

中国刺参(*Apostichopus japonicus*)与韩国刺参杂交子一代生长和抗病力比较*

谭杰¹ 王亮^{2,3} 高菲¹ 邹安格³ 孙慧玲¹
李凤辉^{1,4} 范超晶^{1,4} 左之良^{1,4} 燕敬平^{1①}

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
2. 烟台市水产研究所 烟台 264003; 3. 山东安源水产股份有限公司 蓬莱 265600;
4. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 采用完全双列杂交法对刺参中国群体(C)和韩国群体(K)进行群体间杂交和群体内自繁, 获得 C(♀)×C(♂)、K(♀)×K(♂)、K(♀)×C(♂)和 C(♀)×K(♂) 4 个交配组合的子一代。分析了各交配组受精率、孵化率、附着变态率、浮游幼体和幼参阶段的生长和抗病能力以及杂交子代的杂种优势。结果显示, 杂交组与自繁组在受精率和孵化率等方面不存在显著性差异, 杂交组附着变态率高于自繁组。C(♀)×K(♂)组在幼参期体长平均值均大于其他 3 个组, 并表现出显著性差异, 其体长杂种优势率在 9.43%–23.75% 之间; 其体重从 150 日龄后表现出杂种优势, 在 4.09%–34.96% 之间。而 K(♀)×C(♂)组在幼参期体长和体重除在 150 日龄时表现为杂种优势, 其他时间均表现为杂种劣势。K(♀)×C(♂)组抗灿烂弧菌病能力最强, 杂种优势率为 26.21%。

关键词 刺参; 杂交; 生长; 抗病力; 杂种优势

中图分类号 Q32; S965 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2015)04-0109-07

杂种优势(Heterosis)是指遗传基础不同的亲本杂交后所产生的 F₁ 代在生长、繁殖及抗逆等性状优于双亲的现象(李思发等, 2006)。通过人工杂交来获得优良品种是生物遗传育种的有效途径之一。水生生物种间杂交成功的例子较少, 而通过种内群体间杂交提高后代生长速度、存活率及饵料系数等经济性状的品种已有很多, 包括鱼类(Bryden *et al.*, 2004; Tymchuk *et al.*, 2005)、海胆(Rahman *et al.*, 2000、2001)、扇贝(Cruz *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2003)、贻贝(Miguel *et al.*, 2000)和虾类(Benzie *et al.*, 1995; Bierne *et al.*, 2000)等。

刺参(*Apostichopus japonicus*)在我国的自然分布主要包括山东、辽宁、河北等沿海水域, 在国外则主要分布于朝鲜半岛、日本以及俄罗斯远东沿海(廖玉麟

等, 1997)。随着对海参需求的不断增长, 我国刺参养殖迅猛发展, 2012 年全国刺参苗种生产能力超过 500 亿头, 养殖面积超过 18 万 hm², 产量超过 17 万 t (农业部渔业局, 2013)。刺参是目前我国单一经济总量最大的水产养殖对象之一。现阶段, 国内的刺参育苗厂家在进行苗种生产时大多使用养殖刺参作为亲参, 存在着近亲交配等问题, 后代出现生长速度缓慢、疾病频发和存活率降低等现象。因此, 有必要利用不同的亲参群体, 针对刺参的某些重要经济性状进行遗传改良, 确保刺参养殖产业的可持续发展。

以刺参中国群体和韩国群体为亲本, 通过杂交进行遗传改良已有报道(常忠岳等, 2005; 孙灵毅等, 2013), 但都没有对杂交子代的生长、抗病能力以及

* 国家高技术研究发展计划(2012AA10A412)、山东省科技发展计划项目(2012GGA06021)和农业部北方海水增养殖重点实验室基金(2014-MSENC-KF-03)共同资助。谭杰, E-mail: tanjie@ysfri.ac.cn

① 通讯作者: 燕敬平, 副研究员, E-mail: yanjp@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-05-21, 收修改稿日期: 2014-07-21

杂种优势率进行详细分析。本研究以刺参中国群体及引进的韩国群体作为育种材料,采用完全双列杂交法进行种内群体间杂交以及群体内自繁,在各发育阶段对受精率、孵化率、附着变态率以及生长指标进行统计,并进行灿烂弧菌感染实验获得了子一代的抗病力数据,对杂交和自繁组合进行比较分析,分析杂交组合的杂种优势率,以期对刺参的遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设计

亲参于2013年5月在山东省蓬莱市安源水产股份有限公司进行养殖,两个群体分别为中国群体(简称C)和韩国群体(简称K)。韩国刺参引自韩国江原道,运回后暂养于14~16℃的海水中;中国本地刺参取自山东安源水产股份有限公司,为人工选育的快速生长的F₂代刺参,在12~14℃海水中暂养;控制水温,使亲参性腺逐步成熟。

按照2×2完全双列杂交方案建立4个交配组合。其中,杂交组为K(♀)×C(♂)(正交)和C(♀)×K(♂)(反交),自交组为C(♀)×C(♂)和K(♀)×K(♂)。

1.2 苗种培育

1.2.1 人工采卵、授精与孵化 选择体重大于250 g的个体作亲参,阴干1 h后流水刺激15 min进行人工采卵。当发现雌参在池内产卵时,及时将雌参取出,用干净的砂滤海水冲洗干净后移到产卵箱内继续产卵,在产卵的同时添加由多头雄参排放的混合精液。控制添加精液的量,达到在每个卵周围一个视野面可见3~5个精子即可。亲参排放结束后,受精卵转至20 m³的培育池中孵化,孵化密度为3个/ml,水温控制在21℃。

1.2.2 浮游幼体培育 受精卵发育到小耳幼体后,进行分池,幼体的培育密度为0.15个/ml。幼体培育时期投喂由角毛藻、小新月菱形藻和海洋红酵母组成的混合饵料,日投喂4次,小耳幼体日投喂量为25000~30000 cell/ml;中耳幼体日投喂量为35000 cell/ml;大耳幼体日投喂量为35000~40000 cell/ml。每天换水1次,换水量为1/2,幼体培育期间保持充气,当樽形幼体出现时投放附着基。

1.2.3 稚幼参培育 稚幼参培育期间投喂马尾藻粉、海带粉等人工配合饲料,搭配海泥,配合饲料与海泥投喂重量比例为1:4。每天投喂两次,投喂量占池中稚幼参重量的5%~8%,根据稚参摄食情况及时调整。每天换水两次,每次换水1/2。稚参附着45 d

后换1次附着基,以后根据池底和附着基上的粪便和残饵量进行倒池和换附着基。

1.3 性状测定与分析

1.3.1 受精率、孵化率和附着变态率 在卵子受精至孵化为耳状幼体过程中,随机抽样观察200个个体,统计受精率、孵化率,其计算公式为:

$$\text{受精率}(\%) = \frac{\text{卵裂数}}{\text{总卵数}} \times 100\%$$

$$\text{孵化率}(\%) = \frac{\text{耳状幼体个数}}{\text{受精卵数}} \times 100\%$$

当出现樽形幼体时,进行附着变态实验。实验容器为体积3L的塑料桶,试验前经消毒处理。试验采用透明塑料薄膜作为附着基。使用前,塑料薄膜先浸泡于海水中,经 20×10^{-6} 高锰酸钾消毒30 min,清水冲洗晾干后使用,塑料薄膜置于桶底。每种交配组合设置3个平行对照。幼体培育密度为0.15个/ml,充气培育。实验过程中,每天换水1次,每次换水1/2。实验开始的前3 d,投喂角毛藻和小硅藻组成的混合饵料,日投喂量为20000 cell/ml。3 d后,开始投喂由海带粉和马尾藻粉混合制成的配合饲料。10 d后,观察统计幼体附着变态的情况,计算幼体附着变态率。

1.3.2 生长性状测定 分别在授精后第5、7、9天每组随机抽样60个耳状幼体在显微镜下用目微尺测定其体长;幼参期分别在90、120、150、180、210日龄时每组随机取30个个体,测量其体长、体重。体长测量方法是把幼参放在加有适量海水的培养皿中静置,测量幼参的最大伸展长;体重的测量是把幼参从培养皿中取出后,置于干纱布上10 s后再进行称量。实验过程中体长和体重的测量由一固定实验人员完成。

