

# 刺参(*Apostichopus japonicus*) 4 个群体 棘数的重复力估计\*

赵 帅<sup>1</sup> 黄 旭<sup>1</sup> 王海峰<sup>1</sup> 张伟杰<sup>1</sup> 刘永旗<sup>2</sup> 宋 坚<sup>1</sup>  
王增东<sup>2</sup> 经晨晨<sup>1</sup> 常亚青<sup>1①</sup>

(1. 大连海洋大学 农业部北方海水增养殖重点实验室 大连 116023;

2. 山东安源水产股份有限公司 烟台 264000)

**摘要** 为了研究刺参(*Apostichopus japonicus*)棘数的重复力、棘数所需度量次数和棘数最大可能生产力(MPPA),本研究针对韩国自繁群体(KK)、多刺自繁群体(DD)、山东自繁群体(SS)和三元杂交群体(DK) 4 个刺参群体,采用数量遗传学方法估计了 12–17 月龄刺参棘数的重复力,计算并比较了 4 个群体棘数所需的度量次数、MPPA 及其与刺参体重的相关系数。结果显示,在 12–17 月龄时,4 个群体刺参棘数的重复力从高到低依次为 DD(0.29)>DK(0.28)>SS(0.20)>KK(0.19),且均为低度重复力;对 DD 和 DK 群体棘数测量 5 次,测量相对准确率可达 80%以上,而 SS 和 KK 群体则需要测量 8 次才能达到 80%以上准确率;4 个群体刺参棘数的 MPPA 从高到低依次为 DD(41.3)>DK(40.8)>KK(39.8)>SS(39.1),但仅 DD 和 SS 群体间存在显著差异( $P<0.05$ );各群体内刺参棘数 MPPA 与体重均呈现显著的表型正相关( $P<0.05$ )。以棘数作为育种目标性状,其重复力和 MPPA 可作为选择群体的依据。研究表明,DD 和 DK 群体的棘数多于另外 2 个群体,并且具有更高的选育潜力,更利于性状测定。因此,可作为重点群体进行进一步选育。

**关键词** 刺参;棘数;重复力;选择育种

**中图分类号** S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)05-0115-07

刺参(*Apostichopus japonicus*), 又称仿刺参, 属棘皮动物门(Echinodermata)、海参纲(Holothuroidea)、楯手目(Aspidochirota)、刺参科(Stichopodidae), 主要分布在北太平洋沿海, 包括俄罗斯、日本、朝鲜半岛沿岸, 以及我国的辽宁、河北、山东等北方沿海(常亚青等, 2004)。刺参具有很高的营养和药用价值, 自古以来就被列为我国名贵的海珍品和滋补佳品。我国在 20 世纪 80 年代突破了刺参的人工育苗技术(廖玉麟, 1986), 随后育苗、养殖技术不断提高。在养殖技术的支撑和市场价格的刺激下, 我国刺参的养殖规模和产量在短短 20 余年内迅速增加。如今, 刺参已成为

我国最主要海水养殖种类之一。然而, 由于良种缺乏, 养殖规模的盲目扩张, 导致了养殖刺参品质低下、单位面积产量和产值下降等一系列的问题。

培育出经济性状良好的刺参品种, 是提高其养殖效益的重要手段。刺参的体重、体长等生长性状, 直接决定了刺参的产量, 是刺参最重要的经济性状, 也是遗传育种研究最关注的性状(孟思远等, 2010; 李云峰等, 2009; 常亚青等, 2013)。棘数在很大程度上影响了刺参的市场价格(Chang *et al.*, 2011), 因此, 也成为刺参育种的重要目标性状。刺参的棘数难以准确测量, 一方面是因为刺参体表的某一个棘刺, 尤其是较小的

\* 农业部农业科研杰出人才及创新团队项目和辽宁省农业攻关及成果产业化项目(2015203003)共同资助。赵 帅, E-mail: 506747351@qq.com

