

虾夷马粪海胆表型性状对性腺性状的影响效果分析

张伟杰 常亚青* 赵冲 刘平晋 宋坚

(大连海洋大学 农业部海洋水产增养殖学重点开放实验室, 116023)

摘要 从19月龄虾夷马粪海胆 *Strongylocentrotus intermedius* 养殖群体中随机选择600枚, 测量了壳高(*TH*)、壳径(*TD*)、活体重(*BW*)、性腺湿重(*GWW*)、性腺颜色($L^* a^* b^*$)、性腺指数(*GI*)、性腺水分(*GM*)7个性状。采用相关分析和通径分析方法, 计算了各性状间的相关系数, 并定量分析了壳性状对活体重及表型性状(壳高、壳径、活体重)对性腺性状的影响效果。结果表明, 壳性状与活体重极显著相关($P < 0.01$); 4个性腺性状除构成性腺颜色性状的 a^* (绿-红)、 b^* (蓝-黄)分别与壳径、活体重呈显著相关($P < 0.05$), 而与其他表型性状无显著相关外, L^* (暗-亮)、性腺湿重、性腺指数和性腺水分与表型性状均达到极显著相关($P < 0.01$)。壳径对活体重的直接影响最大(0.717), 活体重对性腺湿重的直接影响最大(0.598), 壳径和活体重可作为间接选择性腺湿重的主要指标。利用曲线回归建立了壳性状预测活体重及活体重预测性腺湿重的最优模型: $BW = 0.001TD^{2.822}$ ($R^2 = 0.984$), $GWW = 0.039BW^{1.331}$ ($R^2 = 0.753$)。

关键词 虾夷马粪海胆 表型性状 性腺性状 相关分析 回归分析

中图分类号 S959 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)03-0049-07

Effects of phenotypic traits on gonad traits in sea urchins *Strongylocentrotus intermedius*

ZHANG Wei-jie CHANG Ya-qing* ZHAO Chong
LIU Ping-jin SONG Jian

(Dalian Ocean University, Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Agriculture, 116023)

ABSTRACT 600 sea urchins *Strongylocentrotus intermedius* were randomly sampled from the 19-month old cultured population, and the test height (*TH*), test diameter (*TD*), live body weight (*BW*), gonad wet weight (*GWW*), gonad color ($L^* a^* b^*$), gonad index (*GI*), and gonad moisture content (*GM*) of each sample were measured. Correlation and path analysis were conducted to evaluate the phenotypic correlation coefficients between all the measured traits, and to determine the direct and indirect effects of the test traits on live body weight and the phenotypic traits on the gonad traits. The results showed that the test traits and live body weight were significantly correlated ($P < 0.01$). Gonad color traits a^* (Green-Red) and test diameter

国家“863”计划重大项目(2006AA10A411)和辽宁省科技攻关重大项目(2007203004)共同资助

* 通讯作者。E-mail: yqchang@dlfu.edu.cn, Tel: (0411)84762695

收稿日期: 2009-09-13; 接受日期: 2009-11-06

作者简介: 张伟杰(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋水产动物遗传育种研究。E-mail: zhangweijie5217@163.com, Tel: 15140412041

as well as b^* (Blue-Yellow) and live body weight were significantly correlated ($P < 0.05$), but both a^* and b^* were not significantly correlated with other phenotypic traits; L^* (Dark-Light), gonad wet weight, gonad index and gonad moisture content were all significantly correlated with the phenotypic traits ($P < 0.01$). Test diameter had the highest direct effect on live body weight with the value of 0.717, and live body weight had the highest direct effect on gonad wet weight with the value of 0.598, test diameter and live body weight should be considered as significant selection criteria in breeding for gonad wet weight. The optimal curvilinear regression equations were obtained to estimate live body weight and gonad wet weight as $BW = 0.001TD^{2.822}$ ($R^2 = 0.984$), $GW = 0.039BW^{1.331}$ ($R^2 = 0.753$).

KEY WORDS *Strongylocentrotus intermedius* Phenotypic traits
Gonad traits Correlation analysis Regression analysis

虾夷马粪海胆 *Strongylocentrotus intermedius* 是海胆类中经济价值最高的种类之一,该种 1989 年由大连水产学院从日本引入,目前已成为我国最主要的养殖海胆种类(常亚青等 2004)。该种引入后一直在国内累代封闭繁殖,为了避免性状衰退,提高海胆产量和品质,利用选择育种的方法对其生长性状及性腺品质进行遗传改良十分必要。

在制订选育计划中,确定选育物种性状之间的相互关系非常重要,合理利用性状间的相关能有效提高选育效果。关于水产动物经济性状表型相关的报道很多(Anderson *et al.* 1958; Farmer 1986; Thomas 1975),但简单的表型相关并不能很好地说明性状间的真正关系,利用通径分析将相关系数剖分为直接作用和间接作用,有助于确定一个性状对另一个性状的直接影响(Yucel 2004)。通径分析广泛应用于动植物选育中,Yucel (2004) 利用通径分析的方法估计了 6 个因素对蚕豆 *Vicia narbonensis* L. 单株产量的直接和间接影响,指出了 5 个显著的选择指标。Rodriguezd 等 (2001) 利用通径分析评估了直接或间接影响银胶菊 *Parthenium argentatum* 产量的因素,并指出首年径干重是选择银胶菊高产的理想指标。刘小林等(2002、2004)指出壳高是影响栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 活体重的主要因素,体长是影响凡纳滨对虾 *Penaeus vannamei* 活体重的主要因素。常亚青等(2008)指出壳长是影响虾夷扇贝 *Patinopecten yessoensis* 重量性状的主要因素。Deng 等(2008)指出壳重是影响马氏珠母贝 *Pinctada martensi* 活体重的主要因素,并指出生长性状可以通过直接选择或间接选择来提高。

关于虾夷马粪海胆表型性状和性腺性状间的相关以及性状间的直接影响尚未见报道。由于性腺性状无法活体测量,目前海胆遗传育种与苗种繁殖的依据主要是易准确测量的壳径、壳高和活体重等表型性状。然而,性腺是海胆唯一的可食部分,其性腺湿重、性腺指数、性腺颜色、性腺水分等是评价海胆产量和品质的重要组成部分(McBride *et al.* 2004; Phillips *et al.* 2009),也是影响海胆市场价格的主要因素(Shpigel *et al.* 2005),因此,通过合理的方法,对性腺性状这一重要目标性状进行选育十分必要。在选育工作中,对性腺直接测量显然不可行,但若明确性腺性状与易测量的表型性状之间的关系,及表型性状对性腺性状的直接影响,就能通过选择某些表型性状来提高性腺性状,达到更好的选择效果。本文利用相关分析、通径分析和回归分析,首次对表型性状和性腺性状的关系进行研究,并试图建立壳性状对活体重以及表型性状对性腺性状的预测模型,以期对虾夷马粪海胆的养殖和选育提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 取样与测量

从 19 月龄(2009 年 5 月底)虾夷马粪海胆养殖群体随机选取 600 个个体,测量性状包括:壳高(TH)、壳径(TD)、活体重(BW)、性腺湿重(GW)、性腺亮度值(L^*)、性腺红度值(a^*)、性腺黄度值(b^*)、性腺水分

(GM)。测量方法如下:

1.1.1 壳高

用数显电子游标卡尺(精度为 0.01 mm)(16EW 型,德国马尔精密量仪(苏州)有限公司)测量海胆壳(不包括棘)从反口面至口面的最大高度。

1.1.2 壳径

用卡尺测量海胆壳不包括棘的最大直径。

1.1.3 活体重

测完壳性状立即用数显电子天平(精度为 0.01 g)(JJ300 型电子天平,美国双杰兄弟(集团)有限公司常熟双杰测试仪器厂)测量活体重。

1.1.4 性腺湿重

解剖海胆并完整取出性腺,用滤纸吸干性腺表面的水分,称量性腺湿重。

1.1.5 性腺颜色

将海胆性腺中的 4 瓣性腺装入自封袋,采用 CIELAB 标准,利用 PANTONE Color Cue 2 测色仪在 D65 模式下测量性腺颜色,每个样品测量 3 次取平均值。

1.1.6 性腺水分

取 1 瓣性腺,置 60 ℃ 恒温烘干 72 h 至恒重,记录烘干前后的重量,将重量差作为水分含量。

$$\text{性腺指数}(GI) = \frac{\text{性腺湿重}}{\text{活体重}} \times 100\%$$

1.2 数据分析

利用 SPSS 16.0 软件统计各测量性状或计算参数的均值(Mean)、标准差(SD)和变异系数(CV%),并对所测性状等进行相关分析;分别以壳性状为自变量、活体重为因变量,以表型性状为自变量、性腺性状为因变量做多元回归分析,并参照刘小林等(2002)介绍的方法进行通径分析;分别以壳性状为自变量、活体重为因变量,以表型性状为自变量、性腺性状为因变量做散点图,观察散点分布特征,确定函数类型并建立预测模型。各分析显著性水平均设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 各性状表型统计量

各性状表型均值、标准差和变异系数见表 1。

表 1 各性状表型均值和变异系数

Table 1 Mean values and variation coefficients of phenotypic traits

项目 Item	壳高 TH (mm)	壳径 TD (mm)	活体重 BW (g)	亮度 L*	红度 a*	黄度 b*	性腺湿重 GWW (g)	性腺指数 GI (%)	性腺水分 GM (%)
均值 Mean	15.853	36.313	21.403	76.738	26.709	26.921	2.537	11.112	69.231
标准差 SD	3.240	6.566	10.230	4.473	8.101	7.520	1.565	3.788	10.007
变异系数 CV(%)	20.439	18.082	47.796	5.829	30.330	27.933	61.706	34.089	14.455

2.2 性状间表型相关系数

性状间的表型相关系数列于表 2。如表 2 所示,壳性状与活体重极显著相关($P < 0.01$);4 个性腺性状除构成性腺颜色性状的 a^* 、 b^* 分别与壳径、活体重均呈显著相关($P < 0.05$),而分别与壳高、活体重,壳高、壳径

无显著相关外, L^* 、性腺湿重、性腺指数和性腺水分与表型性状均达到极显著相关($P < 0.01$)。性腺颜色性状中的 L^* 与 a^* 、 b^* 呈极显著负相关($P < 0.01$), 与性腺湿重、性腺指数和性腺水分呈极显著正相关($P < 0.01$), a^* 与 b^* 呈极显著正相关, 与性腺指数呈显著正相关($P < 0.05$), b^* 与性腺指数、性腺水分呈极显著负相关($P < 0.01$); 性腺湿重、性腺指数和性腺水分两两呈极显著正相关($P < 0.01$)。

表 2 性状间的表型相关系数
Table 2 Phenotypic correlation coefficients among traits

	壳高 <i>TH</i>	壳径 <i>TD</i>	活体重 <i>BW</i>	亮度 L^*	红度 a^*	黄度 b^*	性腺湿重 <i>GWW</i>	性腺指数 <i>GI</i>	性腺水分 <i>GM</i>
壳高 <i>TH</i>	1	0.945**	0.943**	0.263**	0.041	0.028	0.838**	0.392**	0.378**
壳径 <i>TD</i>		1	0.967**	0.242**	0.072*	0.063	0.833**	0.352**	0.368**
活体重 <i>BW</i>			1	0.215**	0.066	0.081*	0.857**	0.324**	0.327**
亮度 L^*				1	-0.121**	-0.382**	0.265**	0.290**	0.176**
红度 a^*					1	0.438**	0.069	0.072*	-0.057
黄度 b^*						1	0.005	-0.115**	-0.149**
性腺湿重 <i>GWW</i>							1	0.712**	0.373**
性腺指数 <i>GI</i>								1	0.390**
性腺水分 <i>GM</i>									1

注: * 表示差异显著, ** 表示差异极显著, 下同

Note: * means significant variation; ** means highly significant variation. Same as below

2.3 通径分析

为了进一步剖析壳高、壳径对活体重, 以及壳径、壳高、体重对性腺性状的直接作用和间接作用, 分别以壳性状为自变量、活体重为因变量, 以表型性状为自变量、性腺性状为因变量做多元回归分析。结果显示, 除表型性状对 a^* 的回归方程方差分析不显著外, 其他方程回归分析均达到极显著水平。虽然如此, 表型性状对性腺颜色、性腺水分和性腺指数的相关指数 R^2 均较小。因此, 进一步的通径分析只选择活体重和性腺湿重为因变量。

