) = \frac{\exp(\mu + f + a + sd)}{1 + \exp(\mu + f + a + sd)}$$

式中, 残差方差为固定值 $\pi^2/3$ , 其他参数如上所述。

为了量化GEI和评估两个不同养殖地点之间的遗传相关( $r_g$ ), 在基于上述模型的双变量(bivariate)分析中, 将这两个环境中的同一性状视为两个不同的性状, 将养殖地点作为固定效应。因为每个性状的观测值都是在单独的环境中记录, 模型中同一性状之间不存在环境(残差)相关性, 因此环境协方差为零, 这也意味着表型相关性无法估计<sup>[19]</sup>。利用Wald F统计量方法估计固定效应的显著性, 养殖池效应不显著( $P > 0.05$ ), 因此在后续的分析中将其去掉。采用似然比检验(LRT)方法对父母本互作效应的显著性进行检验<sup>[11, 20]</sup>, 发现父母本互作效应并不显著( $P > 0.05$ ), 因此在后续分析中将其忽略。

不同养殖地点(环境)之间的遗传相关计算公式<sup>[5]</sup>:

$$r_{g(i,j)} = \frac{\delta_{g(i,j)}}{\delta_{g(i)}\delta_{g(j)}}$$

式中,  $\delta_{g(i,j)}$ 为两个养殖环境中记录值(作为不同的性状( $i, j$ ))之间的遗传协方差,  $\delta_{g(i)}$ 和 $\delta_{g(j)}$ 分别为性状  $i$  和性状  $j$  的遗传方差。

以上均使用ASReml-R 3.0软件包进行分析, 具体方法参照其说明书<sup>[21]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 描述性统计

在Excel中对两个养殖地点的收获体质量进行单因素方差分析(ANOVA)发现差异极显著( $P < 0.01$ ), Site 1的水温相对较高(图1), 生长速度明显高于Site 2。体质量和存活性状的描述性统计见表1和表2。两个地点的养殖成活率均很高, 表明“鲆优2号”在这两个养殖地点均表现出了良



好的抗病性能。Site 1 的养殖成活率为81.4%，略低于Site 2(82.2%)。Site 1和Site 2的家系成活率分别介于71%~93%和56%~96%。Site 1和Site 2的平

均日增重分别为1.5和1.2 g/d。在两个养殖地点收获体质量的变异系数均为0.21，表明“鲆优2号”的收获体质量仍具有一定的遗传改良潜力。

表 2 不同养殖地点放养和收获时的体质量均值(BW, g)、标准差和变异系数(CV)

Tab. 2 Mean (g), standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of body weight (BW, g) at stocking and harvest in different sites

	放养 stocking			收获 harvest					
				Site 1			Site 2		
	均值 mean	标准差 SD	变异系数 CV	均值 mean	标准差 SD	变异系数 CV	均值 mean	标准差 SD	变异系数 CV
体质量 weight	15.90	6.15	0.39	402.40	85.81	0.21	326.88	68.37	0.21

## 2.2 基因型与环境互作分析

牙鲆“鲆优2号”不同养殖地点之间收获体质量的遗传相关为0.57 (<0.7)，呈中等相关，说明这两个养殖地点存在极显著的基因型和环境互作效应和较大的家系重排效应。两个养殖地点之间存活性状的遗传相关为0.8257 (>0.7)，呈高度相关，说明这两个地点之间的基因型和环境互作效应和家系间重排效应很小，两个养殖地点之间的家系成活率排名基本一致。

## 3 讨论

### 3.1 养殖地点的选择

本研究选取的两个实验地点是牙鲆的主产区，因此均具有很强的代表性。山东省威海、烟台和日照等地区养殖规模很大，其养殖环境特点是夏季水温偏高，自然海水通常能达到25℃以上，冬季水温很低，最低温不足4℃，因此一般需要用卤水井的井水(水温常年14℃~18℃)进行调温，保证夏季水温不过高冬季水温不过低；河北省是国内牙鲆养殖的另一主产区，其年产量与山东省相当甚至高于山东省，河北省的优势是有深井热水(水温常年60℃~70℃)并且还有浅井水(一般盐度较低，水温常年16℃~20℃)，不仅能够保证冬季养殖水温较高而且夏季水温不过高。牙鲆“鲆优2号”是在位于烟台海阳的黄海水产研究所实验基地培育而成，并且近些年在河北省做了大量推广，因此，本研究选取山东烟台和河北唐山作为两个代表性的养殖地区进行对比养殖实验，其养殖模式均为工厂化室内流水养殖。

