

穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)饲喂对刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参生长、体成分及消化酶的影响*

何舟 宋坚^① 常亚青 程龙 宁军号 庞云龙 马里

(农业部北方海水增殖重点实验室 大连海洋大学 大连 116023)

摘要 为了探究穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)替代鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)饲喂刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参的效果,探讨了穗花狐尾藻添加量依次为0(对照)、15%(A1)、30%(A2)、45%(A3)和60%(A4)的5种饲料对刺参幼参[(1.66±0.61)g]生长、体成分和消化酶活性的影响。结果显示,A4组刺参的增重率(GR)显著高于其他4个组($P<0.05$),刺参成活率最高,达到了97.78%;A4组刺参的粗蛋白含量最高(50.92%),显著高于A0、A1和A2组($P<0.05$);A3组刺参的淀粉酶活力最高(0.83 U/g prot),显著高于A0、A1与A2组($P<0.05$);A4组刺参的蛋白酶活力最高(1.62 U/g prot),显著高于其他4个组($P<0.05$)。结果显示,穗花狐尾藻能够促进刺参生长。因此在刺参饲料中添加穗花狐尾藻,以替代资源日益匮乏的鼠尾藻是经济可行的。

关键词 穗花狐尾藻;刺参;生长;体成分;消化酶

中图分类号 S968 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2015)04-0122-06

刺参又名仿刺参(*Apostichopus japonicus*),具有很高的营养和药用价值,其经济价值可称之为“参”中之冠(廖玉麟,1997;王际英等,2014;常亚青等,2004,2009)。刺参是温带海洋中最常见的无脊椎动物之一,广泛分布于中国、俄罗斯、日本和韩国等西北太平洋沿岸,海参很早就被开发为重要的渔业资源(Okorie *et al.*, 2008)。

穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.),在分类学上属于小二仙草科(Haloragaceae)、狐尾藻属(*Myriophyllum*),广泛分布于欧亚大陆沿岸(于延球,2008)。穗花狐尾藻是一种在中国有广泛分布的沉水草本植物。由于其具有生长迅速、再生和适应能力强等特点,在各种水体环境中均能生长良好,因此被广泛应用于各种富营养化水体的修复(钟爱文等,2013;焦立新等,2010)。

作为刺参苗种饲料的鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)等大型藻类因自然资源不断减少,价格逐渐上涨,饲料

开始成为限制刺参养殖产业发展的重要因素。因此,寻求充足廉价的替代品已成为当务之急(郭娜等,2011;袁成玉,2005;王吉桥等,2010)。有研究者采用浒苔(*Enteromorpha prolifera*)、海带(*Laminaria japonica*) (郭娜等,2011;朱建新等,2007)和陆生植物(王吉桥等,2010;樊月居等,2010)等进行了替代性研究,但将穗花狐尾藻作为饲料应用于刺参养殖的研究尚未见报道。本研究探讨了饲料中添加穗花狐尾藻以替代鼠尾藻,并对刺参幼参生长、体成分以及消化酶活性的影响,确定了刺参的生长具有促进作用的穗花狐尾藻的适宜添加比例,为刺参营养学和生产海参专用配合饲料提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

实验用刺参购自辽宁省大连市某养殖场。刺参

* 辽宁省农业攻关计划重大项目(2011203003)资助。何舟, E-mail: dlou2013@163.com

① 通讯作者: 宋坚, 副研究员, E-mail: dlmel@163.com

收稿日期: 2014-07-04, 收修改稿日期: 2014-08-14

的初始体重为(1.66±0.61) g。试验前,用弗苯尼考溶液消毒,于1 t水槽中驯化暂养14 d。待刺参摄食、排泄等规律后,挑选450头规格整齐、体质健壮个体进行实验。

实验用基础饲料鲜穗花狐尾藻采自江苏自然水域,经自然干燥后,100目粉碎加工。经测定,穗花狐尾藻中含有的营养成分为:粗蛋白(Crude protein) 13.82%,粗脂肪(Crude lipid) 1.77%,粗灰分(Crude ash) 18.74%。海泥粉和鼠尾藻粉购自大连海洋大学海珍苗种培育基地。测得鼠尾藻的营养成分为粗蛋白 17.99%、粗脂肪 3.07%、粗灰分 19.34%。

1.2 试验设计和饲养管理

试验于2013年11月–2014年1月在大连海洋大学农业部北方海水增殖重点实验室进行。采用单因子随机化完全区组设计,设5个处理组。每组设3个平行重复,每个水槽(50.5 cm×40 cm×38 cm)中饲养30头刺参。试验前将各基础原料成分过100目筛,充分混合后配制成5种不同比例的饲料。饲料成分配比及主要营养成分见表1。

实验用海水经过砂滤器过滤,盐度为30左右,pH为8.0左右,水温保持在18℃左右。实验期间持续曝气,每天更换1/3的新鲜海水,保持溶解氧在6.0 mg/L以上。每天16:00投喂,投喂的干饲料量为刺参体重的8%左右,视刺参的摄食、体增重及水温变化等情况及时调整,稍过量投喂。养殖试验持续75 d。

1.3 刺参增重率与存活率的测定

开始与结束时,对各组刺参计数。试验开始前及试验中每15 d测定各水槽刺参体重。测定刺参体重前停喂24 h,将幼参取出,用干滤纸或干毛巾快速吸体表水分至微干,用电子分析天平(感量0.01 g)称重(Dong *et al.*, 2006)。在整个实验过程中,刺参生长指

标的测定均由同一固定实验人员完成,减小实验误差。按以下公式计算各试验组刺参的增重率(*GR*)和存活率(*SR*):

$$GR = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

式中, N_0 为实验开始时头数, N_t 为实验结束时刺参头数, W_0 为刺参初始体重(g), W_t 为刺参最终体重(g)。

1.4 粗酶液的制备及样品粗成分的测定

试验结束时,从各试验组随机选取15–20头刺参。将刺参置于冰盘中,用剪刀沿腹部剪开,用镊子将与消化道相连的呼吸树和肠系膜上的脂肪组织小心去除,并用pH为7.2的磷酸盐缓冲溶液冲洗消化道内含物,获得完整的消化道。将肠表面的水分用滤纸吸干后称重,置于玻璃匀浆器中,加入0–4℃预冷的pH为7.5的磷酸缓冲液(肠道组织10倍重量),于冰浴下充分匀浆(研磨10–15 min)。将匀浆液置于高速冷冻离心机中,在4℃下以7000 r/min离心30 min,所得上清液即为粗酶液,置于–80℃下保存。该提取液必须在24 h内进行测定分析(周玮等, 2010; 白燕等, 2012)。

去除肠道及其他组织后,用液氮迅速将体壁冷冻,置于–80℃冰箱中保存待测。饲料营养成分和刺参体成分的测定采用AOAC(1995)的方法。分别用凯氏定氮法、索氏抽提法和马福炉高温灼烧法测定粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量(国标GB 9695.7-88)。将刺参体壁样品置于烘箱中,于105℃条件下烘干24 h以测定水分含量(国标GB 9695.15-88)(桂远明, 2004)。

1.5 刺参消化酶活性和蛋白质浓度的测定

分别采用淀粉-碘显色法、福林-酚法和3,5-二

表1 不同处理组的饲料配方及营养成分
Tab.1 Dietary composition and general nutritional ingredients of different treatments (%)

原料 Ingredients	组别 Groups					
	A0	A1	A2	A3	A4	
饲料配方 Dietary composition	海泥 Sea mud	40	40	40	40	40
	鼠尾藻粉 <i>S. thunbergii</i> powder	60	45	30	15	0
	穗花狐尾藻粉 <i>M. spicatum</i> powder	0	15	30	45	60
营养成分 General nutritional ingredients	粗蛋白 Crude protein	11.97	11.35	10.76	10.13	9.54
	粗脂肪 Crude lipid	2.95	2.75	2.56	2.36	2.17
	粗灰分 Crude ash	47.22	47.13	47.04	46.95	46.86

注: 饲料的粗蛋白、粗脂肪和灰分含量均基于饲料的干重所得

Note: Contents of protein, lipid and ash were shown with their percentage in dry diet

硝基水杨酸法测定刺参肠道的淀粉酶、蛋白酶和纤维素酶的活性(王吉桥等, 2007)。每种酶重复测定3次, 取其平均值。具体测定方法参考白燕等(2012)。

刺参肠道粗酶液中的蛋白浓度采用南京建成生物技术公司生产的考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒进行测定。其原理、测定方法及酶活力单位定义均参照试剂盒说明书。各个酶活力以比活力表示, 其单位为 U/g prot, 表示所用的粗酶液中每毫克酶蛋白所含的活力单位数。

1.6 数据处理与分析

对所测得的数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示。分别用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对所得数据进行初步数据处理、图表制作和进一步统计分析。所有数据进行单因子方差分析(One-way ANOVA)后, 并进行 Duncan 组间多重比较。如果 $P < 0.05$, 则认为统计学上差异性显著。

2 结果与分析

2.1 不同饲料对刺参生长的影响

摄食不同饲料对刺参 GR 和 SR 的影响见表 2。

表 2 不同饲料对刺参增重率(GR)和成活率(SR)的影响

Tab.2 The growth rate (GR) and survival rate (SR) of *A. japonicus* fed with different diets

生长性能 Growth performance	组别 Groups				
	A0	A1	A2	A3	A4
初始体重 W_0 (g)	1.70±0.18	1.67±0.05	1.65±0.07	1.72±0.13	1.69±0.12
15 d 体重 W_{15} (g)	1.94±0.18	1.83±0.10	1.79±0.07	2.01±0.09	2.01±0.18
30 d 体重 W_{30} (g)	2.53±0.18 ^{ab}	2.27±0.09 ^b	2.27±0.21 ^b	2.47±0.18 ^{ab}	2.66±0.25 ^a
45 d 体重 W_{45} (g)	2.97±0.13 ^b	2.95±0.08 ^b	2.93±0.13 ^b	3.23±0.16 ^{ab}	3.49±0.24 ^a
60 d 体重 W_{60} (g)	3.61±0.23 ^a	3.69±0.04 ^a	3.74±0.16 ^{ac}	4.41±0.24 ^{bc}	4.47±0.30 ^b
终末体重 W_t (g)	4.08±0.22 ^d	4.18±0.04 ^{cd}	4.47±0.18 ^c	5.16±0.25 ^b	5.64±0.25 ^a
增重率 GR(%)	140.83±21.63 ^d	150.61±9.53 ^{cd}	171.61±16.95 ^c	200.55±8.61 ^b	235.02±8.95 ^a
成活率 SR(%)	94.44	95.56	93.33	95.56	97.78

注: 同一行上方参数有一个字母相同则表示无显著差异($P > 0.05$)。反之, 则有显著差异($P < 0.05$)

Note: The same letters in the same line indicate no statistically significant differences ($P > 0.05$). The different letters indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)

表 3 不同饲料对刺参体成分的影响

Tab.3 The body composition of *A. japonicus* fed with different diets(%)

体成分 Body composition	组别 Groups				
	A0	A1	A2	A3	A4
粗蛋白 Crude protein	45.79±1.21 ^b	46.72±0.28 ^b	47.09±0.84 ^b	49.02±0.12 ^a	50.92±0.28 ^a
粗脂肪 Crude lipid	6.87±1.00 ^b	7.12±0.03 ^b	6.86±0.27 ^b	8.45±0.73 ^a	8.68±0.37 ^a
粗灰分 Crude ash	29.86±1.60	29.40±1.22	28.95±0.61	30.17±1.00	31.21±0.98
水分 Moisture	89.54±0.45	89.78±0.33	90.06±0.27	89.93±0.21	90.32±0.19

注: 同一行中标有不同字母的数据表示处理组差异显著($P < 0.05$)

Note: Different letters in the same line indicate statistically significant difference ($P < 0.05$)

各处理组中刺参的初始湿重无显著差异($P > 0.05$)。在整个实验过程中, 各处理组刺参表现出了不同的生长状况。实验开始的前 15 d, A3 与 A4 组刺参的体重增加较快, 但各组间差异不显著($P > 0.05$)。实验结束时, A4 组刺参的体重显著高于其他 4 个组($P < 0.05$)。经过 75 d 的试验, 刺参的 GR 因穗花狐尾藻替代水平的不同而有显著差异($P < 0.05$)。各组刺参幼参的 GR 呈现出了随着替代水平的提高而逐渐增大的趋势。实验结束时, A4 组刺参的 GR 值显著高于其他 4 个组($P < 0.05$); A3 组刺参次之。在成活率方面, A4 组刺参最高, 达到了 97.78%。

2.2 不同饲料对刺参体成分的影响

刺参体壁中粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量是以刺参干重为基础测定的。实验结束时, 饲料中添加不同水平的穗花狐尾藻对粗蛋白和粗脂肪含量有显著影响($P < 0.05$)。从表 3 可以看出, A4 组刺参的粗蛋白和粗脂肪含量分别达到了 50.92%和 8.68%, 都显著高于 A0、A1 与 A2 组($P < 0.05$); A3 组次之, 其值也分别显著高于 A0、A1 与 A2 组($P < 0.05$)。但摄食穗花狐尾藻对刺参的粗灰分和水分含量没有显著影响($P > 0.05$)。

2.3 不同饲料对刺参消化酶的影响

经过 75 d 投喂含不同水平穗花狐尾藻的饲料, 各处理组幼参的 3 种肠道消化酶活性统计情况如表 4 所示。实验结束时, 不同水平的穗花狐尾藻饲料对刺参淀粉酶、蛋白酶活性影响显著($P < 0.05$)。其中,

A3 组刺参测得的淀粉酶活性最高(0.83 U/mg prot), 显著高于 A0、A1 与 A2 组($P < 0.05$)。5 个处理组刺参的蛋白酶活性与穗花狐尾藻的添加比例呈现正比例关系。其中, A4 组刺参的蛋白酶活力最高(1.62 U/mg prot), 显著高于其他处理组($P < 0.05$)。

表 4 不同饲料对刺参消化酶活性的影响
Tab.4 The enzyme activities of *A. japonicus* fed with different diets(U/mg prot)

消化酶 Digestive enzymes	组别 Groups				
	A0	A1	A2	A3	A4
淀粉酶 Amylase	0.67±0.04 ^b	0.66±0.03 ^b	0.73±0.04 ^b	0.83±0.04 ^a	0.82±0.05 ^a
蛋白酶 Protease	1.12±0.04 ^d	1.20±0.04 ^d	1.32±0.05 ^c	1.49±0.05 ^b	1.62±0.05 ^a
纤维素酶 Cellulase	0.66±0.04	0.65±0.04	0.69±0.02	0.70±0.03	0.68±0.03

注: 同一行中标有不同字母的数据表示数值间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different letters in the same line indicate statistically significant difference ($P < 0.05$)

摄食不同水平的穗花狐尾藻饲料刺参的纤维素酶活性呈现出一定差异性, 但不同饲料对其活性不具有显著性影响($P > 0.05$)。其中, A3 组刺参的纤维素酶活性最高, 其值达到了 0.70 U/mg prot, 与 A1 组相比接近显著。

3 讨论

3.1 不同饲料对刺参生长的影响

刺参的生长与水温、水质、pH、盐度和光照等因素有着密切联系, 在保证这些条件基本一致的情况下, 刺参的生长主要受到饲料营养成分和饲料适口性的影响, 因此, 刺参食用饲料将直接影响到刺参育苗与养殖生产的成败。朱伟等(2005)研究表明, 实验刺参的最佳蛋白质和脂肪需要量分别为 18.21%–24.18%和 5%。Sun 等(2004)报道饲料中蛋白含量在 21.49%时刺参生长较好。与前者研究结果相比, 本研究中饲料蛋白含量有些偏低。但是, 一些海洋食草动物对营养含量越低的饲料摄食的频率越大(Perry *et al*, 1997)。摄食模式显示, 采食者会通过优化其摄入的能量或限制某些过度营养化的营养素, 以便保证自身的健康生长(Perry *et al*, 1997)。因此, 虽然穗花狐尾藻的蛋白质含量不高, 但由于其适口性较好, 刺参的摄食量较大。这与 Liu 等(2009)的研究结果相同, 认为当混合饲料中海藻的比例降低时, 刺参的摄食率增长显著。

3.2 不同饲料对刺参体成分的影响

研究结果显示, 刺参体壁蛋白质含量与饲料中穗花狐尾藻的添加量成正比例关系。蛋白质的消化吸收与适宜的纤维素含量有关, 纤维物质可以刺激动物的

胃肠蠕动, 促进消化酶的分泌, 进而提高动物对蛋白质的吸收效率, 但过高的纤维素含量对饲料中蛋白质的消化和吸收还有一定的阻碍作用, 会加快蛋白质在消化道中的排空速度, 缩短蛋白质在肠道中被消化吸收的作用时间和机率(胡喜峰等, 2005)。本研究结果显示, 穗花狐尾藻的适口性较好, 其蛋白质易吸收, 可能与穗花狐尾藻纤维素含量较为适宜有关, 不仅能刺激消化酶的产生, 促进对各种营养物质的消化和吸收, 同时蛋白质的排空速度也较为适宜, 提高了蛋白质的沉积率。

3.3 不同饲料对刺参消化酶的影响

研究发现, 在所测的 3 种肠道消化酶活性中, 蛋白酶的活性明显高于淀粉酶和纤维素酶, 淀粉酶次之。研究表明, 在所测得消化酶中蛋白酶和淀粉酶是刺参肠道的主要消化酶, 这与王吉桥等(2007)的研究结果相一致。

Hassett 等(1990)研究认为, 动物可以通过调节自身的酶活性以提高从周围环境中获取营养成分的能力。本研究中, 刺参的蛋白酶活力水平较其他酶高, 说明刺参对蛋白质有较高的需求量, 因此其对蛋白质的消化能力也较强。另外, 研究结果显示, 鼠尾藻的蛋白质含量高于穗花狐尾藻, 饲料蛋白质含量为 A0>A1>A2>A3>A4, 而刺参肠道蛋白酶的活性与饲料蛋白质含量呈相反趋势。首先, 刺参蛋白酶活性的升高说明其摄入的蛋白质含量在逐渐增加, 即刺参逐渐提高了摄食率(Jones *et al*, 1997; 杨代勤等, 2003)。因为动物的消化酶对不同的饲料具有一定的适应性(Gangadhara *et al*, 1997)。饲料中某种营养成分的改

变会引起消化该成分的消化酶的变化,以便能够更好地消化所摄取的食物(Sabat *et al*, 2005)。虽然鼠尾藻的蛋白质含量高于穗花狐尾藻,但如 3.2 中所分析的,由于穗花狐尾藻的适口性更好,且纤维素含量较为适宜,其蛋白质被吸收及被利用率更高一些,导致刺参体内蛋白酶活性及体成分中蛋白质的含量随着穗花狐尾藻含量的增加而呈递增趋势。因此,刺参的食性与肠道消化酶的种类及活力是密切相关的(王吉桥等, 2007)。

本研究中,刺参消化道中的纤维素酶活性较低,而幼参在自然环境中的食物组成中大部分是藻类的碎屑,其纤维素含量相对较高。但是,刺参的肠道菌群环境为其生存所必需(Dybas *et al*, 2002)。在刺参的消化管中存在着大量的以弧菌属细菌和假单胞菌属细菌为主的不同菌群,而刺参肠道中微生物主要来源于所吞食的泥沙中。由此推想,刺参消化道中的纤维素酶可能不是自身分泌的,而是消化管中的微生物产生的,这与王吉桥等(2007)的研究结果相同。所以,将海泥粉作为重要的饲料原料之一,在刺参的实际生产中是必不可少的。因此,在养殖水体中加入生态制剂或在海参饲料中添加有益微生物(付鑫等, 2011),或将植物性饲料经发酵等(朱建新等, 2009; 姜燕等, 2012)处理后再使用,便可很好地被刺参所吸收利用,从而提高饲料的饲料系数,促进刺参的生长。

4 结 语

对于试验刺参来说,添加 60%的穗花狐尾藻粉,即完全替代鼠尾藻时,养殖水体水质清澈,刺参的消化酶活性高,提高了刺参的生长率。添加比例低于 60%,刺参的 GR 会降低。同时添加 60%左右穗花狐尾藻后,刺参体成分中的粗蛋白含量明显增加,表明适当比例的藻粉(60%左右)能够显著促进刺参的生长。相比资源锐减的鼠尾藻,穗花狐尾藻在中国具有分布广泛、生长迅速、再生能力强等特点,因此,在刺参规模化养殖中以穗花狐尾藻替代自然资源日益匮乏的鼠尾藻是经济可行的。本研究为刺参营养学和生产刺参专用的配合饲料提供了参考。

参 考 文 献

于延球. 江苏沿海地区原色种子植物志: 裸子植物和双子叶植物离瓣花类. 北京: 科学出版社, 2008, 287-288
王吉桥, 于红艳, 姜玉声, 等. 饲料中用陆生植物淀粉替代鼠尾藻粉对仿刺参幼参生长和消化的影响. 大连海洋大学学报, 2010, 25(6): 535-541

王吉桥, 唐黎, 许重, 等. 仿刺参消化道的组织学及其 4 种消化酶活力的周年变化. 水产科学, 2007, 26(9): 481-484
王际英, 宋志东, 李培玉, 等. 饲料添加半乳甘露寡糖对刺参幼参生长、体壁营养组成及免疫力的影响. 中国水产科学, 2014, 21(2): 310-319
白燕, 王维新. 刺参肠道蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶与纤维素酶活性的测定方法. 饲料工业, 2012, 33(20): 28-32
付鑫, 吴垠, 苏显屹, 等. 添加微生态制剂及投饲模式对幼刺参生长的影响. 水产科学, 2011, 30(12): 739-743
朱伟, 麦康森, 张百刚, 等. 刺参稚参对蛋白质和脂肪需求量的初步研究. 海洋科学, 2005, 29(3): 54-58
朱建新, 曲克明, 李健, 等. 不同处理方法对浒苔饲喂稚幼刺参效果的影响. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 108-112
朱建新, 刘慧, 冷凯良, 等. 几种常用饲料对稚幼参生长影响的初步研究. 海洋水产研究, 2007, 28(5): 48-53
杨代勤, 严安生, 陈芳, 等. 不同饲料对黄鳝消化酶活性的影响. 水产学报, 2003, 27(6): 558-563
周玮, 田甲申, 黄俊鹏, 等. 不同生长阶段仿刺参肠道内含物及消化酶活性的变化. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 460-464
钟爱文, 曹特, 张萌, 等. 光照和黑暗条件下苦草(*Vallisneria natans*)和穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)对铵态氮的吸收. 湖泊科学, 2013, 25(2): 289-294
胡喜峰, 王成章, 张春梅, 等. 不同水平苜蓿草粉对团头鲂生长性能及肉品质的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(11): 49-56
姜燕, 王印庚, 薛太山, 等. 刺参池塘养殖系统中发酵饲料的制作与投喂. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 66-71
袁成玉. 海参饲料研究的现状与发展方向. 水产科学, 2005, 24(12): 54-56
桂远明. 水产动物机能学实验. 北京: 中国农业出版社, 2004, 113-120
郭娜, 董双林, 刘慧. 几种饲料原料对刺参幼参生长和体成分的影响. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 122-128
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
常亚青, 于金海, 马悦欣. 刺参健康增殖实用新技术. 北京: 海洋出版社, 2009, 1: 87
焦立新, 王圣瑞, 金相灿. 外源 NH_4^+ 对穗花狐尾藻根系形态和养分吸收的影响. 生态学报, 2010, 30(7): 1817-1824
樊月居, 李晓东, 罗智, 等. 饲料中用豆粕替代鱼粉对仿刺参幼参生长、体成分及消化酶活性的影响. 大连水产学院学报, 2010, 25(1): 71-75
廖玉麟. 中国动物志·棘皮动物门·海参纲. 北京: 科学出版社, 1997, 50
Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of official analytical chemists international, 16th Edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA, 1995
Dong YW, Dong SL, Tian XL, *et al*. Effects of diet temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus*

- japonicus* Selenka. Aquacult, 2006, 255(1-4): 514-521
- Dybas L, