

3 个凡纳滨对虾引进群体对温度和盐度耐受力的配合力分析

胡志国, 刘建勇, 袁瑞鹏, 张嘉晨

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 为筛选凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)人工选育亲本的最佳组合方式, 作者采用完全双列杂交交配设计, 对 3 个凡纳滨对虾引进群体建立了 9 个自繁和杂交组合群体, 研究了亲本和子代对温度和盐度的耐受力。研究结果表明: 9 个群体对温度、盐度胁迫的耐受性均存在显著差异($P < 0.05$), 耐高温性状中亲优势(MP)和超亲优势(BP)的变化范围是-17.71%~52.95%和-30.07%~37.96%, 其中 UM 和 UH 群体的杂交中亲优势均值最高, 达到 38.61%; 耐低温性状 MP 和 BP 的变化范围是-22.04%~77.03%和-33.93%~31.17%, 其中 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最高, 为 60.85%; 耐高盐性状 MP 和 BP 的变化范围是-39.41%~76.96%和-42.12%~19.07%, 其中 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最高; 耐低盐性状 MP 和 BP 的变化范围是-44.89%~37.05%和-45.68%~28.21%, 而 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最低, 仅为-9.855%; 杂交后代耐受性的表现受到父本、母本一般配合力以及杂交组合特殊配合力共同影响, 其中 UM 群体耐高低温性状的一般配合力较高, 而 TZ 群体耐高低盐性状的一般配合力较高; 特殊配合力分析表明, UM×UH 为强优势组合, 存在较强的抗逆非加性效应, 杂交优势明显。本研究从数量遗传水平评估选育群体对温盐的耐受性能, 可为进一步家系选育提供候选材料。

关键词: 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*); 温度; 盐度; 杂种优势; 配合力

中图分类号: Q321+6 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)01-0025-07

doi: 10.11759/hyhx20141009003

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)又称南美白对虾, 主要分布于加利福尼亚湾至秘鲁北部的太平洋沿岸水域, 是当今世界上产量最高的养殖对虾品种之一^[1]。温度和盐度是对虾养殖环境中的重要理化因子, 而良好的养殖环境是凡纳滨对虾养殖成功的保障。受诸多外界因素(特别是暴雨、台风、寒潮等恶劣天气)影响导致养殖水环境温度和盐度突变, 继而使养殖对虾应激引发病害的状况频发, 而这类难题至今未得到有效的解决^[2]。对温、盐等理化因子的耐受性属于对虾抗逆指标, 开展凡纳滨对虾抗逆性状的遗传改良是解决上述难题的有效途径。杂交育种是培育凡纳滨对虾优良品系的有效方法之一。Griffing 双列杂交育种法 1(完全双列杂交交配设计), 即一定数量不同基因型亲本轮换与其他亲本交配, 使其包括所有可能的杂交组合的育种法, 已在水产动物遗传改良中被广泛应用^[3-4]。

有关凡纳滨对虾对温度、盐度等抗逆性状的相关研究报道较多。Ponce-Palafox 等^[5]研究了温度、盐度对凡纳滨对虾仔虾生长和存活的影响; Pan 等^[6]报道了急性盐度胁迫对凡纳滨对虾仔虾的生长和存活的影响; 林红军等^[7]比较了不同家系凡纳滨对虾对淡水的耐受性, 得到了耐淡水优良家系的基础

群体。然而对凡纳滨对虾在温盐胁迫耐受力配合力分析方面的研究少见报道^[8], 有必要进一步深入研究凡纳滨对虾温盐胁迫耐受性的遗传性能。本研究利用目前国内凡纳滨对虾养殖生产中使用的 3 个地理群体的引进亲虾, 采用 Griffing 双列杂交育种法 1, 建立了 9 个自繁和杂交组合 F1 群体, 比较其对温度和盐度胁迫的耐受性, 分析杂交组合耐受性的杂种优势, 并利用线性模型均数加权二乘分析法估算凡纳滨对虾各理化因子耐受性状的配合力, 从数量遗传水平评估选育群体对温盐的耐受力, 为进一步家系选育提供候选材料, 为抗逆凡纳滨对虾新品系选育提供数据支持和理论依据。

收稿日期: 2014-10-09; 修回日期: 2014-11-08

基金项目: 广东省海洋渔业科技推广专项科技攻关与研发项目(A201208B05); 广西科学研究与技术开发技术项目(桂科转 12239002-3, 桂科合 14125007-2-9)

[Foundation: Marine Fisheries Technology Program of Guangdong Province of China(No.A201208B05); Science Research and Technology Development Program of Guangxi Province of China(No.12239002-3, No.14125007-2-9)]

作者简介: 胡志国(1990-), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事水产动物数量遗传育种, E-mail: 741164367@qq.com; 刘建勇, 通信作者, E-mail: liujy70@126.com

1 材料和方法

1.1 实验材料

3 个凡纳滨对虾引进群体分别为美国迈阿密 SIS 群体, 美国夏威夷 SIS 群体和泰国正大群体, 命名为 UM、UH 和 TZ 群体。2013 年 4~6 月份, 分批运抵海威水产养殖有限公司东海对虾良种场(广东海洋大学产学研基地)。亲虾暂养稳定后, 雌虾进行单侧眼柄切除, 投喂冰冻鱿鱼(*Loligo chinensis*)、牡蛎(*Ostreae*)和鲜活沙蚕(*Nereis succinea*)经行促熟。选取性腺成熟的亲虾, 通过完全双列杂交设计, 成功建立了 9 个自繁和杂交群体, 具体交配信息如表 1 所示。采用标准化的方式对每个自交和杂交群体进行幼体培育直至仔虾。尽量保持各阶段的培育条件一致, 以减少环境条件(主要包括各个阶段水的盐度、水温、幼体密度、饵料及充气等条件)差异对生长发育的影响。当仔虾体长生长到 3~4 cm 时, 对 9 个群体进行凡纳滨对虾温度和盐度的耐受性比较。

表 1 凡纳滨对虾 3 个引进群体的完全双列杂交
Tab. 1 Complete diallel cross of three populations of *L. vannamei*

引进群体(♀)	引进群体(♂)		
	UM	UH	TZ
UM	UM×UM	UM×UH	UM×TZ
UH	UH×UM	UH×UH	UH×TZ
TZ	TZ×UM	TZ×UH	TZ×TZ

1.2 耐受性实验设计

根据相关文献[9-10]设定温度和盐度梯度, 进行胁迫因子的 48 h 耐受性预实验, 得出 48 h 半致死温度、盐度值, 即正式实验中适宜的高温、低温、高盐和低盐值分别为(38.5 ± 0.5)°C、(11 ± 0.5)°C、43 和 2.5。采用单因素实验设计, 每个群体挑选大小相近的凡纳滨对虾个体 30 尾, 置于 14 cm×12 cm×12 cm 的小网箱中, 每组的 9 个网箱放在同一个 1.4 m×1.2 m×0.4 m 的泡沫箱中。实验设 3 个平行组和 1 个对照组(对照组 48 h 内均全部存活), 共计 7 个泡沫箱。每隔 12 h 观察凡纳滨对虾的活力, 当对虾停止任何运动, 用玻棒触及无反应, 则视为死亡^[11], 及时取出死亡个体。胁迫因子的调控在泡沫箱中完成, 每 12 h 换水 1 次, 清理粪便、蜕皮及死亡个体, 实验持续 48 h, 实验结束时统计存活率。

1.3 理化因子的控制

温度和盐度控制全部通过人工 48 h 不间断调节完成, 主要调控方法如下:

(1) 温度控制系统 通过向水体中加入冰袋维持低温状态, 使用加热棒维持高温状态, 加热棒的型号为 JY-H25A, 功率为 2500 W。温度组每个泡沫箱配备 3 个温度计, 其间根据温度计显示的温度随时调整, 温度上下浮动控制在±0.5°C 以内。

(2) 盐度控制系统 在过滤海水中添加适量的淡水或海水精配制实验所需浓度的海水, 使用 MQK-SA2 手持式盐度计(精度 0.001)测量海水盐度。

1.4 数据处理

利用 Excel 2007 软件对存活率数据进行初步整理, 用 SPSS 19.0 软件对存活率数据进行平方根反正弦转换后作单因素方差分析, 多重比较法分析不同群体间的差异显著性($P < 0.05$)。杂种优势的参照 Cruz 等^[12]的实验方法, 用下面的 2 个公式来计算杂种优势:

$$MP = \frac{F_1 - P_0}{P_0} \times 100, \quad BP = \frac{F_1 - P_B}{P_B} \times 100$$