表 4 所列为壳性状对活体重的影响, 表 5 为表型性状对性腺湿重的影响, 由表 4、表 5 可知, 壳径对活体重的直接影响最大(0.717), 活体重对性腺湿重的直接影响最大(0.668)。

表 3 对活体重和性腺性状的多元回归分析
Table 3 Multiple regression analysis on live body weight and gonad traits

自变量 Variables	因变量 Dependent variable	显著性 <i>P</i>	相关指数 R^2	自变量 Variables	因变量 Dependent variable	显著性 <i>P</i>	相关指数 R^2
<i>TH</i> ** , <i>TD</i> **	<i>BW</i>	0.000	0.943	<i>TH</i> ** , <i>TD</i> , <i>BW</i> **	<i>GWW</i>	0.000	0.743
<i>TH</i> ** , <i>TD</i> * , <i>BW</i> **	L^*	0.000	0.087	<i>TH</i> ** , <i>TD</i> ** , <i>BW</i> **	<i>GI</i>	0.000	0.174
<i>TH</i> , <i>TD</i> , <i>BW</i>	a^*	0.096	0.011	<i>TH</i> ** , <i>TD</i> * , <i>BW</i> **	<i>GM</i>	0.000	0.178
<i>TH</i> ** , <i>TD</i> , <i>BW</i> **	b^*	0.001	0.028				

2.4 预测模型的建立

分别以壳性状、表型性状为自变量做散点图观察并寻找预测活体重和性腺湿重的最适模型, 结果见图1、

表 4 壳性状对活体重的影响

Table 4 The effects of test traits on live body weight

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接影响 Direct effect	间接影响 Indirect effect	
			壳高 TH	壳径 TD
壳高 TH	0.943**	0.264**		0.679
壳径 TD	0.967**	0.717**	0.250	

注: $R^2=0.943$

表 5 表型性状对性腺湿重的影响

Table 5 The effects of phenotypic traits on gonad wet weight

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接影响 Direct effect	间接影响 Indirect effect		
			壳高 TH	壳径 TD	活体重 BW
壳高 TH	0.838**	0.296**		-0.088	0.630
壳径 TD	0.833**	-0.093	0.280		0.646
活体重 BW	0.857**	0.668**	0.279	-0.09	

注: $R^2=0.743$

图 2。壳性状、表型性状分别与活体重、性腺湿重呈幂函数关系,以壳径做自变量预测活体重得到最优方程: $BW=0.001TD^{2.822}$ ($R^2=0.984$);以活体重做自变量预测性腺湿重得到最优方程: $GWW=0.039BW^{1.331}$ ($R^2=0.753$),两方程回归系数及其自变量的偏回归系数均达极显著水平($P<0.01$)。

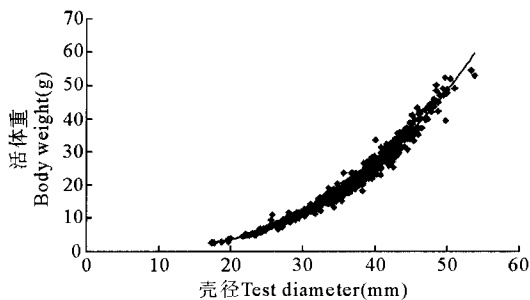


图 1 壳径与活体重的曲线回归关系

Fig. 1 The curvilinear regression relationship between test diameter and live body weight

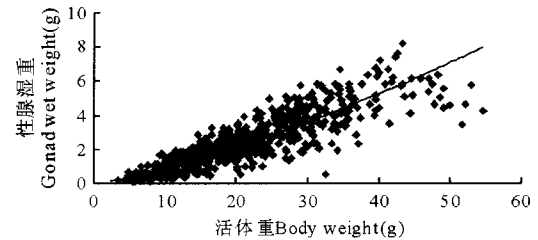


图 2 活体重与性腺湿重的曲线回归关系

Fig. 2 The curvilinear regression relationship between live body weight and gonad wet weight

3 讨论

本研究所取海胆为 19 月龄,从季节和其生殖周期上来看,大部分正处于第 1 次性成熟前期或性成熟期(约 11 月龄时群体中出现少量繁殖个体),而从养殖生产和育种研究上来看,此时正介于上市和繁殖期间,因此选取这时的海胆作为研究对象对海胆的养殖和育种指导性强且意义重大。从表 1 来看,所测性状均具有较大的变异系数,性腺湿重、活体重和性腺指数尤为突出,这应该是由所取实验材料来自不同地理养殖群体繁殖构建的基础群。虽然不同养殖群体同引自日本,但由于辽宁、山东两地多个养殖区域或企业多封闭繁殖,长期以来同一养殖群体内海胆的基因纯合度升高,不同养殖群体间出现了一定程度的分化,群体杂交后代基因杂合度升高,遗传多样性变得丰富,这正是我们建立基础群时预期的结果,同时说明了对该海胆进行遗传改良的潜力巨大。

关于虾夷马粪海胆表型的遗传参数已有报道(刘小林等 2004;Liu *et al.* 2005),其壳性状、活体重在生长早期、中期具中高度遗传力,性状间具有较强的正遗传相关,本文相关分析结果正符合这一结论,说明对表型性状进行早期选择或间接选择可以获得较大的选择反应。壳径和壳高与活体重的相关系数都非常大,但是经过通径分析,结果显示壳径是影响活体重的主要因素(0.717),壳高则主要通过壳径间接对活体重产生影响(0.679)。因此,壳径可以做为评价和选择活体重的主要指标。

本文所测的 4 个性腺性状(性腺湿重、性腺指数、 $L^* a^* b^*$ 、性腺水分)是评价性腺产量和品质的重要指标(McBride *et al.* 2004;Phillips *et al.* 2009)。性腺是海胆的可食部分,性腺湿重和性腺指数是评价海胆产量的准确标准,同时性腺指数在海胆的繁育中具有重要的指示作用(常亚青等 2004)。关于海胆性腺生长和

品质的研究几乎都涉及颜色的测量(McBride *et al.* 2004;Phillips *et al.* 2009;Pearcea *et al.* 2004;James 2006a,b;Dumont *et al.* 2006;Pearce *et al.* 2002;James *et al.* 2008),因为性腺颜色在海胆性腺品质的评价标准中(外观、气味、口感、味道、质地、回味)最直接(Phillips *et al.* 2009),是影响海胆性腺市场价格的主要因素之一(Shpigel *et al.* 2005)。性腺水分是影响性腺品质的因素之一,McBride 等(2004)在研究 *Strongylocentrotus franciscanus* 的性腺品质影响因素时指出,高性腺含水量可能会降低秋季性腺的弹性和口感。因此,对这4个性状进行测量和研究既符合市场的需求,又是养殖生产和育种研究所需要的。性腺品质受到性别(Phillips *et al.* 2009)、饵料(Phillips *et al.* 2009;Shpigel *et al.* 2005;Pearcea *et al.* 2004;James 2006a,b;Dumont *et al.* 2006;Shpigel *et al.* 2006;Symonds *et al.* 2009)、规格(Pearcea *et al.* 2004)、栖息地(Agatsuma *et al.* 2005)、季节(McBride *et al.* 2004)、年龄(Agatsuma *et al.* 2005)等众多因素影响,通过改善这些因素都可以提高性腺品质,而要使优良品质固定并能稳定遗传,则需要选择育种等遗传改良方法。

在对海胆品质的选育中,确定性腺性状与表型性状之间的相互关系对制定科学合理的选育计划十分重要。本文对性腺性状和表型性状进行的相关分析表明,性腺颜色中的亮度值 L^* 、性腺指数、性腺湿重、性腺水分均与各表型性状呈极显著正相关($P < 0.01$)。这表明这个季节表型性状高的个体成熟度较好,性腺较重、亮度高,但水分含量也较高。在繁殖前期,海胆摄食主要用于性腺的生长(常亚青等 2004),高的性腺指数和性腺湿重应该这是由于在人工投饵(同种饵料)情况下,大个体抢食能力强,营养条件优于小个体所致。而性腺水分与表型性状的极显著正相关可能由性腺体积的间接作用造成,即由于大个体的性腺发育较快,体积膨胀迅速,性腺组织间的空隙较多,造成水分含量高。 L^* 与各表型性状呈极显著相关,而 a^* 、 b^* 分别仅与壳径、活体重显著相关,这从营养条件等方面似乎难以解释,而可能由于性腺颜色与表型性状基因间具有连锁或一因多效造成。当然,在同样养殖环境下,造成表型值差异的最初原因主要是由于遗传值的不同,因此,通过对表型性状的选择可以使大部分性腺性状得到提高。需要注意的是:(1)性腺水分与表型性状的正相关表示表型性状可能会影响性腺的部分品质(弹性和口感);(2)性腺指数与 b^* 呈极显著负相关,这表明,性腺指数会对性腺黄色值产生不利影响,这或许可以解释为什么海胆生殖季节前性腺颜色好于生殖季节;(3)性腺水分与 a^* (不显著)、 b^* (极显著)呈负相关,这比较容易理解,即水分含量多会使性腺颜色变淡;(4) L^* 与 a^* 、 b^* 呈极显著负相关,这表示在对性腺颜色进行选育时,仅提高一个色值并不能从总体上改良性腺颜色。

由于表型性状与性腺指数、性腺颜色、性腺水分的相关系数较小,通径分析所得相关指数 R^2 很小,这说明表型性状并不是影响性腺指数、性腺颜色、性腺水分的主要因素。虽然表型性状与性腺湿重通径分析结果 $R^2 < 0.85$,但是从数值上(0.743)来看影响性腺湿重的部分因素(壳高、活体重)已找到,它们通径系数的相对大小也表示了对性腺湿重的相对影响程度,即活体重对性腺湿重的直接影响大于壳高,壳径对性腺湿重基本无显著直接影响,这可能是由于性腺发育后期,其膨胀方向主要是反口面,而不是赤道部,较高的体腔有利于性腺的生长。当然,其他因素例如性腺水分可能会对性腺湿重产生重要影响,但我们的目的是探讨易量的表型性状对难量性状的影响程度,剖析其他因素例如性腺水分的影响意义不大。

由于性腺性状难以活体测量,虾夷马粪海胆性腺性状的遗传参数尚未见报道,而对性腺性状的选择也无合适的标准。本研究明确了表型性状和性腺性状间的相关关系,以及表型性状对性腺性状的直接影响。在对虾夷马粪海胆的性腺进行选育时,利用性腺性状与易测量的表型性状间的相关,通过提高或降低合适的选择指标,能达到改良性腺品质的目的,另外,活体重和壳高可以作为间接选择性腺湿重的主要指标。为了使分析结果更好地应用,指导养殖生产和选育研究,作者利用曲线回归得到了对活体重和性腺湿重的最优预测模型分别为: $BW = 0.001TD^{2.822}$ ($R^2 = 0.984$), $GW = 0.039BW^{1.331}$ ($R^2 = 0.753$)。图1和图2给出的两个散点图是两个模型的直观表示,本文所得的模型和散点图可简便地应用于养殖生产和选育研究中。

参 考 文 献

- 刘小林, 吴长功, 张志怀, 黄皓, 李斌, 张愚夫, 孙成波, 相建海. 2004. 凡纳对虾形态性状对活体重的影响效果分析. 生态学报, 24(4): 857~862
- 刘小林, 常亚青, 相建海, 宋坚, 丁君. 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673~678
- 刘小林, 常亚青, 相建海, 宋坚, 曹学彬. 2003. 虾夷马粪海胆早期生长发育的遗传力估计. 中国水产科学, 10(3): 206~211
- 常亚青, 丁君, 宋坚, 杨威. 2004. 海参海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社
- 常亚青, 张存善, 曹学彬, 杨小刚, 李云峰. 2008. 1龄虾夷扇贝形态性状对重量性状的影响效果分析. 大连水产学院学报, 23(5): 330~334
- Anderson, W. W., and Lindner, M. J. 1958. Length-weight relation in the common or white shrimp, *Penaeus setiferus*. US Dept. Int. Fish Wild Serv., Special Sci. Rp. 256: 1~13
- Agatsuma, Y., Sato, M., and Taniguchi, K. 2005. Factors causing brown-colored gonads of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in northern Honshu, Japan. Aquaculture, 249: 449~458
- Deng, Y. W., Du, X. D., Wang, Q. H., Fu, S., and Huang, R. L. 2008. Correlation and path analysis for growth traits in F₁ population of pearl oyster *Pinctada martensii*. Marine Science Bulletin, 10(2): 68~73
- Dumont, C., Pearce, C. M., Stazicker, C., An, Y. X., and Keddy, L. 2006. Can photoperiod manipulation affect gonad development of a boreo-arctic echinoid (*Strongylocentrotus droebachiensis*) following exposure in the wild after the autumnal equinox? Marine Biology, 149: 365~378
- Farmer, A. S. D. 1986. Morphometric relationships of commercially important species of penaeid shrimp from the Arabian Gulf. Kuwait Bull. Mar. Sci. 7: 1~21
- James, P. J. 2006a. The effects of wave and feeding disturbance on roe enhancement of the sea urchin *Evechinus chloroticus* held in sea-cages. Aquaculture, 252: 361~371
- James, P. J. 2006b. A comparison of roe enhancement of the sea urchin *Evechinus chloroticus* in sea-based and land-based cages. Aquaculture, 253: 290~300
- James, P. J., and Heath, P. L. 2008. The effects of season, temperature and photoperiod on the gonad development of *Evechinus chloroticus*. Aquaculture, 285: 67~77
- Liu, X. L., Chang, Y. Q., Xiang, J. X., and Cao, X. B. 2005. Estimates of genetic parameters for growth traits of the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. Aquaculture, 243: 27~32
- McBride, S. C., Price, R. J., Tom, P. D., Lawrence, J. M., and Lawrence, A. L. 2004. Comparison of gonad quality factors: color, hardness and resilience, of *Strongylocentrotus franciscanus* between sea urchins fed prepared feed or algal diets and sea urchins harvested from the Northern California fishery. Aquaculture, 233: 405~422
- Pearce, C. M., Daggett, T. L., and Robinson, S. M. C. 2002. Effect of binder type and concentration on prepared feed stability and gonad yield and quality of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. Aquaculture, 205: 301~323
- Pearce, C. M., Daggett, T. L., and Robinson, S. M. C. 2004. Effect of urchin size and diet on gonad yield and quality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). Aquaculture, 233: 337~367
- Phillips, K., Bremer, P., Silcock, P., Hamid, N., Delahunty, C., Barker, M., and Kissick, J. 2009. Effect of gender, diet and storage time on the physical properties and sensory quality of sea urchin (*Evechinus chloroticus*) gonads. Aquaculture, 288: 205~215
- Rodríguez, D. J. D., Angulo-Sánchez, J. L., and Rodríguez-García, R. 2001. Correlation and path coefficient analyses of the agronomic trait of a native population of guayule plants. Industrial Crops and Products, 14: 93~103
- Shpigel, M., McBride, S. C., Marciano, S., Ron, S., and Ben-Amotz, A. 2005. Improving gonad color and somatic index in the European sea urchin *Paracentrotus lividus*. Aquaculture, 245: 101~109
- Shpigel, M., Schlosser, S. C., Ben-Amotz, A., Lawrence, A. L., and Lawrence, J. M. 2006. Effects of dietary carotenoid on the gut and the gonad of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. Aquaculture, 261: 1 269~1 280
- Symonds, R. C., Kelly, M. S., Suckling, C. C., and Young, A. J. 2009. Carotenoids in the gonad and gut of the edible sea urchin *Psammechinus miliaris*. Aquaculture, 288: 120~125
- Thomas, M. M. 1975. Age and growth, length-weight relationship and relative condition factor of *Penaeus semisulcatus* De Haan. Ind. J. Fish. 22: 133~142
- Yucel, C. 2004. Correlation and path coefficient analyses of seed yield components in the Narbon Bean (*Vicia narbonensis* L.). Turk. J. Agric. For. 28: 371~376