### 3.2 牙鲆“鲆优2号”的生长和存活情况

2014—2016年，牙鲆“鲆优2号”中试养殖和

培育初成期间，在山东烟台和日照等地区的生长情况为平均日增重0.71~0.93 g/d，养殖成活率62.2%~81.3%<sup>[22-23]</sup>。本研究中，在烟台海阳基地的生长情况为平均日增重1.2 g/d，养殖成活率82.2%。同样，在河北唐山的示范养殖也取得了很好的效果，平均日增重1.5 g/d，养殖成活率81.4%。因此，本研究中根据生长和抗病性状遗传参数评估结果和基因组选择结果培育的“鲆优2号”表现出了更好地生长和抗病优势，将更好地造福全国各地养殖户。

### 3.3 基因型和环境互作

两个养殖地点之间体质量的遗传相关为0.57，存在相当大的GEI，直接的表现形式是严重的家系重排效应。但是，两个养殖地点存活性状的遗传相关处于较高水平，为0.82，说明“鲆优2号”的高养殖成活率(抗病性能)在不同的养殖地区都得到了很好的体现，但是根据本研究的结果，需要根据不同的养殖环境优化制种方案，保持“鲆优2号”快速生长和抗病性能的优势。

实际上，水产养殖动物在不同的养殖环境出现较大的GEI是普遍现象，这里的环境是一个整体性概念，包含各种环境因素如水温、盐度、饵料和管理方式等。Sae-Lim等<sup>[12]</sup>对1964—2013年间发表的关于生长和存活性状的基因型和环境互作的论文(涉及到38种水产养殖动物)进行了综述，发现生长性状和存活性状都存在中等重排效应，不同环境间生长性状的平均遗传相关为0.72，不同环境间存活性状的平均遗传相关为0.54。另外，最新的研究发现，在不同海区养殖的壳白长牡蛎(*Crassostrea gigas*)生长和壳色也存在相当大的GEI( $r_g \leq 0.75$ )<sup>[24]</sup>；但是在大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)中，较高水温和较低水温

养殖条件下的生长性状并不存在GEI ( $r_g \geq 0.9$ )<sup>[25]</sup>。

在牙鲆养殖方面, 循环水养殖和流水养殖环境中生长和存活性状就存在较大的GEI和重排效应, 收获体质量和存活性状在两个环境间的遗传相关分别为0.65和0.40<sup>[26]</sup>。因此, 当生长和存活等重要性状存在显著的GEI和重排效应时, 为适应不同的养殖环境, 需要对育种方案做相应的调整。

#### 4 结论

牙鲆“鲆优2号”新品种在山东和河北均表现出速生和高成活率的优良性能。“鲆优2号”家系的生长性状在不同养殖环境间表现出显著的基因型与环境互作效应, 但是存活性状在不同的养殖环境间的基因型与环境互作效应很小, 说明“鲆优2号”的存活性状对环境的依赖性较小, 为继续保持鲆优2号的快速生长和高抗病性能的优势, 需要针对不同的养殖地区优化制种方案。

#### 参考文献:

- [1] 袁春营, 宫春光, 陈福杰, 等. 牙鲆腹水病药物筛选及防治措施探讨[J]. *水利渔业*, 2006, 26(3): 102-103.  
Yuan C Y, Gong C G, Chen F J, *et al.* Studies on the ascites disease of *Paralichthys olivaceus*[J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, 26(3): 102-103(in Chinese).
- [2] 肖颖, 李晓玥, 张亚宁, 等. 牙鲆迟钝爱德华氏菌的分离及其鉴定[J]. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 34(4): 481-486.  
Xiao Y, Li X Y, Zhang Y N, *et al.* Isolation and Identification of *Edwardsiella tarda* from *Paralichthys Olivaceus*[J]. *Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition)*, 2010, 34(4): 481-486(in Chinese).
- [3] Falconer D S. Selection in different environments: Effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance[J]. *Genetics Research*, 1990, 56(1): 57-70.
- [4] Mas-Muñoz J, Blonk R, Schrama J W, *et al.* Genotype by environment interaction for growth of sole (*Solea solea*) reared in an intensive aquaculture system and in a semi-natural environment[J]. *Aquaculture*, 2013, 410-411: 230-235.
- [5] Falconer D S, Mackay T F C. Introduction to quantitative genetics[M]. 4th ed. Harlow, Essex, England: Longman Group, 1996: 464.
- [6] Mulder H A, Bijma P. Effects of genotype×environment interaction on genetic gain in breeding programs[J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(1): 49-61.
- [7] Ponzoni R W, Nguyen N H, Khaw H L, *et al.* Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*[J]. *Aquaculture*, 2008, 285(1-4): 47-55.
- [8] Sae-Lim P, Komen H, Kauser A. Bias and precision of estimates of genotype-by-environment interaction: a simulation study[J]. *Aquaculture*, 2010, 310(1-2): 66-73.
- [9] Sae-Lim P, Komen H, Kauser A, *et al.* Identifying environmental variables explaining genotype-by-environment interaction for body weight of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*): reaction norm and factor analytic models[J]. *Genetics Selection Evolution*, 2014, 46(1): 16.
- [10] Falconer D S. The problem of environment and selection[J]. *The American Naturalist*, 1952, 86(830): 293-298.
- [11] Sae-Lim P, Kauser A, Mulder H A, *et al.* Genotype-by-environment interaction of growth traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a continental scale study[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(12): 5572-5581.
- [12] Sae-Lim P, Gjerde B, Nielsen H M, *et al.* A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2016, 8(4): 369-393.
- [13] 张英平, 陈松林, 孙何军, 等. 牙鲆抗迟缓爱德华氏菌病家系建立与抗病性能评价[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1917-1925.  
Zhang Y P, Chen S L, Sun H J, *et al.* Establishment and analysis of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) families with enhanced disease resistance to *Edwardsiella tarda*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1917-1925(in Chinese).
- [14] 孙何军, 陈松林, 郑卫卫, 等. 抗迟缓爱德华氏菌病牙鲆家系的筛选与分析[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(6): 1115-1122.  
Sun H J, Chen S L, Zheng W W, *et al.* Screening for resistance to *Edwardsiella tarda* in different families of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(6): 1115-1122(in Chinese).