式中: MP 代表中亲优势; F_1 为杂交组均值; P_0 为相应双亲均值; BP 代表超亲优势; P_B 为杂交组较好的亲本均值。

配合力分析统计模型^[13]为:

$$Y_{ijk} = u + S_i + D_j + SD_{ij} + E_{ijk}$$

其中 Y_{ijk} 是第 i 个父本群体与第 j 个母本群体的第 k 个杂种个体的表型观测值, u 是总体均数, S_i 为第 i 个父本一般配合力效应, D_j 是第 j 个母本一般配合力效应, SD_{ij} 为第 i 个父本与第 j 个母本的交互效应即正交特殊配合力效应, E_{ijk} 为随机误差效应, 假设它独立地服从 $N(0, \sigma_e^2)$ 分布。整个群体的变异可以剖分为一般配合力(GCA)、特殊配合力(SCA)、随机误差等组成部分。模型采用二因素有互作的均数加权最小二乘分析法进行配合力分析。其正规方程为: $(X'X)b = X'Y$

其约束条件为:

$$\sum_i \hat{S} = \sum_j \hat{D} = \sum_i \hat{SD} = \sum_j \hat{SD} = \sum_{ij} \hat{SD} = 0$$

2 结果与分析

2.1 急性胁迫的耐受力比较

9 个 F1 代群体幼虾在不同温度和盐度胁迫 48 h 的存活率如表 2 所示。UK×UK 群体高温胁迫 48 h

的存活率为最高, 为 61.11%±2.22%, 而 UM×TZ 群体仅为 15.55%±4.01%; 9 个群体低温 48h 急性胁迫耐受存活率的范围为 8.00%~75.00%, 其中 TZ×UH 群体存活率最低, UH×TZ 群体存活率最高; 高盐 48 h 急性胁迫耐受存活率的范围分别为 17.78%~ 73.34%; TZ×UM 群体低盐 48 h 急性胁迫耐受存活率最低, 为 16.67%±1.93%, UM×UH 群体和 TZ×UH 群体低盐 48h 急性胁迫耐受存活率最高, 均达到 80.00%; 方差分析结果表明, 各杂交组合对温度和盐度的耐受性差异显著, 均达到显著水平($P<0.05$), 表明可以进一步进行交配组合的杂种优势和配合力分析。

2.2 各理化因子耐受性的杂种优势

存活率数据经平方根反正弦转换后的杂种优势

分析结果如表 3 所示。6 个杂交组合耐高低温、高低盐性状的中亲优势和超优势均存在较大差异。耐高温性状 MP 和 BP 的变化范围是-17.71%~52.95%和-30.07%~37.96%, 其中 UM 和 UH 群体的杂交中亲优势均值最高, 达到 38.61%; 耐低温性状 MP 和 BP 的变化范围是-22.04%~77.03%和-33.93%~31.17%, 其中 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最高, 为 60.85%; 耐高盐性状 MP 和 BP 的变化范围是-39.41%~76.96%和-42.12%~19.07%, 其中 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最高; 耐低盐性状 MP 和 BP 的变化范围是-44.89%~37.05% 和 -45.68%~28.21%, 而 UM 和 TZ 群体的杂交中亲优势均值最低, 仅为-9.855%。

表 2 9 个凡纳滨对虾杂交组合群体在温度和盐度胁迫条件下的存活率

Tab. 2 Survival rate of different populations of *L.vannamei* under temperature and salinity intimidation

杂交组合	48 h 耐受存活率(%)			
	高温	低温	高盐	低盐
UM×UH	52.22±6.76 ^{ab}	30.00±8.33 ^c	37.78±4.01 ^{cd}	80.00±3.33 ^a
UM×UM	30.00±3.33 ^c	41.67±11.67 ^c	21.11±4.01 ^e	48.89±8.68 ^{de}
UM×TZ	15.55±4.01 ^d	63.34±3.34 ^{ab}	73.34±3.33 ^a	66.67±2.09 ^{bc}
UH×UH	36.67±5.77 ^{bc}	15.00±1.67 ^d	46.67±6.67 ^{bc}	57.78±6.19 ^{cd}
UH×TZ	52.22±4.01 ^{ab}	75.00±8.33 ^a	17.78±6.76 ^e	68.89±2.22 ^b
UH×UM	61.11±2.22 ^a	20.00±3.33 ^d	55.55±1.28 ^a	43.33±6.94 ^e
TZ×UM	43.33±3.85 ^{bc}	46.67±3.34 ^{bc}	33.33±1.72 ^{de}	16.67±1.93 ^f
TZ×UH	33.33±8.39 ^c	8.00±1.67 ^d	57.78±7.29 ^{ab}	80.00±5.09 ^a
TZ×TZ	15.56±5.89 ^d	11.00±3.75 ^d	40.00±5.77 ^{cd}	46.67±1.93 ^{de}
均值	37.78±3.36	34.26±5.78	42.59±3.85	56.54±4.39

注: 不同字母表示组间差异达到显著水平($P<0.05$)

表 3 9 个凡纳滨对虾杂交组合群体温度和盐度耐受力的杂种优势

Tab. 3 Heterosis for temperature and salinity tolerance ability of different populations of *L.vannamei*

理化因子	杂交组合									
	UM×UH	UH×UM	均值	UM×TZ	TZ×UM	均值	UH×TZ	TZ×UH	均值	
中亲优势 (%)	高温	31.31	45.91	38.61	-17.71	45.87	14.08	16.55	52.95	34.75
	低温	5.440	-15.66	-5.110	77.03	44.66	60.85	-22.04	14.32	-3.860
	高盐	7.670	36.80	22.24	76.96	5.91	41.44	20.20	-39.41	-9.605
	低盐	35.19	-12.26	11.47	25.18	-44.89	-9.855	37.05	21.21	29.13
超亲优势 (%)	高温	24.15	37.96		-30.07	23.96		-5.400	24.15	
	低温	-17.40	-33.93		31.17	7.180		-27.89	5.76	
	高盐	-11.99	11.82		19.07	-10.12		14.81	-42.12	
	低盐	28.21	-16.79		23.39	-45.68		28.21	13.39	

2.3 配合力分析

表 4 中显示了各理化因子耐受存活率性状的一般配合力方差和特殊配合力方差。分析结果显示: 各性状的一般配合力方差和特殊配合力方差均达到显著或极显著水平, 表明这些耐受性性状遗传除了受加性遗传效应控制外, 一定程度上还受到亲本间互作效应的影响。从表 5 可以看出, 不同群体间以及同一群体在不同

性状间的一般配合力相对效应值均存在明显差异, UM 群体耐高低温性状的一般配合力较高, 分别为 0.0777 和 0.0991; 而 TZ 群体耐高低盐性状的一般配合力较高, 一般配合力相对效应分别为 0.1522 和 0.0851。交配组合间各性状以及同一交配组合不同性状间的特殊配合力相对效应值差异也很明显, 其中 UM 群体和 UH 群体组合的各抗逆性状的特殊配合力效应值较高。

表 4 凡纳滨对虾群体温度和盐度耐受力配合力的方差分析

Tab. 4 Variance analysis for combining ability for temperature and salinity tolerance ability of different populations of *L.vannamei*

性状	来源	一般配合力		特殊配合	残差
		父本♂	母本♀		
高温	均方	0.0311	0.1100	0.1232	0.0126
	F 值	2.46437*	8.7090**	9.7547**	
低温	均方	0.1876	0.2333	0.0954	0.0130
	F 值	14.4425**	17.9650**	7.3428**	
高盐	均方	0.0728	0.0235	0.2436	0.0243
	F 值	2.99247*	0.96797*	10.015**	
低盐	均方	0.0400	0.0250	0.1919	0.0185
	F 值	2.1575	1.3461	10.3470**	

注: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)

表 5 凡纳滨对虾群体温度和盐度耐受力配合力效应分析

Tab. 5 Combining ability effect analysis for temperature and salinity tolerance ability of different populations of *L.vannamei*

	杂交群体	理化因子			
		高温	低温	高盐	低盐
一般配合力	UM 父本	-0.0567	0.1938	0.0159	0.0925
	UH 父本	0.0669	-0.1574	0.1123	0.0433
	TZ 父本	-0.0103	-0.0365	-0.1281	-0.1358
	UM 母本	0.0777	0.0991	-0.0620	-0.2153
	UH 母本	0.1011	-0.0741	-0.0902	0.1302
	TZ 母本	-0.1788	-0.0250	0.1522	0.0851
	UM 群体	0.0210	0.2929	-0.0461	-0.1228
	UH 群体	0.1680	-0.2315	0.0221	0.1734
	TZ 群体	-0.1890	-0.0614	0.0240	-0.0507
母本效应	UM 群体	0.1343	-0.0948	-0.0779	-0.3078
	UH 群体	0.0341	0.0833	-0.2024	0.0869
	TZ 群体	-0.1685	0.0115	0.2803	0.2209
特殊配合力	UM×UH	0.1038	-0.0492	0.0569	0.0344
	UM×TZ	-0.0082	0.1805	0.1262	-0.0784
	UH×TZ	0.0679	-0.0399	-0.0803	0.1286

3 讨论

3.1 理化因子耐受性与选育的结合

盐度和温度耐受性实验是一种应激实验, 广泛

地应用于水产类生产实践当中, 例如虾苗质量的评价和鉴别。林红军等^[7]认为胁迫耐受性强的虾苗在以后的养成过程中具有明显的生长优势和极高的成活率。因此本实验以不同交配组合的幼虾为实验材料,

具有理论可行性和生产实用性。此外,虽然目前关于对虾养殖水环境理化因子的研究在对虾生长、存活以及摄食的影响等方面都很多^[14-18],而养殖水质环境与遗传育种工作相结合进行选育的研究工作处于刚起步阶段。养殖水环境若出现异常的温度、盐度等胁迫因子对养殖凡纳滨对虾的遗传基础、抗逆性以及病原微生物的致病力均有较显著的影响。本研究以盐度、温度耐受性为指标,比较分析不同群体之间的体质差别;并首次将其作为抗逆性状进一步分析杂种优势和配合力效应,比较不同交配组合之间的遗传差别,可为凡纳滨对虾遗传选育工作提供参考。

3.2 耐受性比较与杂种优势分析

杂种优势是指不同种群(品种、品系、亚种及地理种群)的动物杂交所产生的杂种,一般在生活力、生长势速度和生产性能等方面一定程度上优于其亲本纯繁群体的现象^[19]。孙成波等^[20]对多个凡纳滨对虾进口种群进行了形态差异与判别分析,结果表明中国目前进口的不同亲虾种群亲缘关系较远,是相互独立的种群。本研究 3 个进口群体完全双列杂交结果显示,盐度、温度耐受性性状均表现出一定的杂种优势,如 6 个杂交组高温耐受性的杂种优势范围为-17.71%~52.95%,这与 You 等^[21]的结果相似。此外,杂种优势作为一种较复杂的生物学现象,有研究指出,杂种亲本之间遗传差异越大,互补性越强,杂种优势越明显^[22]。本研究也得到相似的结果,不同的杂交组合表现出不同的杂种优势,不同性状的杂种优势也不相同,这为凡纳滨对虾良种的选育提供了可能。

一般配合力是由于基因加性效应所致,而特殊配合力主要是双亲杂交后通过互作表现出的非加性效应,即基因的显性、超显性和上位效应^[23]。因此为了初步预测 3 个凡纳滨对虾群体的选育潜力,我们对其进行了配合力效应值分析。本研究中,UH 群体的耐高温、高低盐性状的一般配合力效应值均为正向效应,范围为 0.0221~0.2157,表明该群体内存在丰富的加性遗传变异。综合分析正反交组合各抗逆性状的特殊配合力效应值表明,群体 UM 和群体 UH 的杂交后代耐高温、高低盐性状的特殊配合力效应值具有较明显的正向优势,杂交后代杂种优势明显,存在较高的抗逆非加性效应。因此在留种群体中可适当增加 UH 群体数量。

本研究通过完全双列杂交和选择建立遗传背景不同的基础繁育群体,选择性状互补的不同群体进

行杂交,获得杂交优势明显的子代苗种。而且可以直接利用这些群体作为抗逆良种选育的中间材料,为进一步选育奠定基础。随着进一步的深入,本研究将结合现代育种技术,构建半同胞、全同胞家系估算多项抗逆性状遗传参数,利用最佳线性无偏估计法(BLUP 法)计算凡纳滨对虾家系和个体抗逆性状的育种值,依据选择强度和遗传力等参数,确定家系或者个体的选择指数。通过育种值估计和指数选择法进行世代间的选择育种。此外还将从分子水平分析不同群体和家系的遗传结构,构建凡纳滨对虾遗传图谱,标记与优良性状紧密相连锁的基因,进行分子标记辅助育种,加快选育速度,培育出具有中国自主知识产权的凡纳滨对虾抗逆新品种。

参考文献:

- [1] 张伟权. 世界重要养殖品种-南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学, 1990, 14(3): 69-73.
Zhang Wei-quan. Biological profile of important world aquaculture species-*Penaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 1990, 14(3): 69-73.
- [2] 黄建华, 李永, 杨其彬, 等. 斑节对虾家系氮氮耐受性的比较[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 37-43.
Huang Jianhua, Li Yong, Yang Qibin, et al. Comparison of tolerance to ammonia-N in *Penaeus monodon* families[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(6): 37-43.
- [3] 桑士田, 闫喜武, 霍忠明, 等. 家系内大、小两种规格菲律宾蛤仔的双列杂交[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 832-837.
Sang Shitian, Yan Xiwu, Huo Zhongming, et al. The diallel cross between large and small sizes within family of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(6): 832-837.
- [4] 张辉, 闫喜武, 张跃环, 等. 菲律宾蛤仔奶牛蛤与海洋橙品系间的双列杂交[J]. 水产科学, 2014, 33(2): 75-80.
Zhang Hui, Yan Xiwu, Zhang Yuehuan, et al. Diallel crosses between cow color strain and ocean-orange color strain of Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Fisheries Science, 2014, 33(2): 75-80.
- [5] Ponce-Palafox J, Martinez-Palacios C A, Ross L G. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931[J]. Aquaculture, 1997, 157(1): 107-115.
- [6] Pan L Q, Zhang L J, Liu H Y. Effects of salinity and pH on ion-transport enzyme activities, survival and growth of *Litopenaeus vannamei* postlarvae[J]. Aquaculture, 2007, 273(4): 711-720.
- [7] 林红军, 张吕平, 沈琪, 等. 10 个凡纳滨对虾全同胞家系淡水耐受性比较[J]. 海洋湖沼通报, 2010, 4:

- 143-148.
- Lin Hongjun, Zhang Lüping, Shen Qi, et al. The comparison of tolerance to fresh water in 10 full-sib families of white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010, 4: 143-148.
- [8] Davis D A, Boyd C E, Rouse D B, et al. Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in West Alabama[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(3): 416-419.
- [9] Magallón Barajas F J, Servín Villegas R, Portillo Clark G, et al. *Litopenaeus vannamei* (Boone) post-larval survival related to age, temperature, pH and ammonium concentration[J]. Aquaculture Research, 2006, 37(5): 492-499.
- [10] Zhang P, Zhang X, Li J, et al. The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)[J]. Aquaculture, 2006, 256(1): 579-587.
- [11] Li E, Chen L, Zeng C, et al. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities[J]. Aquaculture, 2007, 265(1): 385-390.
- [12] Cruz P, Ibarra A M. Larval growth and survival of two catarina scallop(*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 212(1): 95-110.
- [13] 王炳谦, 谷伟, 高会江, 等. 利用配合力和微卫星标记预测虹鳟品系间的杂交优势[J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 206-213.
- Wang Bingqian, Gu Wei, Gao Huijiang, et al. Prediction of hybridization advantage among five strains of rainbow trout by combination ability and SSR markers[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 206-213.
- [14] 李润寅, 陈介康, 姜洪亮, 等. 日本对虾仔虾的温度适宜性实验研究[J]. 水产科学, 2001, 20(3): 17-18.
- Li Runyin, Chen Jiekang, Jiang Hongliang, et al. Experiments on temperature suitable for postlarva of *Penaeus japonicus*[J]. Fisheries Science, 2001, 20(3): 17-18.
- [15] 潘鲁青, 王克行. 温度对中国对虾幼体生长发育与消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 1997, 4(3): 17-22.
- Pan Luqing, Wang Kexing. Effects of temperature on growth development and digestive enzyme activities of the larvae of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(3): 17-22.
- [16] 张硕, 董双林. 饵料和盐度对中国对虾幼虾能量收支的影响[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 227-233.
- Zhang Shuo, Dong Shuanglin. The effects of food and salinity on energy budget of juvenile shrimp of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(3): 227-233.
- [17] 王兴强, 马甦, 董双林. 盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(1): 33-37.
- Wang Xingqiang, Ma Shen, Dong Shuanglin. Effects of salinity and dietary protein levels on survival, growth and energy conversion of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Ocean University of China, 2005, 35(1): 33-37.
- [18] 姜令绪, 潘鲁青, 肖国强. 氨氮对凡纳对虾免疫指标的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 537-541.
- Jiang Lingxu, Pan Luqing, Xiao Guoqiang. Effects of ammonia-N on immune parameters of white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(6): 537-541.
- [19] Deng Y W, Liu X, Zhang G F, et al. Heterosis and combining ability: a diallel cross of three geographically isolated populations of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(6): 1195-1199.
- [20] 孙成波, 陈国良, 童汉荣, 等. 美国 4 个凡纳滨对虾种群形态差异与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 27-32.
- Sun Chengbo, Chen Guoliang, Tong Hanrong, et al. Morphological differences of four imported *Litopenaeus vannamei* groups from the United States[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2009, 40(1): 27-32.
- [21] You W W, Ke C H, Luo X, et al. Growth and survival of three small abalone *Haliotis diversicolor* populations and their reciprocal crosses[J]. Aquaculture Research, 2009, 40(13): 1474-1480.
- [22] Pillai B R, Mahapatra K D, Ponzoni R W, et al. Genetic evaluation of a complete diallel cross involving three populations of freshwater prawn(*Macrobrachium rosenbergii*) from different geographical regions of India[J]. Aquaculture, 2011, 319(3): 347-354.
- [23] 胡志国, 刘建勇, 包秀凤, 等. 九孔鲍双列杂交家系子代的杂种优势与配合力分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(1): 43-49.
- Hu Zhiguo, Liu Jianyong, Bao Xiufeng, et al. Combining ability and heterosis of hybridization between cultured and wild stocks of *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(1): 43-49.

Analysis of combining ability of survival of imported *Litopenaeus vannamei* populations under temperature and salinity stress

HU Zhi-guo, LIU Jian-yong, YUAN Rui-peng, ZHANG Jia-chen

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Received: Oct., 9, 2014

Key words: *Litopenaeus vannamei*; temperature; salinity; heterosis; combining ability

Abstract: To select the optimal combination of parents for artificial breeding, three introduced populations of *Litopenaeus vannamei* were used to establish nine inbred and hybridized populations by complete diallel crosses, and their temperature and salinity tolerance were compared. Significant differences in temperature and salinity tolerance were observed among the nine populations. Mid-parent heterosis and heterobeltiosis for tolerance to high temperature were -17.71% – 52.95% and -30.07% – 37.96% , respectively, in which the UM and UH groups had the highest mid-parent heterosis (38.61%). Mid-parent heterosis and heterobeltiosis for tolerance to low temperature were -22.04% – 77.03% and -33.93% – 31.17% , respectively, in which the UM and TZ groups had the highest mid-parent heterosis (60.85%). Mid-parent heterosis and heterobeltiosis for tolerance to high salinity were -39.41% – 76.96% and -42.12% – 19.07% , respectively, in which the UM and TZ groups had the highest mid-parent heterosis (60.85%). Mid-parent heterosis and heterobeltiosis for tolerance to low salinity were -44.89% – 37.05% and -45.68% – 28.21% , respectively, in which the UM and TZ group had the lowest mid-parent heterosis (-9.855%). The general combining ability of parents and special combining ability of hybrid combinations influenced the tolerance performance of the hybrid offsprings; of these, the UM group had the highest general combining ability for resistance traits of high and low temperature, while the TZ group had the highest general combining ability for resistance traits of high and low salinity. The specific combining ability analysis showed that UM×UH, with a stronger, non-additive effect and hybrid superiority, was a strong hybrid combination and could be used as a candidate material for further family selection.

(本文编辑: 谭雪静)