1.3.3 攻毒试验 采用中国水产科学研究院黄海水产研究所提供的灿烂弧菌(*Vibrio splendidus*)进行攻毒试验。细菌用胰蛋白胨大豆肉汤培养基(TSB)添加1.5% NaCl,28℃下培养24 h,然后用无菌生理盐水冲洗菌落,并调整浓度至 10^7 CFU/ml。每种组合内5个重复,对每个重复内20头刺参进行攻毒试验。每头刺参通过体壁注射 1×10^7 CFU/ml的灿烂弧菌活菌溶液0.1 ml。攻毒期间,照常投喂基础饲料,每日定时记录刺参的死亡头数,14 d后结束攻毒试验,计算刺参的存活率。

1.3.4 杂种优势率 计算杂交子代各性状的杂种优势率(H),其公式为:

$$H(\%) = \frac{(F_1 - P) \times 100}{P} \text{ (Falconer et al, 1996)}.$$

式中, F_1 为杂交子代性状的平均值, P 为两自交组子代性状的平均值。

1.3.5 统计分析 结果用平均值±标准差(Mean±SE)表示, 并采用 SPSS11.5 统计分析软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)及 Tukey's 多重比较分析, 水平为显著性差异($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 受精率、孵化率和附着变态率

各交配组合的受精率、孵化率和附着变态率见表 1。从表 1 可以看出, 自交组 C(♀)×C(♂)和 K(♀)×K(♂)的受精率分别为(94.12±3.33)%和(92.38±2.72)%, 杂交组 K(♀)×C(♂)和 C(♀)×K(♂)的受精率分别为(93.63±

3.59)%和(95.50±2.65)%; 自交组 C(♀)×C(♂)和 K(♀)×K(♂)的孵化率分别为(87.38±2.43)%和(84.75±2.22)%, 杂交组 K(♀)×C(♂)和 C(♀)×K(♂)的孵化率分别为(85.13±2.14)%和(86.25±2.99)%; 自交组 C(♀)×C(♂)和 K(♀)×K(♂)的附着变态率分别为(38.52±9.66)%和(35.20±9.10)%, 杂交组 K(♀)×C(♂)和 C(♀)×K(♂)的附着变态率分别为(41.48±8.87)%和(46.60±11.65)%。经方差分析, 杂交组 and 自交组的受精率及孵化率没有显著性差异($P > 0.05$)。反交组 C(♀)×K(♂)附着变态率为(46.60±11.65)%, 显著高于其他 3 组, 韩国自交组附着变态率最低, 为(35.2±9.10)%, 显著低于其他 3 个组。

表 1 刺参中国群体与韩国群体杂交与自繁组受精率、孵化率和附着变态率比较

Tab.1 Fertilization rate, hatch rate and settlement for cross groups and self-fertilized groups within and between Chinese stock and Korean stock of *A. japonicus*

项目 Items	中国自交组 Chinese self-fertilization group C(♀)×C(♂)	韩国自交组 Korean self-fertilization group K(♀)×K(♂)	正交组 Hybridization group K(♀)×C(♂)	反交组 Hybridization group (%) C(♀)×K(♂)
受精率 Fertilization rate(%)	94.12±3.33 ^a	92.38±2.72 ^a	93.63±3.59 ^a	95.50±2.65 ^a
孵化率 Hatch rate(%)	87.38±2.43 ^a	84.75±2.22 ^a	85.13±2.14 ^a	86.25±2.99 ^a
附着变态率 Settlement(%)	38.52±9.66 ^{bc}	35.20±9.10 ^c	41.48±8.87 ^b	46.60±11.65 ^a

注: 同一行数值右上角不同字母表示具有显著差异, $P < 0.05$

Note: Data within the same row with different superscript are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 浮游幼体的生长

C(♀)×C(♂)、K(♀)×K(♂)、K(♀)×C(♂)、C(♀)×K(♂)组 5 日龄体长分别为(575.0±65.9) μm、(548.8±96.6) μm、(544.4±88.3) μm、(560.2±104.6) μm, 方差分析表明, 4 个组之间没有显著性差异($P > 0.05$) (表 2)。幼体发育至 7 日龄时, 反交组 C(♀)×K(♂)的平均体长为(682.40±87.2) μm, 显著高于正交组 K(♀)×C(♂)(634.97±80.9) μm 和中国自交组 C(♀)×C(♂)(651.53±61.3) μm, 三者显著高于韩国自交组 K(♀)×K(♂)(595.63±100.1) μm。9 日龄时, 反交组 C(♀)×K(♂)平均体长最高, 为(857.87±

98.7) μm, 显著高于中国自交组 C(♀)×C(♂)(759.57±108.3) μm 和韩国自交组 K(♀)×K(♂)(706.77±96.8) μm, 正交组 K(♀)×C(♂)(802.03±116.9) μm 和反交组 C(♀)×K(♂)之间差异不显著。

2.3 幼参的生长

各交配组合幼参在 90、120、150、180、210 日龄的体长和体重的生长变化如图 1 和图 2。从图 1 可以看出, 反交组 C(♀)×K(♂)的体长始终高于其他 3 个组。90 日龄时, 两自交组和正交组的体长没有显著差异, 120、180、210 日龄时, 中国自交组体长显著高于韩国自交组和正交组。210 日龄时, C(♀)×C(♂)、K(♀)×K(♂)、K(♀)×C(♂)、C(♀)×K(♂)组体长分别为(65.4±12.3) mm、(58.7±11.7) mm、(55.7±13.9) mm、(70.2±13.2) mm。从图 2 可以看出, 90、120 日龄时, 中国自交组体重显著高于其他 3 个组。150 日龄时, 韩国自交组体重显著低于其他 3 个组。210 日龄时, 反交组体重为(4.13±1.5) g, 显著高于其他 3 个组, 正交组体重最低, 为(2.51±0.98) g, 显著低于其他 3 个组。

表 2 各实验组浮游幼体的生长

Tab.2 Larval growths in various experimental groups at day 5, 7 and 9 after fertilization

组合 Group	幼体体长 Body length of the larvae(μm)		
	5 d	7 d	9 d
C(♀)×C(♂)	575.0±65.9 ^a	651.53±61.30 ^b	759.57±108.3 ^b
K(♀)×K(♂)	548.8±96.6 ^a	595.63±100.10 ^c	706.77±96.80 ^c
K(♀)×C(♂)	544.4±88.3 ^a	634.97±80.90 ^b	802.03±116.90 ^{ab}
C(♀)×K(♂)	560.2±104.6 ^a	682.40±87.20 ^a	857.87±98.70 ^a

注: 同一列数值右上角不同字母表示具有显著差异, $P < 0.05$

Note: Data within the same column with different superscript are significantly different ($P < 0.05$)

2.4 幼参抗灿烂弧菌感染能力

灿烂弧菌攻毒 14 d 后, 正交组与韩国自交组成

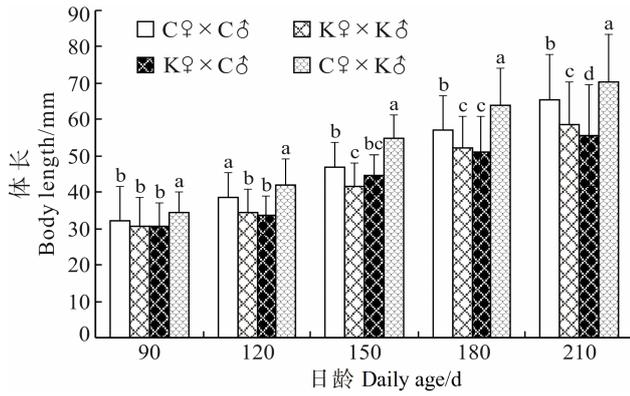


图 1 各交配组合幼参体长生长速度比较
Fig.1 Body length of juveniles in cross groups and self-fertilized groups

不同字母表示组间有显著差异($P < 0.05$)

Different letters indicate significant difference in mean body length among four groups ($P < 0.05$)

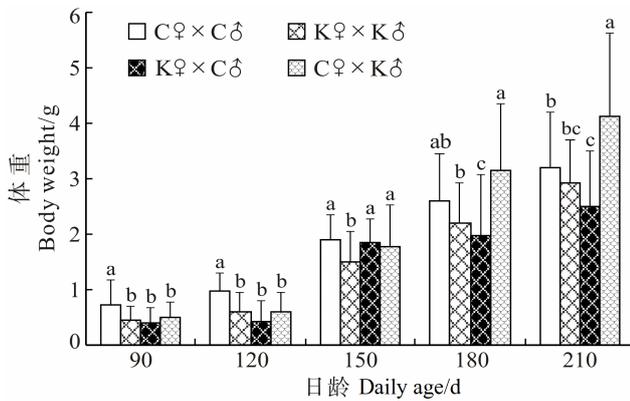


图 2 各交配组合幼参体重生长速度比较
Fig.2 Body weight of juveniles in cross groups and self-fertilized groups

不同字母表示组间有显著差异($P < 0.05$)

Different letters indicate significant difference in mean body length among four groups ($P < 0.05$)

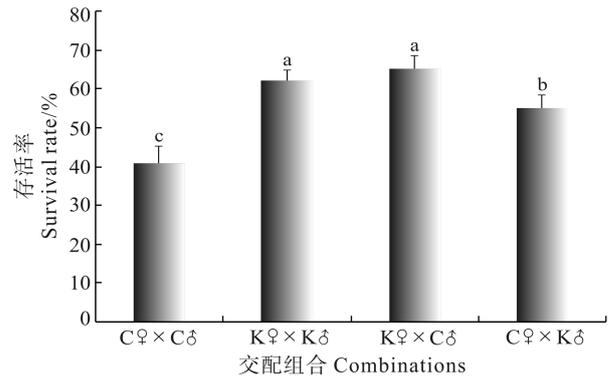


图 3 灿烂弧菌攻毒后刺参的存活率
Fig.3 Survival rate of *A. japonicus* after being challenged by *V. splendidus*

不同字母表示组间有显著差异($P < 0.05$)

Different letters indicate significant difference in mean body length among four groups ($P < 0.05$)

活率分别为(65.0 ± 3.54)%和(62.0 ± 2.74)%, 显著高于反交组(55.0 ± 3.54)%和中国自交组(41.0 ± 4.19)%, 中国自交组的成活率最低(图 3)。

2.5 杂种优势

正交和反交两个杂交组的杂种优势率比较见表 3。反交组 C(♀)×K(♂)在体长和体重指标上表现出明显的杂种优势, 其 7 日龄和 9 日龄体长的杂种优势率为 9.43%和 17.00%, 幼参阶段体长的杂种优势率为 13.04%–23.75%, 210 日龄时, 体重的杂种优势率最高, 为 34.96%。正交组 K(♀)×C(♂)在抗病力上表现出更明显的杂种优势, 经 14 d 攻毒试验后, 幼参存活率的杂种优势率为 26.21%。正交组 K(♀)×C(♂)在 90、120、180、210 d 在体长和体重性状上呈现杂种劣势。反交组 C(♀)×K(♂)在 90、120d 在体重性状上呈现杂种劣势。

表 3 杂交组的杂种优势率
Tab.3 Heterosis for two hybrid groups

实验组 Group	性状 Traits	杂种优势率 Heterosis(%)							
		5 d	7 d	9 d	90 d	120 d	150 d	180 d	210 d
K(♀)×C(♂)	体长 Body length	0.44	1.82	9.39	-1.99	-7.48	1.13	-6.73	-10.29
	体重 Body weight				-29.91	-45.91	8.77	-17.32	-17.97
	存活率 Survival								26.21
C(♀)×K(♂)	体长 Body length	-0.30	9.43	17.00	9.98	14.63	23.75	16.70	13.04
	体重 Body weight				-14.53	-9.43	4.09	17.32	34.96
	存活率 Survival								6.80

注: C 为中国刺参; K 为韩国刺参

Note: C, Chinese *A. japonicus*; K, Korean *A. japonicus*

3 讨论

杂种优势在水产育种中具有非常大的利用价值。利用杂交进行遗传改良已经在多种水产动物如三疣梭子蟹(*Portunus tritubercatus*)、中国对虾(*Penaeus chinensis*)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)等中得到应用,并产生了巨大的经济效益(张跃环等, 2009; 徐田军等, 2009; 孔杰等, 2012; 隋延鸣等, 2012)。在刺参中, 目前已开展了一些群体间的杂交研究, 如“水院1号”(Chang *et al.*, 2011)。张黎黎等(2013)利用来自俄罗斯和中国的亲参进行群体内自繁及群体间杂交, 对4个交配组合后代的存活率和特定生长率等指标进行了杂交优势的分析, 不同的性状体现了不同程度的杂种优势, 杂交刺参 F_1 幼参的存活率及生长有一定的优越性。胡美艳等(2009)以日本红刺参和中国刺参为材料, 进行了杂交和自交实验, 比较了各交配组合后代的生长发育以及杂交子代的杂种优势, 结果显示, 中国刺参(δ) \times 日本红刺参(η)组的幼体和稚参的生长性状均大于其他3个组, 表现出明显的杂种优势。本研究中, 中韩刺参正反杂交子代分别在生长和抗病能力上表现出杂种优势, 就生长性状而言, 无论是在幼体阶段还是在幼参阶段, 反交组都比自交组生长快, 杂种优势非常明显。

本研究从受精率和孵化率上来看, 自交组和正反杂交组的受精率和孵化率都较高, 受精率在90%以上, 孵化率在80%以上, 并且组间差异不显著, 说明刺参不同地理群体间进行杂交不存在种间杂交常出现的授精时配子不亲和和胚胎发育障碍等问题。而两杂交组的附着变态率明显高于两自交组, 这与九孔鲍(*Haliotis diversicolor aquatilis*)和杂色鲍(*Haliotis diversicolor diversicolor*)的研究结果相同。游伟伟等(2005)研究表明, 杂交显著提高了杂色鲍幼体的附着率和变态率。蒋湘等(2013)研究表明, 杂交显著提高了九孔鲍幼体附着率与变态率。反交组 $C(\eta)\times K(\delta)$ 随着生长发育阶段的推进, 在体重上的杂种优势越来越明显。相同现象也见于其他水产动物报道。刘小林等(2003)研究表明, 栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)俄罗斯种群与中国种群的杂交子一代在160日龄表现出比60、90日龄更显著的杂种优势。季士治等(2006)的研究表明, 大菱鲆杂交 F_1 代70日龄体长和体重的杂种优势率高于30日龄的杂种优势率。

本研究中, 刺参正反交配组合的杂种优势具有明显的正负不对称性, 这种不对称现象在杂交育种中是

广泛存在的(高鑫等, 2013)。一些研究表明, 杂交子一代在某些性状上表现为杂种优势, 在另一些性状上表现为杂种劣势(Gjerde *et al.*, 1984; Ferguson *et al.*, 1985; Bryden *et al.*, 2004)。从生长结果来看, 反交组 $C(\eta)\times K(\delta)$ 和中国自交组 $C(\eta)\times C(\delta)$ 明显地优于正交组 $K(\eta)\times C(\delta)$ 和韩国自交组 $K(\eta)\times K(\delta)$, 这说明以中国种群为母本产生了良好的杂交效果, 这可能与母本效应有关。作为母本的中国群体为人工选育的快速生长的 F_2 代刺参, 本身就在生长性状上具有优势。常亚青等(2006)分别以栉孔扇贝中国养殖种群和栉孔扇贝中国野生种群为母本与俄罗斯种群杂交, 结果显示, 以养殖种群为母本的杂交子一代的生长性能高于以野生种群为亲本的杂交子一代。本研究选择的韩国刺参都是未经选育的自然群体, 其基因型是非常混杂和不纯的, 某些等位基因间的互作产生负的显性效应, 可能是用这些亲本进行杂交所得的 F_1 代在体长和体重性状上出现杂种劣势的主要原因。反交组 $C(\eta)\times K(\delta)$ 在90、120 d 在体重性状上出现负的杂种优势, 可能是因为个体太小, 测定误差较大造成的。在抗病能力上, 韩国自交组 $K(\eta)\times K(\delta)$ 和正交组 $K(\eta)\times C(\delta)$ 优于中国自交组 $C(\eta)\times C(\delta)$ 和反交组 $C(\eta)\times K(\delta)$, 这可能是由于中国群体在选育过程中发生近交衰退。

本研究分析了刺参中国群体和韩国群体杂交及自繁子一代的生长、发育和抗病力数据。从研究结果来看, 正反交子代分别在生长和抗病能力性状上得到改良。不过, 杂交育种有一定的局限性, 杂种优势通常只能利用一代, 子二代可能出现基因型的分离, 进而失去在生产性能上的优势。若要使杂交后代的性状稳定, 还需对杂交后代进行定向选育, 筛选出优良的品系并进行大量繁殖, 培育出优良性状能稳定遗传的刺参新品系。而经过人工选择形成的新品系, 其基因型纯合程度进一步提高, 可以作为基础群体, 并以此为基础进行系统的家系选育, 最终才能培育出符合育种期望的稳定的新品种。

参 考 文 献

- 孔杰, 罗坤, 栾生, 等. 中国对虾新品种“黄海2号”的培育. 水产学报, 2012, 36(12): 1854-1862
- 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝不同种群杂交效果的初步研究 I. 中国种群与俄罗斯种群的杂交. 海洋学报, 2003, 25(1): 93-99
- 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2013
- 孙灵毅, 赵强, 任利华, 等. 中国刺参与韩国红刺参杂交及子

- 代发育特性的研究. 大连海洋大学学报, 2013, 28(3): 281-286
- 李思发, 王成辉, 刘志国, 等. 3 种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析. 水产学报, 2006, 30(2): 176-180
- 张跃环, 闫喜武, 王艳, 等. 不同壳型菲律宾蛤仔杂交家系的建立及早期生长发育比较. 渔业科学进展, 2009, 30(2): 71-77
- 张黎黎, 曹学彬, 李君华, 等. 俄罗斯仿刺参与中国仿刺参杂交 F₁ 幼参的早期生长比较. 水产科学, 2013, 32, (2): 68-72
- 季士治, 雷霖霖, 王伟继, 等. 双列杂交法分析 2 个大菱鲆养殖群体的杂交效果. 中国水产科学, 2006, 13(6): 1001-1005
- 徐田军, 王磊, 陈松林, 等. 双列杂交分析比较两个养殖群体杂交牙鲆抗病力. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 34-39
- 高鑫, 闫喜武, 张辉, 等. 蛤仔南北方养殖群体杂交子代早期生长发育的研究. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 39-43
- 常亚青, 刘小林, 相建海, 等. 栉孔扇贝不同种群杂交效果 III. 中国种群与俄罗斯种群及其杂种 1-2 龄的生长发育. 海洋学报, 2006, 28(2): 114-120
- 常忠岳, 肖培华. 刺参中国与韩国种群杂交育苗技术研究课题顺利通过鉴定. 河北渔业, 2005(6): 55
- 隋延鸣, 高保全, 刘萍, 等. 三疣梭子蟹“黄选 1 号”盐度耐受性分析. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 63-71
- 游伟伟, 柯才焕, 蔡明夷, 等. 杂色鲍日本群体与台湾群体杂交的初步研究. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(5): 701-705
- 蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍养殖群体与野生群体杂交一代生长比较. 广东海洋大学学报, 2013, 33(1): 22-27
- 廖玉麟. 中国动物志, 棘皮动物门, 海参纲. 北京: 科学出版社, 1997
- Benzie JAH, Kenway M, Ballment E, *et al.* Interspecific hybridization of the tiger prawns *Penaeus monodon* and *Penaeus esculentus*. Aquaculture, 1995, 133(2): 103-111
- Bierne N, Beuzart I, Vonan V, *et al.* Microsatellite-associated heterosis in hatchery-propagated stocks of the shrimp *Penaeus stylirostris*. Aquaculture, 2000, 184(3-4): 203-219
- Bryden CA, Heath JW, Heath DD. Performance and heterosis infarmed and wild Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) hybrid and their parents crosses. Aquaculture, 2004, 235(1-4): 249-261
- Chang YQ, Shi SB, Zhao C, *et al.* Characteristics of papillae in wild, cultivated and hybrid sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*). Afr J Biotechnol, 2011, 10(63): 13780-13788
- Cruz P, Ibarra AM. Larval growth and survival of two Catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses. J Exp Marine Biol Ecol, 1997, 212(1): 95-110
- Falconer DS, Mackay TF. Introduction to Quantitative Genetics, 4th edition. Longman Group, Essex, England, 1996
- Ferguson MM, Danzmann RG, Allendorf FW. Developmental divergence among hatchery strains of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): II. Hybrids. Can J Genet Cytol, 1985, 27(3): 298-307
- Gjerde B, Refstie T. Complete diallel cross between five strains of Atlantic salmon. Livest Prod Sci, 1984, 11(2): 207-226
- Liu XL, Chang YQ, Xiang JH, *et al.* Studies on hybridization effects of different geographic population of *Chlamys farreri*. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 22(2): 255-263
- Miguel A, Rio-Portilla D, Andy RB. Larval growth, juvenile size and heterozygosity in laboratory reared mussels, *Mytilus edulis*. J Exp Marine Biol Ecol, 2000, 254(1): 1-17
- Rahman MA, Uehara T, Aslan LM. Comparative viability and growth of hybrids between two sympatric species of sea urchins(*Genus echinometra*) in Okinawa. Aquaculture, 2000, 183(1-2): 45-56
- Rahman MA, Uehara T, Pearse JS. Hybrids of two closely related tropical sea urchins (*Genus echinometra*): Evidence against postzygotic isolating mechanisms. Biol Bull, 2001, 200(1): 97-106
- Tymchuk WE, Devlin RH. Growth differences among first and second generation hybrids of domesticated and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 2005, 245(1-4): 295-300

(编辑 陈严)

Comparative Study on Growth and Disease Resistance of Hybrids between Chinese and Korean Stocks of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

TAN Jie¹, WANG Liang^{2,3}, GAO Fei¹, ZOU Ange³, SUN Huiling¹, LI Fenghui^{1,4},
FAN Chaojing^{1,4}, ZUO Zhiliang^{1,4}, YAN Jingping¹①

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

2. Yantai Fishery Research Institute, Yantai 264003; 3. Shandong Anyuan Aquaculture Co., Ltd, Penglai 265617;

4. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The sea cucumber *Apostichopus japonicus* is a major aquaculture species in China. The fast development of sea cucumber culture in China has generated some problems such as genetic degradation, frequent diseases outbreak and natural resource depletion, which have impacted the sustainable development of agro industry of sea cucumber. Heterosis resulting from crosses between different populations is an important component of breed improvement in marine animals. The objective of this study is to determine if heterosis exists between China and Korea populations of *A. japonicus*. The first generation of four combinations, C(♀)×C(♂), K(♀)×K(♂), K(♀)×C(♂), and C(♀)×K(♂), were obtained from mating and crossing within and between Chinese population (C) and Korean population (K) of *A. japonicus*. The fertilization rate, hatch rate, settlement rate, growth, disease resistance and heterosis at larval and juvenile stages were compared among four combinations in this study. The results indicated that fertilization and hatch rates were not significantly different between the hybridization groups and self-fertilized groups. The settlement rates of hybridization groups were significantly higher than those of self-fertilized groups ($P < 0.05$). The body length of C(♀)×K(♂) group at juvenile stages was longer than other three groups, showing marked heterosis 9.43%–23.75%. Compared with other three groups, heterosis on body weight of C(♀)×K(♂) group ranged from 4.09% to 34.96% since 150 days after fertilization. In contrast, the K(♀)×C(♂) group did not show positive heterosis except at Day 150. The K(♀)×C(♂) group showed the best resistance against *V. splendidus*, and the heterosis reached 26.21%. These results indicated that the crosses between different populations might be effective for genetic improvement in *A. japonicus*.

Key words *Apostichopus japonicus*; Hybrid; Growth; Disease resistance; Heterosis

① Corresponding author: YAN Jingping, E-mail: yanjp@ysfri.ac.cn