- Chinese).
- [15] 郑卫卫, 陈松林, 李泽宇, 等. 牙鲆抗迟缓爱德华氏菌性状的遗传力和育种值分析[J]. 农业生物技术学报, 2016, 24(8): 1181-1189.
- Zheng W W, Chen S L, Li Z Y, *et al.* Analyzing of heritability and breeding value of disease resistance for *Edwardsiella tarda* in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2016, 24(8): 1181-1189(in Chinese).
- [16] Li Y Z, Zhang B, Lu S, *et al.* Genetic parameters estimates for growth performance traits at harvest in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. *Aquaculture*, 2018, 489: 56-61.
- [17] Liu Y, Lu S, Liu F, *et al.* Genomic selection using BayesC $\pi$  and GBLUP for resistance against *Edwardsiella tarda* in Japanese Flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. *Marine Biotechnology*, 2018, 20(5): 559-565.
- [18] Li Y Z, Zhang B, Yang Y M, *et al.* Estimation of genetic parameters for juvenile growth performance traits in oliveflounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2019, 4(2): 48-52.
- [19] Khaw H L, Ponzoni R W, Hamzah A, *et al.* Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Aquaculture*, 2012, 326-329: 53-60.
- [20] Wilson A J, Réale D, Clements M N, *et al.* An ecologist's guide to the animal model[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2010, 79(1): 13-26.
- [21] Butler D G, Cullis B R, Gilmour A R, *et al.* Analysis of Mixed Models for S-language Environments: ASReml-R Reference Manual[M]. Brisbane, Australia: Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, NSW Department of Primary Industries, 2009.
- [22] 牙鲆“鲆优2号”[J]. 牙鲆“鲆优2号”[J]. 中国水产, 2018(4): 65-72.
- Pingyou No. Pingyou No.2' olive flounder[J]. China Fisheries, 2018(4): 65-72(in Chinese).
- [23] 陈松林, 李仰真. 水产新品种推广指南: 牙鲆“鲆优2号”[M]. 北京: 海洋出版社, 2017: 216-235.
- Chen S L, Li Y Z. Promotion Guidelines for New Varieties in Aquaculture: “Pingyou No. 2” Flounder[M]. Beijing: Ocean Press, 2017: 216-235 (in Chinese).
- [24] 邢德, 李琪, 张景晓. 壳白长牡蛎基因型与环境互作(G $\times$ E)效应分析[J]. 水产学报, 2019, 43(2): 474-482.
- Xing D, Li Q, Zhang J X. Genotype by environment (G $\times$ E) interaction for growth and shell color traits in the white-shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(2): 474-482(in Chinese).
- [25] Guan J T, Hu Y L, Wang M S, *et al.* Estimating genetic parameters and genotype-by-environment interactions in body traits of turbot in two different rearing environments[J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 321-327.
- [26] Li Y Z, Yang Y M, Zheng W W, *et al.* Genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits and survival of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in recirculating aquaculture system and flow-through system[J]. *Aquaculture*, 2019, 510: 56-60.

## Genotype by environment interactions for growth and survival traits of “Pingyou No. 2” flounder (*Paralichthys olivaceus*) in different aquaculture environment

LI Yangzhen<sup>1,2</sup>, YANG Yingming<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, LU Sheng<sup>1</sup>, WU Yaolei<sup>1</sup>, ZHAO Yuzhu<sup>1</sup>,  
MA Teng<sup>1</sup>, CHENG Xiangming<sup>3</sup>, CHENG Jiayu<sup>3</sup>, CHEN Songlin<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs  
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for  
Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;

3. Engineering and Technology Center for Flatfish Aquaculture of Tangshan,  
Tangshan Weizhuo Aquaculture Co., Ltd., Tangshan 063202, China)

**Abstract:** Aiming to improve the growth and survival performance of “Pingyou No. 2” flounder in different aquaculture areas, in this study, broodstocks which were selected based on the results of genetic parameter estimation and genome selection for growth and resistance traits, were used to produce “Pingyou No. 2” families. In total, 28 families were produced. Then these families were cultured in different sites (Site 1: Hebei; Site 2: Shandong). Genotype by environment interactions for growth and survival traits were estimated based on mixed linear models. The average daily gain was 1.5 g/d and 1.2 g/d in Site 1 and Site 2 respectively, and the survival rate was 81.4% and 82.2% in Site 1 and Site 2 respectively. Both traits showed a superior performance in two sites. The genetic correlations for harvest body weight and survival traits between both environments were 0.57 and 0.82 respectively, indicating that there was a significant genetic by environment interaction effect for harvest body weight, but not for survival. These results suggest that “Pingyou No. 2” flounder showed good growth and resistance performance in different sites. The harvest body weight and survival traits still have certain selective potential. Hence, to ensure a good demonstration and extension results, it is necessary to improve and optimize the seed production techniques (e.g., seeds with good environmental adaptability) for achieving the advantage of fast growth and high survival rate of olive flounder in different aquaculture environments.

**Key words:** *Paralichthys olivaceus*; “Pingyou No. 2”; growth; survival; genetic parameter; genotype by environment interaction

**Corresponding author:** CHEN Songlin. E-mail: chensl@ysfri.ac.cn

**Funding projects:** Key Project of Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2016QZ003); Taishan Scholar Project Fund of Shandong of China