

### 3 种饵料模式对中间球海胆生长、 性腺产量和性腺品质的影响

周海森, 常亚青\*, 罗世滨, 田晓飞, 张伟杰, 赵 冲

(大连海洋大学农业部北方海水增养殖重点实验室, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 研究了 3 种饵料模式对中间球海胆整个生长周期的生长速度及商品规格性腺产量和品质的影响。选取 6 月龄中间球海胆, 以 3 种饵料模式海带( $E_1$ )、海带 + 贻贝( $E_2$ )、玉米 + 贻贝( $E_3$ ) 养殖至商品规格, 期间每隔 2 个月对海胆的壳径和体质量进行测量, 实验结束时, 对海胆的性腺湿重、性腺水分和性腺颜色等进行测量和分析。结果显示: 在海胆的各生长阶段, 饵料模式对其壳径和体质量均具有极显著影响, 3 种模式下海胆的壳径和体质量均为  $E_2 > E_1 > E_3$ 。饵料模式对海胆大部分生长阶段壳径和体质量的特定生长率具有极显著影响, 3 种模式下海胆壳径和体质量的特定生长率均为  $E_2 \geq E_1 > E_3$ 。饵料模式对商品规格海胆性腺产量和性腺品质具有显著或极显著影响, 对于性腺湿重,  $E_2$  模式[雌性:  $(7.58 \pm 1.21)$  g, 雄性:  $(7.74 \pm 1.95)$  g] 表现最优, 其次是  $E_1$  模式[雌性:  $(4.50 \pm 1.20)$  g, 雄性:  $(4.87 \pm 1.02)$  g], 最后为  $E_3$  模式[雌性:  $(2.66 \pm 1.02)$  g, 雄性:  $(2.32 \pm 0.75)$  g]; 对于性腺指数,  $E_2$  模式(雌性:  $15.07\% \pm 1.84\%$ , 雄性:  $15.83\% \pm 3.01\%$ ) 表现最优, 其次为  $E_1$  模式(雌性:  $10.49\% \pm 2.71\%$ , 雄性:  $11.27\% \pm 2.45\%$ ) 和  $E_3$  模式(雌性:  $12.48\% \pm 4.33\%$ , 雄性:  $12.78\% \pm 3.73\%$ ); 对于性腺水分和性腺颜色,  $E_2$  和  $E_1$  模式表现最优,  $E_3$  模式表现较差。饵料模式对不同性别海胆的影响差别较小。实验结果表明, 单一投喂海带, 中间球海胆即可获得较好的壳生长, 而添加动物性蛋白可以明显的提高其体质量和性腺产量, 海带 + 贻贝这一模式可应用于提高海胆养殖效率, 而玉米对促进海胆的体生长和性腺产量和品质均无有益效果, 即使添加动物性蛋白, 玉米 + 贻贝这一模式也很难替代海带有效地养殖中间球海胆。

**关键词:** 中间球海胆; 饵料模式; 性腺产量; 性腺品质

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

中间球海胆 (*Strongylocentrotus intermedius*) 又称虾夷马粪海胆, 其性腺色泽好、味道鲜美, 深受消费者欢迎, 是海胆经济种类中价值最高的一种<sup>[1-2]</sup>。我国 1989 年从日本引进该种并开展人工养殖, 目前, 中间球海胆已成为我国海胆养殖的主要品种之一。人工养殖研究和实践证明, 1 cm 以上规格的海胆采用新鲜褐藻如海带 (*Laminaria japonica*) 和裙带菜 (*Undaria pinnatifida*) 做饵料能获得很好的体生长速度<sup>[3]</sup>。由于操作简便, 单一投喂大型褐藻这一饵料模式在中间球海胆和其

他海胆种类的养殖中一直沿用。

饵料模式是影响海胆生长、性腺产量和性腺品质<sup>[4-7]</sup>的主要因素之一。在中间球海胆养殖实践中发现, 单一投喂褐藻这一模式虽然能获得较好的体生长速度, 但并不能获得很好的性腺产量。Azad 等<sup>[8]</sup> 研究比较了一种配合饲料和 3 种海藻对海胆的投喂效果, 结果表明单一的投喂海藻这一模式在提高性腺产量方面远不及配合饲料。同样, Phillips 等<sup>[5]</sup> 研究结果表明, 相对于投喂海藻, 配合饲料可以极显著地提高海胆