① 通讯作者: 常亚青, 教授, E-mail: yqchang@dlou.edu.cn

收稿日期: 2015-11-10, 收修改稿日期: 2015-12-02

棘刺能否被计入棘数,受到测量人的主观影响;另一方面,棘刺的发生机制和生长规律尚不清楚,一段时间内棘刺是否生长,会对这段时间内棘数的几次测量值产生影响。Chang 等(2011)开发出了一种准确测量棘参棘刺数目的方法,解决了一个棘刺是否能被计入棘数的问题。而针对棘刺生长对棘数测量的影响,则需要多次度量的方法来解决。然而,棘参的棘数需要多少次度量才能保证其遗传评估的准确性至今尚无人研究。在数量遗传学中,重复力可以衡量一个性状在同一个个体多次度量值之间的相关程度,已广泛应用于动物繁殖性状(如产奶量、产仔数)、产量性状(如羊绒产量、鹿茸产量)、品质性状(如羊毛细度、羊绒长度)以及植物生产性状的度量次数估计和最大可能生产力(MPPA)估计(张丽等, 2008; 耿社民等, 1992; 郑兴涛等, 1998; 陈清堤, 2010; 胡德活等, 2004; 王红娟等, 2013; 王金良, 1989; 孙伟等, 2008)。本研究拟通过估计 4 个棘参群体棘数的重复力,对 4 个群体棘参棘数的度量次数和 MPPA 进行比较,旨在为棘参选种提供重要的遗传参数和选种参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

所有棘参苗种(12 月龄)取自山东安源水产股份有限公司,共包含 4 个群体,分别为:韩国棘参自繁群体(KK)、多棘刺参自繁群体(DD)、山东棘参自繁群体(SS)以及三元杂交群体(DK)。其中, KK 为韩国棘参(♀)×韩国棘参(♂)后代, DD 为“水院 1 号”群体选择 2 代棘参(♀)×“水院 1 号”群体选择 2 代棘参(♂)后代, SS 为山东棘参(♀)×山东棘参(♂)后代, DK 为“水院 1 号”群体选择 2 代棘参(♀)×韩国棘参(♂)

后代。其中,“水院 1 号”群体为中国雌棘参与俄罗斯雄棘参杂交获得。

### 1.2 实验方法

随机从 4 个棘参群体中各取 50 头,将每头棘参单独养殖在 1 层海胆养殖笼内(单层尺寸为 41 cm × 35 cm × 11.7 cm,孔径为 0.8 cm,每层 25 只海胆),海胆笼挂养在室内 20 t 水泥池内,实验期间不给棘参单独投饵,其主要摄食海胆粪便。所有群体的棘参养殖于同一水体中,每隔 3 d 换水 1 次,每次换水 1/2。

实验开始时,测量每个棘参的棘数和体重。棘数测量采用 Chang 等(2011)测量棘刺的方法,测量完成后,将棘参体表水分吸干,用电子天平(精确到 0.01 g)测量体重。实验时间为 150 d,共测量 5 次,测量时间分别为第 0、30、60、90、150 天(第 120 天由于海胆饵料缺乏而未进行测量)。

### 1.3 数据分析

**1.3.1 重复力估计** 采用组内相关系数法计算棘参棘数的重复力( $r_e$ ) (盛志廉等, 1999),计算公式为:

$$r_e = \frac{MS_b - MS_w}{MS_b + (K - 1)MS_w}$$

$$K = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n k_i - \frac{\sum_{i=1}^n k_i^2}{\sum_{i=1}^n k_i} \right)$$

式中,  $MS_b$  为组间均方,  $MS_w$  为组内均方,二者按表 1 所列方差分析求得;  $K$  为每个个体的度量次数,  $n$  为一个群体中所有棘参的测量次数之和,  $i$  为群体内的第  $i$  个个体,  $j$  为该个体第  $j$  次的测量。

表 1 表型方差分析  
Tab.1 Phenotype variance analysis

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	期望均方 Expected mean square
个体间 Between individuals	$df_b = n - 1$	$SS_b = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^{k_i} X_{ij}}{k_i} \right)_2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} X_{ij} \right)_2}{\sum_{i=1}^n k_i}$	$MS_b = \frac{SS_b}{df_b}$	$\hat{\sigma}_w^2 + K \hat{\sigma}_b^2$
个体内 Within individuals	$df_w = df_T - df_b$	$SS_w = SS_T - SS_b$	$MS_w = \frac{SS_w}{df_w}$	$\hat{\sigma}_w^2$
总和 Total	$df_T = \sum_{i=1}^n k_i - 1$	$SS_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} X_{ij}^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} X_{ij} \right)_2}{\sum_{i=1}^n k_i}$		

采用  $t$  检验方法对重复力进行显著性检验:

$$t = \frac{r_e}{\sqrt{V_{(r_e)}}}$$

$$V_{(r_e)} = \frac{2(1-r_e)[1+(K-1)r_e]^2}{(n-1)K(K-1)}$$

式中,  $V_{(r_e)}$  为重复力方差,  $K$  为每个个体的度量次数,  $n$  为一个群体中所有刺参的测量次数之和。

**1.3.2 MPPA 及度量次数计算** 采用线性回归方法估计棘数的 MPPA (盛志廉等, 1999), 其回归方程为:

$$MPPA = \bar{P} + b(\bar{P}_k - \bar{P})$$

$$b = \frac{kr_e}{1+(k-1)r_e}$$

式中,  $k$  为单个个体刺参的度量次数,  $\bar{P}_k$  为  $k$  次记录 1 个刺参个体棘数的平均值,  $\bar{P}$  为群体棘数的平均值,  $b$  为回归系数。

度量次数与准确度的关系为:

$$Q = \sqrt{\frac{kr_e}{1+(k-1)r_e}}$$

式中,  $Q$  为准确度,  $k$  为度量次数。

**1.3.3 群体 MPPA 比较** 利用 SPSS 17.0 软件, 采用单因素方差分析(One-way ANOVA), 对群体间棘数 MPPA 的差异显著性进行比较。方差分析前对数据的正态性和方差齐性进行检验, 根据方差齐性选择多重比较方法对不同群体间的棘数 MPPA 进行多重比较。显著性水平设置为  $P < 0.05$ 。

**1.3.4 MPPA 与体重的相关系数** 通过所计算出的个体棘数 MPPA, 利用 SPSS 17.0 软件计算个体 MPPA 与其体重的相关系数, 显著性水平设置为  $P < 0.05$ , 极显著水平设置为  $P < 0.01$ 。

## 2 结果

### 2.1 4 个群体刺参的棘数和体重的表型统计

4 个群体刺参体重的表型统计见表 2。从表 2 可

以看出, 4 个群体刺参成活率介于 64%–84%之间, 由于实验在 90–120 d 内没有海胆饵料, 海参没有摄食, 故体重减少。4 个群体刺参棘数的变化见图 1。由图 1 可知, 4 个群体中, 韩国自繁群体刺参的棘数初始值(26)最低, 其余 3 个群体刺参的棘数初始值相近, 多刺自繁群体为 31 个, 山东自繁群体和三元杂交群体均为 30 个。随着实验的进行, 4 个群体刺参的棘数均呈现先增加后下降的趋势。至实验结束时, 4 个群体刺参棘数由多到少依次为: 韩国自然群体 > 多刺自繁群体 > 三元杂交群体 > 山东自繁群体。

### 2.2 4 个群体刺参棘数的重复力

4 个群体刺参棘数的重复力为 0.19–0.29, 均为低重复力(表 3)。4 个群体中, 以多刺自繁群体的重复力最高(0.29), 韩国自繁群体重复力最低(0.19), 各群体重复力的标准误差较小, 代表性较强, 经  $t$  检验均达到显著水平。

### 2.3 4 个群体刺参的 MPPA 比较及度量次数的确定

方差分析结果显示, 4 个群体刺参棘数的 MPPA 差异显著( $P < 0.05$ )。由于方差分析未满足齐性要求, 故采用 Tamhane's T2 检验法对群体间棘数 MPPA 进行多重比较(图 2)。从图 2 可知, 多刺自繁群体与山东自繁群体刺参棘数 MPPA 有显著差异( $P < 0.05$ ), 其他群体间差异不显著( $P > 0.05$ )。

4 个群体刺参棘数测量相对准确度和测量次数之间的关系见表 4。由表 4 可知, 若要求棘数测量相对准确度超过 80%, 则 KK、DD、SS、DK 4 个群体刺参需要度量的次数分别为 8、5、8、5 次。

### 2.4 4 个群体刺参的棘数 MPPA 与各月龄体重的相关分析

4 个群体刺参的棘数 MPPA 与各月龄体重的表型相关系数见表 5。由表 5 可知, 各群体内刺参的棘数 MPPA 与体重均呈现显著的正相关。韩国自繁群体和

表 2 4 个群体刺参体重的表型统计(平均值±标准差)

Tab.2 Phenotype statistics for body weight in four populations (Mean±SD)

项目 Items	群体 Population			
	韩国自繁群 KK	多刺自繁群体 DD	山东自繁群体 SS	三元杂交群体 DK
初始样本量 Initial sample size (ind)	45	50	50	50
终末样本量 Final sample size (ind)	32	41	42	32
成活率 Survival rate (%)	71	82	84	64
测量次数 Measure time	5	5	5	5
初始体重 Initial body weight (g)	18.41±8.30	21.52±8.34	28.74±6.57	20.43±9.62
终末体重 Final body weight (g)	16.02±8.01	15.36±7.07	19.40±8.63	18.22±9.19

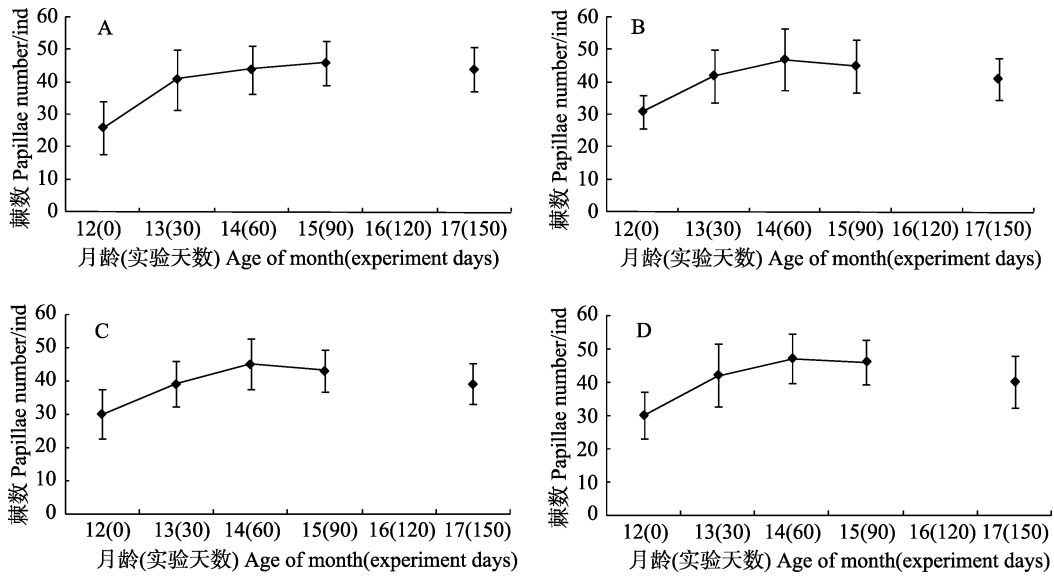


图 1 4 个刺参群体的棘数在各月龄的变化水平  
Fig.1 Changes in papillae numbers with age in four populations

A: 韩国自繁群体; B: 多刺自繁群体; C: 山东自繁群体; D: 三元杂交群体  
A: KK; B: DD; C: SS; D: DK

表 3 4 个刺参群体棘数的重复力  
Tab.3 Repeatability coefficients for papillae number in four populations

项目 Items	群体 Population			
	韩国自繁群体 KK	多刺自繁群体 DD	山东自繁群体 SS	三元杂交群体 DK
重复力 $r_e$	0.19	0.29	0.20	0.28
标准误 SE	0.07	0.08	0.07	0.07
$t$ 检验 $t$ -test	2.60*	3.83*	3.03*	3.82*

\*表示差异达到显著水平( $P<0.05$ )  
\* denoted significant difference ( $P<0.05$ )

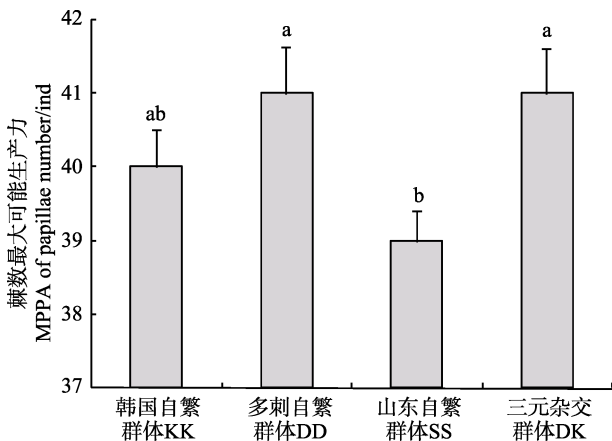


图 2 4 个群体刺参的棘数 MPPA 比较(平均值±标准差)  
Fig.2 Comparison of MPPA among four populations (Mean±SD)

注: 不同小写字母表示组间差异显著( $P<0.05$ ), 相同小写字母表示组间差异不显著

Note: Different letters indicated significant difference ( $P<0.05$ ) and those with the same letter were not significantly different

多刺自繁群体 13 月龄体重与棘数 MPPA 相关系数最大, 而山东自繁群体和三元杂交群体刺参棘数与 15 月龄时的体重相关系数最大。

### 3 讨论

本研究所获得的刺参棘数的重复力为 0.19–0.29, 表明刺参棘数的重复力为低度重复力。重复力体现了各次度量值之间的相关程度, 因此可认为, 刺参棘数各次度量值之间相关性较低, 即个体内各次度量间的方差较大。这一方差可以归结为特殊环境方差。本研究中刺参棘数的特殊环境方差一方面来源于刺参棘数随年龄的增长而产生的变化(图 1), 另一方面来源于棘数测量值的变化。尽管采用 Chang 等(2011)的测量方法(肉刺长度/体长 $>0.05$  认定为刺), 消除了测量人的主观影响, 但由于刺参体长与棘刺长度均在变化, 某些处于判定边缘的棘刺可能会出现本次测量被认定是棘而下次测量被认定不是棘的情况。重复力是

表 4 4 个群体刺参度量次数的相对准确度  
Tab.4 The relative accuracy of measure time in four populations

度量次数 <i>K</i> Measure times	度量次数的相对准确度 Relative accuracy of measure times (%)			
	韩国自繁群体 KK	多刺自繁群体 DD	山东自繁群体 SS	三元杂交群体 DK
1	43	54	45	53
2	56	67	58	67
3	64	74	66	74
4	69	79	71	78
5	73	82	75	82
6	76	84	78	84
7	79	86	80	86
8	81	87	82	87
9	82	89	84	88
10	84	90	85	89
∞	100	100	100	100

表 5 4 个群体刺参的棘数 MPPA 与各月龄体重的相关系数  
Tab.5 Correlation coefficients between MPPA and body weights in four populations

群体 Population	月龄 Age of month					相关系数 Correlation coefficients
	12	13	14	15	17	
韩国自繁群体 KK	0.500**	0.625**	0.605**	0.586**	0.407*	0.407–0.625
多刺自繁群体 DD	0.475**	0.552**	0.538**	0.420**	0.424**	0.420–0.552
山东自繁群体 SS	0.304*	0.360*	0.299*	0.370*	0.168	0.168–0.370
三元杂交群体 DK	0.535**	0.570**	0.556**	0.658**	0.450**	0.450–0.658

\*表示在 0.05 水平上显著相关, \*\*表示在 0.01 水平上显著相关

\* denoted significant correlation at the 0.05 probability level, \*\* denoted significant correlation at the 0.01 probability level

遗传力的上限, 因此, 4 个群体刺参棘数的遗传力最高应该不超过 0.29。孟思远等(2010)估计了刺参幼参阶段棘数的遗传力, 认为 3–4 月龄刺参棘数的遗传力在 0.19–0.40 之间。其上限略高于本研究所估计的重复力值, 这可能是不同群体的遗传基础不同所致。相对于刺参的低度重复力, 一些动物性状如鹿茸重、精子密度与精液存活指数、产仔日期等和植物性状如树高与冠幅、木材的密度、株高、基径、生长节数等的重复力均为高度重复力(张丽等, 2008; 耿社民等, 1992; 郑兴涛等, 1998; 陈清堤, 2010; 胡德活等, 2004)。高度重复力减少了这些物种性状的测量次数, 有的性状仅需 1 次测量即可评定个体的生产性能。

对低重复力的性状进行遗传评估, 应该增加测量次数以提高评估准确性。由于本研究棘数的重复力较低, 对刺参棘数的评定应以多次测量为准。本研究进一步计算了不同准确性要求下, 刺参棘数需要测量的次数。若要达到 80% 的准确性, 对刺参棘数的度量次数应该达到 5–8 次, 而若要达到 90% 的准确性, 则度量次数应超过 10 次。群体重复力越低, 所需的度量次数就越多, 这与王金良(1989)的研究结果一致。根

据重复力计算个体的 MPPA 可用于对个体的遗传评定, 作为选种的依据(孙伟等, 2008)。通过计算刺参个体棘数的 MPPA, 本研究进一步计算了刺参棘数 MPPA 与各月龄体重之间的表型相关系数。刺参的棘数与其体重呈现显著的正相关, 这说明所选取的 4 个群体从表型上看, 体重越大的刺参可能具有更多的棘刺。在一定程度上表明, 刺参的棘数可能会随着年龄和体重的增长而增加。本结论对于通过体重间接选择棘数有一定的指导意义。

本研究所选的 4 个刺参群体是以棘数为主要目标性状进行育种的基础群体。多刺自繁群体是以大连海洋大学培育出的国审新品种“水院 1 号”多刺刺参为基础群体, 经 2 代群体选育得到的第 3 代育种群体。该群体刺参棘数重复力最高, 接近中等重复力, 表明该群体刺参的棘数不易受到特殊环境的影响, 具有更高的遗传力。另外, 该群体的重复力较高也可能与该群体刺参的棘刺较长、容易辨别有关。三元杂交群体是以“水院 1 号”多刺刺参选育第 2 代为母本、韩国刺参为父本进行杂交而得到的后代育种群体。从多次测量的平均值来看, 韩国自繁群体刺参较多刺自繁群

体具有更多的棘数,而三元杂交群体刺参的棘数与多刺自繁群体相差不多(图 1),这表明三元杂交群体并未获得棘数上的杂种优势。然而,三元杂交群体较韩国自繁群体具有更高的棘数重复力和 MPPA,其棘数与体重的表型相关系数也高于 2 个自繁群体。其原因可能与 2 个群体刺参棘刺的形态有关,韩国群体刺参棘刺数量较多,但较细小,不易辨别,而多刺自繁群体刺参棘刺较粗大,容易辨别,二者杂交后代的棘刺在性状上较韩国群体更粗大。因此,本研究认为,三元杂交群体在棘数重复力和 MPPA 上具备杂种优势。多刺自繁群体和三元杂交群体由于具有更高的重复力,经过 5 次测量选种准确率就可达到 80%以上。因此,在选育潜力上和性状测量方面较另外 2 个群体更具有优势。综合以上原因,应该将多刺自繁群体和三元杂交群体作为重点群体,对棘数进行进一步选育。

### 参 考 文 献

- 王红娟,段安安,张晏,等. 云南引种元宝枫优树嫁接无性系苗期测定. 西北林学院学报, 2013, 28(6): 92-94, 111
- 王金良. 确定家畜数量性状适宜度量次数的探讨. 青海畜牧兽医杂志, 1989, 19(6): 28-30
- 孙伟,常洪,张明,等. 母羊可能生产力指标评价湖羊产羔性状的种用价值. 畜牧兽医杂志, 2008, 27(2): 14-16
- 李云峰,常亚青,田焱,等. 仿刺参耳状幼体和稚参阶段的体长遗传力估计. 大连水产学院学报, 2009, 24(1): 30-33
- 张丽,滚双宝,秦大伟,等. 塔里木马鹿茸重性状遗传力重复力及育种值的估测. 甘肃畜牧兽医, 2008, 38(3): 2-5
- 陈清堤. 杉木无性系造林对比试验及重复力估测. 林业调查规划, 2010, 35(6): 140-144
- 郑兴涛,赵蒙,迟景贵,等. 西丰梅花鹿产仔日期重复力的估测. 黑龙江畜牧兽医, 1998(6): 6-7
- 孟思远,常亚青,李文东,等. 仿刺参幼参阶段 4 个生长性状遗传力的估计. 大连海洋大学学报, 2010, 25(6): 475-479
- 胡德活,阮梓材,钱志能,等. 杉木无性系木材密度遗传变异及其与生长性状的相关性. 中南林学院学报, 2004, 24(5): 24-27
- 耿社民,宋九洲,张玉进,等. 西镇牛种质特性的研究——四: 西镇种公牛初夏精液品质分析及重复力的估测. 黄牛杂志, 1992, 18(2): 23-27
- 盛志廉,陈瑶生. 数量遗传学. 北京: 科学出版社, 1999, 29-37
- 常亚青,丁君,宋坚,等. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社, 2004, 3-4
- 常亚青,田焱,张伟杰. 我国海洋水产生物遗传育种技术进展. 中国农业科技导报, 2013, 15(6): 8-15
- 廖玉麟. 刺参人工养殖的展望. 海洋科学, 1986, 10(6): 55-57
- Chang Y, Shi S, Zhao C, *et al.* Characteristics of papillae in wild, cultivated and hybrid sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*). Afr J Biotechnol, 2011, 10(63): 13780-13788

(编辑 马璀璨)

## Estimates of Repeatability Coefficients for Papillae Number in Four Populations of Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*)

ZHAO Shuai<sup>1</sup>, HUANG Xu<sup>1</sup>, WANG Haifeng<sup>1</sup>, ZHANG Weijie<sup>1</sup>, LIU Yongqi<sup>2</sup>,  
SONG Jian<sup>1</sup>, WANG Zengdong<sup>2</sup>, JING Chenchen<sup>1</sup>, CHANG Yaqing<sup>1</sup><sup>①</sup>

(1. Key Laboratory of Mariculture & Stock Enhancement in North China's Sea, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023; 2. Shandong Anyuan Aquaculture Co., Ltd., Yantai 264000)

**Abstract** Sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) has become one of the major aquacultural species in China. Genetic improved seeds of sea cucumber play a key role in the ever-increasing profit. Information on the genetic parameters of papillae number, the important economic trait of sea cucumber, however, has been lacking. To investigate the repeatability, required measure times, and the most probable producing ability (MPPA) of sea cucumber, we applied quantitative genetic methods to determine the repeatability coefficients of papillae number of four sea cucumber populations in the age of 12–17 month, including Korean self-propagated population (KK), Duoci self-propagated population (DD), Shandong self-propagated population (SS), and Three-way cross population (DK). Based on the estimates, we also calculated and compared the required measure times, MPPA, and correlation efficient between MPPA and body weight of the four populations. We found that the repeatability coefficients of papillae number were low in all four populations. The repeatability coefficients of the four population followed the order: DD(0.29)>DK(0.28)>SS(0.20)>KK(0.19). For population DD and DK, the papillae number needed to be measured for 5 times to reach a relative accuracy above 80%, while for SS and KK populations 8 measure times were required. The MPPA for papillae number followed the order: DD(41.3)>DK(40.8)> KK(39.8)> SS(39.1), with the significant difference between DD and SS only ( $P<0.05$ ). The phenotype correlation between MPPA and body weight in each population was significantly positive. Therefore, repeatability and MPPA could be used as criteria in population selection for papillae number. Our results suggested that DD and DK populations might have higher papillae numbers, higher potential for selection, and less measure times needed than the other two populations, hence they could be the key populations for papillae number selection.

**Key words** *Apostichopus japonicus*; Papillae number; Repeatability; Selective breeding

① Corresponding author: CHANG Yaqing, E-mail: yqchang@dlou.edu.cn