的性腺指数。海胆性腺产量的提升可能依赖于饵料中的蛋白含量和种类。Lawrence 等<sup>[9]</sup>、Senaratna 等<sup>[10]</sup>研究表明,添加动物性蛋白的配合饲料能够很好地提高海胆的生长速度和性腺产量缺乏动物性蛋白,单独投喂海藻将难以获得很好的性腺产量。然而,对于性腺品质来说,鲜有研究表明配合饲料能达到单独投喂海藻的效果<sup>[6,11]</sup>。在海胆养殖研究中,少有人对海藻+动物性蛋白这一饵料模式进行研究,仅见苏延明等<sup>[12]</sup>在海带中添加紫贻贝肉对中间球海胆进行促熟,并取得了很好的效果。海藻+动物性蛋白这一饵料模式对海胆生长、性腺产量和品质的影响尚未见报道。

单独投喂新鲜褐藻这一模式存在着另一个问题,即饵料成本高,饵料获取受藻类分布和生长周期限制,且饵料利用率极低,这在很大程度上制约了海胆养殖业的发展。孔泳滔等<sup>[13]</sup>利用腌渍海带代替新鲜海带投喂中间球海胆,获得了较好的生长速度和性腺品质,此饵料模式虽使海胆养殖不受新鲜藻类供应影响,但并未降低饵料成本。因此,寻找价格低廉、产量大、易存储的饵料是海胆养殖替代饵料的研究方向。玉米作为主要粮食产物在我国极易获得,其本身除含有碳水化合物、脂肪、蛋白质、胡萝卜素外,还含有维生素、核黄素等营养物质<sup>[14]</sup>,玉米及其加工产物已经应用到水产饲料生产中<sup>[15]</sup>。Basuyaux 等<sup>[16]</sup>研究了玉米作为藻类替代饵料单独投喂对海胆(*Paracentrotus lividus*)的影响,结果表明玉米在不影响海胆生长的情况下还可以显著的提高食物转化率。玉米是否可以替代褐藻作为中间球海胆的饵料,并获得理想的生长速度和性腺品质尚待研究。

实验设计了新鲜褐藻(海带)、新鲜褐藻中添加动物性蛋白(海带+紫贻贝)、玉米中添加动物性蛋白(玉米+紫贻贝)3种饵料模式,分别代表传统模式、优化模式和替代模式,通过对中间球海胆整个生长周期的生长速度及商品规格的性腺产量和品质进行测定,试图开发中间球海胆的最优饵料模式,探讨海胆替代饵料的可行性,以期在海胆的养殖生产提供借鉴。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验所用中间球海胆为本实验室人工繁育群

体。2011年5月4日,从6月龄中间球海胆群体中随机选择幼海胆585枚。所取海胆的体质量为 $(1.46 \pm 0.99)$  g。

### 1.2 实验设计

实验设置3种不同的饵料模式: $E_1$ :海带(*Laminaria japonica*)、 $E_2$ :海带+紫贻贝(煮熟的紫贻贝(*Mytilus edulis*)肉)、 $E_3$ :玉米(*Zea mays*) (干玉米粒)+紫贻贝(煮熟的紫贻贝肉)。将选出来的海胆随机分布于上述3种饵料模式下,每种饵料模式设13个实验单元(养殖笼:18 cm × 18 cm × 60 cm),每一实验单元内含15枚海胆,即每种饵料模式使用195枚海胆。将全部39个实验单元置于同一水槽(1 m<sup>3</sup>)内,实验开始前对海胆饥饿暂养一周,实验开始后测量所有海胆的初始体质量。实验期间保证各模式下饵料足量以确保自由采食,每隔3天全量换水一次,强充气。实验时间为2011年5月10日至2012年6月10日,共13个月。

### 1.3 数据测量

实验开始后,每隔2个月测量全部海胆的壳径、体质量,在实验结束时,除测量壳径和体质量外,解剖所有实验海胆,判定性别,测量性腺湿重、性腺水分、性腺颜色[亮度值( $L^*$ )、红度值( $a^*$ )、黄度值( $b^*$ )],测量按照张伟杰等<sup>[17]</sup>的方法进行,并计算壳径和体质量的特定生长率、个体颜色与标准色的总色差。计算方法如下:

特定生长率(SGR)计算公式:

$$SGR(\%) = \ln(X_f/X_i)/T \times 100$$

$X_f$ 为性状(壳径和体质量)每一阶段的终止值, $X_i$ 为性状每一阶段的初始值, $T$ 为该阶段时长(d)。

色差计算以亮橙黄色( $L^* = 68.9, a^* = 28.7, b^* = 60.4$ )和亮黄色( $L^* = 74.6, a^* = 28.7, b^* = 66.1$ )<sup>[18]</sup>为标准,计算个体性腺颜色与标准颜色的总色差,计算公式采用CIEDE2000标准<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据分析

用Excel 2007对数据进行初步整理。利用SPSS 13.0软件,以饵料模式为影响因素,对各测量和计算性状进行单因素方差分析,采用Duncan法对不同饵料模式间的差异进行多重比较。分析显著性水平设置为 $P < 0.05$ ,极显著水平设置为 $P < 0.01$ 。

## 2 结果

### 2.1 饵料模式对中间球海胆体生长的影响

3种饵料模式下中间球海胆壳径和体质量的生长趋势见图1和图2。方差分析表明,实验初始,各饵料模式下海胆的体质量无显著差异( $P > 0.05$ ),而在测量的各生长阶段,饵料模式对海胆的壳径及体质量均有极显著影响( $P < 0.01$ )。Duncan多重比较结果显示, $E_2$ 模式下海胆的壳径和体质量在8月龄时与 $E_1$ 模式下无显著差异( $P > 0.05$ ),而从10月龄至18月龄均显著优于 $E_1$ 模式( $P < 0.05$ ),至19月龄实验结束, $E_2$ 模式下海胆的体质量显著高于 $E_1$ 模式( $P < 0.05$ ),壳径与 $E_1$ 模式无显著差异( $P > 0.05$ ); $E_3$ 模式下海胆的壳径和体质量从8月龄至实验结束均极显著低于 $E_1$ 模式( $P < 0.01$ ),8月龄壳径( $P < 0.05$ )除外。

表1列出3种饵料模式下中间球海胆壳径和体质量的生长速度。方差分析表明,饵料模式对海胆大部分生长阶段的壳径(8~19月龄)和体质量(6~8月龄和10~19月龄)的特定生长率具有极显著影响( $P < 0.01$ )。多重比较结果显示,16月龄前各生长阶段, $E_2$ 模式下海胆壳径的生长速度总体略优于 $E_1$ 模式,除8~10月龄呈现显著差异外( $P < 0.05$ ),其余均无显著差异( $P > 0.05$ );16~19月龄期间, $E_1$ 模式下壳径的生长速度优于 $E_2$ 模式,但二者间无显著差异( $P > 0.05$ )。 $E_2$ 模式下海胆体质量的生长速度在6~8月龄和14~16月龄阶段显著优于 $E_1$ 模式( $P < 0.05$ ),其余月龄二者均无显著差异( $P > 0.05$ ),但在18~19月龄期间, $E_1$ 模式显著优于 $E_2$ 模式( $P < 0.05$ )。整个实验期间, $E_3$ 模式的生长速度均劣于其余2种模式,且绝大多数生长阶段都达

到极显著差异水平( $P < 0.01$ )。

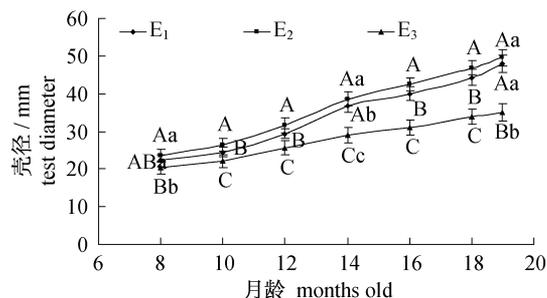


图1 3种饵料模式下不同月龄海胆的平均壳径  
不同字母代表具有显著差异,小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ );没有字母或相同字母表示无显著差异,下同。

Fig.1 The average test diameter of different months old sea urchins on three feeding models

Different letters represent significant difference, small letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ) and the capital letters indicate the significant difference ( $P < 0.01$ ); No letter or the same letter mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), the following notes are the same.

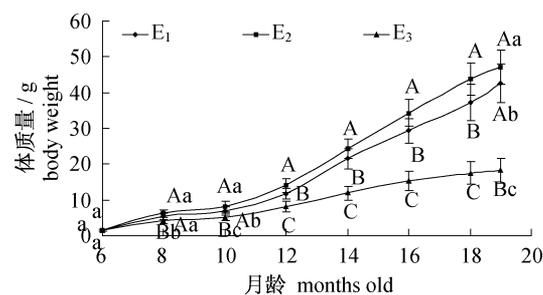


图2 3种饵料模式下不同月龄海胆的平均体质量  
Fig.2 The average live body weight of different months old sea urchins on three feeding models

表1 3种饵料模式下不同月龄海胆壳径和体质量的特定生长率  
Tab.1 The SGRs of test diameter and live body weight of different months old sea urchins on three feeding models %

性状 traits	饵料模式 feeding models	月龄 months old						
		6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~19
壳径特定生长率 SGR of the test diameter	$E_1$		1.91 ± 0.65 <sup>ABb</sup>	2.58 ± 0.24 <sup>Aa</sup>	3.33 ± 0.17 <sup>Aa</sup>	1.88 ± 0.29 <sup>ABa</sup>	2.35 ± 0.35 <sup>Aa</sup>	4.49 ± 1.01 <sup>Aa</sup>
	$E_2$		1.58 ± 0.59 <sup>Aa</sup>	2.70 ± 0.32 <sup>Aa</sup>	3.20 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	2.25 ± 0.37 <sup>Aa</sup>	2.29 ± 0.22 <sup>Aa</sup>	3.67 ± 1.38 <sup>Aa</sup>
	$E_3$		0.68 ± 0.80 <sup>Bb</sup>	2.03 ± 0.31 <sup>Bb</sup>	1.96 ± 0.44 <sup>Bb</sup>	1.10 ± 0.66 <sup>Bb</sup>	1.62 ± 0.56 <sup>Bb</sup>	1.19 ± 1.53 <sup>Bb</sup>
体质量特定生长率 SGR of live body weight	$E_1$	2.15 ± 0.23 <sup>Ab</sup>	0.41 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.15 <sup>Aa</sup>	3.78 ± 0.29 <sup>Aa</sup>	3.39 ± 0.30 <sup>Ab</sup>	3.36 ± 0.36 <sup>Aa</sup>	5.88 ± 0.83 <sup>Aa</sup>
	$E_2$	2.38 ± 0.24 <sup>Aa</sup>	0.44 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	3.88 ± 0.19 <sup>Aa</sup>	3.81 ± 0.29 <sup>Aa</sup>	3.68 ± 0.26 <sup>Aa</sup>	4.72 ± 1.24 <sup>Ab</sup>
	$E_3$	1.74 ± 0.16 <sup>Bc</sup>	0.38 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.12 <sup>Bb</sup>	2.17 ± 0.33 <sup>Bb</sup>	1.84 ± 0.81 <sup>Bc</sup>	1.57 ± 0.74 <sup>Bb</sup>	0.56 ± 1.55 <sup>Bc</sup>

## 2.2 饵料模式对中间球海胆性腺产量和品质的影响

不同饵料模式下中间球海胆性腺性状表现见表2。方差分析表明,饵料模式对商品规格海胆性腺产量和品质具有显著( $P < 0.05$ )或极显著( $P < 0.01$ )影响,且对多数性状的影响在性别间表现一致,仅在性腺指数和色差上存在一定差异。 $E_2$ 模式下海胆的性腺湿重极显著高于 $E_1$ 模式( $P < 0.01$ ),而 $E_3$ 模式极显著低于前两者( $P < 0.01$ );3种饵料模式间雌雄海胆的性腺指数均为 $E_1$ 模式极显著低于 $E_2$ 模式( $P < 0.01$ ),与 $E_3$ 模式没有显著差异( $P > 0.05$ ), $E_2$ 模式下雄性海胆的性腺指数显著高于 $E_3$ 模式( $P < 0.05$ ); $E_2$ 模式下海胆的性腺水分与 $E_1$ 模式差异不显著( $P > 0.05$ ), $E_3$ 模式显著高于前两者( $P > 0.05$ );3种

模式下海胆性腺的 $L^*$ 无显著差异( $P > 0.05$ ), $E_2$ 模式下海胆性腺的 $a^*$ 和 $b^*$ 与 $E_1$ 模式差异不显著( $P > 0.05$ ), $E_3$ 模式极显著低于前两者( $P < 0.01$ ); $E_1$ 模式下海胆性腺颜色与标准颜色的两个色差均为最小,而 $E_3$ 模式下均为最大,二者间的差异在性别间保持一致, $E_2$ 模式下的雄性海胆表现出较好的性腺颜色,亮黄色差和亮橙黄色差均与 $E_1$ 模式下无显著差异( $P > 0.05$ )而极显著低于 $E_3$ 模式( $P < 0.01$ ),而雌性海胆表现一般,两个色差均显著高于 $E_1$ 模式( $P < 0.05$ ),显著低于 $E_3$ 模式(亮橙黄色差, $P < 0.05$ )或与后者无显著差异(亮黄色差, $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同饵料模式对中间球海胆生长的影响

实验结果显示,饵料模式对中间球海胆各生长阶段壳径和体质量的表现、生长速度几乎均有极显著影响( $P < 0.01$ ),这证实了饵料是海胆体生长的重要因素<sup>[8]</sup>。自然环境中,海胆的肠道中不仅含大型藻类,还发现了水生动植物的活体及尸体、沉于海底或混在泥沙中的有机碎屑<sup>[1]</sup>,因此,单一投喂海藻似乎并不能达到这一杂食性动物的生长需求,实验证实了这一点。通过向单一海带模式中添加动物性蛋白紫贻贝,发现海带+紫贻贝模式下海胆各生长阶段的壳径和体质量表现均优于海带模式,且多数阶段都达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),这与Hoshikawa等<sup>[20]</sup>的研究观点一致,即在海胆饵料中添加动物性蛋白能够显著提升海胆的表型。然而,实验结果还表明,动物性蛋白对壳径及体质量的促生长作用较弱;海带模式下海胆壳径各阶段的特定生长率与海带+紫贻贝模式均无显著差异( $P < 0.05$ ),体质量的特定生长率仅在6~8月龄和14~16月龄2个阶段显著低于海带+紫贻贝模式( $P < 0.05$ )。Eddy等<sup>[21]</sup>研究了不同含量的蛋白源人工饲料对海胆生长的影响,认为相对于海带,含量适合的蛋白源配合饲料可以更好的促进海胆的壳径的增长。本实验结果则不同,可能是由于,海带+紫贻贝模式下海胆是自由采食,其摄取食物中蛋白含量变化较大和不同季节海带中蛋白含量不同。Kennedy等<sup>[22]</sup>研究认为海带较动物性蛋白更能促进壳性状的提高,与本研究结果相同。18~19月龄阶段,海胆的壳径和体质量均出现了与此前不一致

表2 3种饵料模式下海胆的性腺性状  
Tab.2 The gonad traits of sea urchins on three feeding models

性状 traits	饵料模式 feeding models	雌性	雄性
		female mean $\pm$ SD	male mean $\pm$ SD
性腺湿重/g gonad wet weight	$E_1$	4.50 $\pm$ 1.20 <sup>Bb</sup>	4.87 $\pm$ 1.02 <sup>Bb</sup>
	$E_2$	7.58 $\pm$ 1.21 <sup>Aa</sup>	7.74 $\pm$ 1.95 <sup>Aa</sup>
	$E_3$	2.66 $\pm$ 1.02 <sup>Cc</sup>	2.32 $\pm$ 0.75 <sup>Cc</sup>
性腺指数/% gonad index	$E_1$	10.49 $\pm$ 2.71 <sup>Bb</sup>	11.27 $\pm$ 2.45 <sup>Bb</sup>
	$E_2$	15.07 $\pm$ 1.84 <sup>Aa</sup>	15.83 $\pm$ 3.01 <sup>Aa</sup>
	$E_3$	12.48 $\pm$ 4.33 <sup>ABab</sup>	12.78 $\pm$ 3.73 <sup>ABb</sup>
性腺水分/% gonad moisture	$E_1$	76.75 $\pm$ 4.44 <sup>b</sup>	76.64 $\pm$ 1.71 <sup>Bb</sup>
	$E_2$	76.01 $\pm$ 1.29 <sup>b</sup>	77.28 $\pm$ 1.67 <sup>Bb</sup>
	$E_3$	79.42 $\pm$ 1.96 <sup>a</sup>	81.74 $\pm$ 1.65 <sup>Aa</sup>
亮度值 $L^*$ (dark-light)	$E_1$	62.57 $\pm$ 4.71 <sup>a</sup>	69.96 $\pm$ 4.80 <sup>a</sup>
	$E_2$	60.65 $\pm$ 6.77 <sup>a</sup>	71.44 $\pm$ 3.88 <sup>a</sup>
	$E_3$	65.74 $\pm$ 3.51 <sup>a</sup>	68.44 $\pm$ 2.73 <sup>a</sup>
红度值 $a^*$ (green-red)	$E_1$	31.60 $\pm$ 2.61 <sup>Aa</sup>	28.07 $\pm$ 1.86 <sup>Aa</sup>
	$E_2$	32.78 $\pm$ 3.07 <sup>Aa</sup>	27.69 $\pm$ 3.92 <sup>Aa</sup>
	$E_3$	18.66 $\pm$ 1.51 <sup>Bb</sup>	15.90 $\pm$ 1.82 <sup>Bb</sup>
黄度值 $b^*$ (blue-yellow)	$E_1$	58.87 $\pm$ 6.54 <sup>Aa</sup>	39.10 $\pm$ 8.58 <sup>Aa</sup>
	$E_2$	55.67 $\pm$ 8.48 <sup>Aa</sup>	36.48 $\pm$ 5.45 <sup>Aa</sup>
	$E_3$	25.94 $\pm$ 2.93 <sup>Bb</sup>	19.75 $\pm$ 4.56 <sup>Bb</sup>
亮黄色差 light yellow	$E_1$	11.88 $\pm$ 3.27 <sup>Bb</sup>	13.66 $\pm$ 2.58 <sup>Bb</sup>
	$E_2$	14.66 $\pm$ 3.54 <sup>ABa</sup>	13.16 $\pm$ 2.99 <sup>Bb</sup>
	$E_3$	16.43 $\pm$ 1.90 <sup>Aa</sup>	18.52 $\pm$ 2.47 <sup>Aa</sup>
亮橙黄色差 light orange-yellow	$E_1$	8.80 $\pm$ 2.55 <sup>Bc</sup>	12.91 $\pm$ 3.34 <sup>Bb</sup>
	$E_2$	11.50 $\pm$ 3.43 <sup>Bb</sup>	12.94 $\pm$ 3.28 <sup>Bb</sup>
	$E_3$	15.12 $\pm$ 1.83 <sup>Aa</sup>	17.85 $\pm$ 2.75 <sup>Aa</sup>

的生长趋势:海带模式下海胆的壳径快速生长,达到与海带+紫贻贝模式无显著差异水平( $P > 0.05$ ),同时海带模式下海胆体质量的特定增长率则显著高于海带+紫贻贝模式( $P < 0.05$ )。原因可能是此期海胆处于性成熟期,原用于促进体生长方面的能量将有很大一部分转用于产生配子和准备繁殖<sup>[23-24]</sup>,海带+紫贻贝模式下由于动物性蛋白的促熟作用使海胆转往生殖方向的能量高于海带模式,从而使该模式下海胆体生长速度低于后者。实验结果表明,单一投喂海带即能使海胆获得较好的壳生长,添加动物性蛋白(紫贻贝)不能显著加快海胆的壳生长,但能使海胆的体质量增加。

实验研究显示,玉米+紫贻贝模式下海胆各生长阶段壳径和体质量的表现、生长速度都极显著( $P < 0.01$ )低于海带和海带+紫贻贝模式,通过比较玉米+紫贻贝模式和海带+紫贻贝模式可得出结论:玉米在促进海胆生长方面的作用远不及海带。Basuyaux等<sup>[16]</sup>在对拟球海胆(*P. lividus*)的研究中得出了相反的结论,他们认为,单独投喂玉米与投喂海带无显著差异( $P > 0.05$ ),均能使其较好的生长。Le Gall<sup>[25]</sup>和Frantzis等<sup>[26]</sup>的研究还指出,投喂混有红藻(*Rissoella verruculosa*)的饵料可以使拟球海胆获得最优的生长。而中间球海胆则喜食大型褐藻,如海带、裙带菜等,并且添加动物性蛋白可以促进其生长<sup>[23]</sup>。本实验结果表明,玉米(及其加工产物)虽然已经广泛应用到水产饲料生产中,并可以部分或全部替代鱼粉<sup>[15]</sup>,但是并不能替代海带使中间球海胆快速生长,而玉米+紫贻贝这一替代饵料模式不适用于中间球海胆。

### 3.2 不同饵料模式对中间球海胆性腺产量和品质的影响

性腺是海胆主要的食用部分,其产量和品质(主要是性腺颜色和性腺水分)是影响海胆市场价格的关键因素<sup>[27-28]</sup>。实验研究显示,饵料模式对中间球海胆商品规格时的性腺湿重、性腺指数、性腺水分、 $a^*$ 、 $b^*$ 、亮黄色差和亮橙黄色差几乎均具有显著( $P < 0.05$ )或极显著( $P < 0.01$ )影响,这证实了饵料确实会影响海胆的性腺品质<sup>[3,5,8-10]</sup>。实验结果表明,海带+紫贻贝模式下海胆的性腺湿重和性腺指数均极显著高于海带模式( $P < 0.01$ ),这一结果与Pearce等<sup>[11]</sup>和

Kennedy等<sup>[22]</sup>研究结果一致,说明动物性蛋白主要促进性腺产量的提高。海带+紫贻贝模式下雄性海胆的性腺水分与性腺颜色( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、亮黄色差和亮橙黄色差)与海带模式无显著差异( $P > 0.05$ ),雌性海胆只有亮黄色差和亮橙黄色的色差显著劣于海带模式( $P < 0.05$ ),而Phillips等<sup>[5]</sup>、Lawrence等<sup>[9]</sup>和Senaratna等<sup>[10]</sup>的研究都表明添加动物性蛋白的饲料会降低海胆的性腺品质,本研究结果与他们的不一致,原因可能是实验中的海带+紫贻贝模式是在海带的基础上添加动物性蛋白,在此模式下海胆自由选择采食海带或紫贻贝,而在饲料中添加固定含量的动物性蛋白后海胆无法自主选择采食导致,而雌性海胆性腺颜色2个色差较劣可能是由于海胆处于繁殖期,个别海胆的排卵行为影响。本实验结果表明,实验表明,相对于现有的饵料优化模式(在饲料中添加不同来源和含量的动物性蛋白),海带+紫贻贝模式具有可以让海胆自主选择采食对象种类和采食量的特点,能够促进海胆性腺生长,并且总体上不会降低海胆的性腺品质。

实验显示,玉米+紫贻贝模式的性腺湿重极显著的( $P < 0.01$ )低于其余两种模式,分析原因同样也应该是海胆的食性所致。但是此模式下海胆获得了较高的性腺指数,雌性海胆与其余两种模式没有显著差异( $P > 0.05$ ),雄性海胆显著( $P < 0.05$ )低于海带+贻贝模式,但与海带模式没有显著差异( $P > 0.05$ ),这应该是由紫贻贝对性腺的促生长和促熟作用<sup>[12]</sup>导致。此模式下海胆的性腺水分与性腺颜色( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、亮黄色差和亮橙黄色差)几乎均具显著( $P < 0.05$ )或极显著( $P < 0.01$ )的劣于海带和海带+紫贻贝模式。关于玉米(及其加工产物)在水产动物中应用的报道很多,大多均集中在对生长性状、原料表观消化率、饲料适口性、饲料氨基酸平衡以及对水环境影响等方面的研究<sup>[15]</sup>,而对品质方面的研究鲜有报道。本实验结果表明,玉米+紫贻贝模式可以保证海胆的性腺发育,但主要是由于其中动物性蛋白的作用,而玉米对中间球海胆生长和性腺发育几乎没有作用,并且会降低海胆的性腺品质(实验已经证实海胆在自主采食条件下动物性蛋白不会影响其性腺品质,因此推测主要影响因素是玉米),这也为今后玉米(及其加工产物)在饲料中的研究提供了参考。

## 参考文献:

- [1] 常亚青,丁君,宋坚,等. 海参、海胆生物学研究与养殖[M]. 北京:海洋出版社,2004.
- [2] 王子臣,常亚青. 经济类海胆增养殖研究进展及前景[J]. 海洋科学,1997(6):20-22.
- [3] 常亚青,王子臣,王国江. 温度和藻类饵料对虾夷马粪海胆摄食及生长的影响[J]. 水产学报,1999,23(1):69-76.
- [4] Pearce C M, Daggett T L, Robinson S M C. Effect of binder type and concentration on prepared feed stability and gonad yield and quality of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* [J]. Aquaculture, 2002, 205(3-4):301-323.
- [5] Phillips K, Hamid N, Silcock P, et al. Effect of manufactured diets on the yield, biochemical composition and sensory quality of *Evechinus chloroticus* sea urchin gonads [J]. Aquaculture, 2010, 308(1-2):49-59.
- [6] Pearce C M, Daggett T L, Robinson S M C. Effect of urchin size and diet on gonad yield and quality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) [J]. Aquaculture, 2004, 233(1-4):337-367.
- [7] Chang Y Q, Lawrence J M, Cao X B, et al. Food consumption, absorption, assimilation and growth of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* fed a prepared feed and the alga *Laminaria japonica* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(1):68-75.
- [8] Azad A K, Pearce C M, McKinley R S. Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonad yield, and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) [J]. Aquaculture, 2011, 317(1-4):187-196.
- [9] Lawrence J M, Chang Y Q, Cao X B, et al. Potential for production of uni by *Strongylocentrotus intermedius* using dry formulated feeds [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2011, 42(2):253-260.
- [10] Senaratna M, Evans L H, Southam L, et al. Effect of different feed formulations on feed efficiency, gonad yield and gonad quality in the purple sea urchin *Heliocidaris erythrogramma* [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(3):199-207.
- [11] Pearce C M, Daggett T L, Robinson S M C. Effect of protein source ratio and protein concentration in prepared diets on gonad yield and quality of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* [J]. Aquaculture, 2002, 214(1-4):307-332.
- [12] 苏延明,项福建,宋坚,等. 虾夷马粪海胆反季节繁育技术的研究[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(2):136-140.
- [13] 孔泳滔,王琦,程振明,等. 盐渍裙带菜替代鲜海带投喂虾夷马粪海胆的试验[J]. 水产养殖, 2001(1):7-8.
- [14] 周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3):404-410.
- [15] 华雪铭,王军,韩斌,等. 玉米蛋白粉在水产饲料中应用的研究进展[J]. 水产学报, 2011, 35(4):627-635.
- [16] Basuyaux O, Blin J L. Use of maize as a food source for sea urchins in a recirculating rearing system [J]. Aquaculture International, 1998, 6(3):233-247.
- [17] 张伟杰,常亚青,赵冲,等. 虾夷马粪海胆表型性状对性腺性状的影响效果分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(3):49-55.
- [18] 常亚青,张伟杰,丁君,等. 虾夷马粪海胆不同家系和性别间性腺性状的比较[J]. 水产学报, 2010, 34(7):1080-1088.
- [19] Sharma G, Wu W C, Dalal E N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations [J]. Color Research & Application, 2005, 30(1):21-30.
- [20] Hoshikawa H, Takahashi K, Sugimoto T, et al. The effects of fish meat feeding on the gonad quality of cultivated sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz) [J]. Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Experimental Station, 1998, (52):17-24.
- [21] Eddy S D, Brown N P, Kling A L, et al. Growth of juvenile green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis*, fed formulated feeds with varying protein levels compared with a macroalgal diet and a commercial abalone feed [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2012, 43(2):159-173.
- [22] Kennedy E J, Robinson S M. C, Parsons G J et al. Effect of protein source and concentration on somatic growth of juvenile green sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(3):320-336.
- [23] Lyons D A, Scheibling R E. Differences in somatic and gonadic growth of sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) fed kelp (*Laminaria longicruris*) or the invasive alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* are related to energy acquisition [J]. Marine Biology, 2007, 152(2):

- 285 – 295.
- [24] Roncarati A, Sirri F, Felici A, *et al.* Effects of dietary supplementation with krill meal on pigmentation and quality of flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Italian Journal of Animal Science, 2011, 10(2).
- [25] Le Gall P. Sea-urchin culture [M]. Paris: Technique Et Documentation-Lavoisier, 1989.
- [26] Frantzis A, Gr'emale A. Ingestion, absorption, and growth-rates of *Paracentrotus-lividus* (Echinodermata, Echinoidea) fed different macrophytes [J]. Marine Ecology Progress Series, 1992, 95(1 – 2): 169 – 183.
- [27] Shpigel M, McBride S C, Marciano S, *et al.* Improving gonad color and somatic index in the European sea urchin *Paracentrotus lividus* [J]. Aquaculture, 2005, 245(1 – 4): 101 – 109.
- [28] McBride S C, Price R J, Tom P D, *et al.* 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 [J]. Aquaculture, 2004, 233(1 – 4): 405 – 422.

## Effects of three feeding models on growth, gonad yield and gonad quality of the sea urchin (*Strongylocentrotus intermedius*)

ZHOU Haisen, CHANG Yaqing\*, LUO Shibin, TIAN Xiaofei, ZHANG Weijie, ZHAO Chong

(Key Laboratory of Mariculture & Stock Enhancement in North China's Sea, Ministry of Agriculture,  
Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Effects of three feeding models on growth rates throughout the whole growth cycle, gonad yield and gonad quality at harvest of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* were studied. Six-month-old sea urchins were selected and fed on three diets kelp ( $E_1$ ), kelp + mussel ( $E_2$ ), maize + mussel ( $E_3$ ) to harvest. The test diameter and live body weight of sea urchins were measured every two months. The gonad weight, gonad moisture content and gonad color were measured at the end of the experiment. Results showed that: the feeding model significantly affected ( $P < 0.01$ ) the test diameter and live body weight of the sea urchin during its growth stage. The test diameter and live body weight performed as:  $E_2 > E_1 > E_3$  among feeding models. The feeding model significantly affected most specific growth rates (SGRs) of the test diameter and live body weight ( $P < 0.01$ ), which ranked as:  $E_2 \geq E_1 > E_3$ . The feeding model significantly affected the gonad yield and gonad quality at harvest ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ).  $E_2$  [female:  $(7.58 \pm 1.21)$  g, male:  $(7.74 \pm 1.95)$  g] was the optimal model for the gonad wet weight, followed by  $E_1$  [female:  $(4.50 \pm 1.20)$  g, male:  $(4.87 \pm 1.02)$  g].  $E_3$  [female:  $(2.66 \pm 1.02)$  g, male:  $(2.32 \pm 0.75)$  g] was the worst model.  $E_2$  (female:  $15.07\% \pm 1.84\%$ , male:  $15.83\% \pm 3.01\%$ ) was the optimal model for the gonad index, followed by  $E_1$  (female:  $11.54\% \pm 4.94\%$ , male:  $11.84\% \pm 3.70\%$ ) and  $E_3$  (female:  $12.48\% \pm 4.33\%$ , male:  $12.78\% \pm 3.73\%$ ).  $E_2$  and  $E_1$  were the optimal models for the gonad moisture content and gonad color, while  $E_3$  was the weakest. Effects of the feeding model on male or female sea urchins were similar. The result suggested that, *S. intermedius* can grow good test diameter by feeding kelp only. Animal protein can significantly improve the growth rate and gonadal production of *S. intermedius*. Kelp + mussel model can be applied to improve the culture efficiency of the sea urchin. Maize had no beneficial effect on the promotion of the growth, gonad yield and quality of the sea urchin. Even if animal protein was added, maize + mussel can hardly be an alternative feeding model in aquaculture of *S. intermedius*.

**Key words:** *Strongylocentrotus intermedius*; feeding model; gonad yield; gonad quality

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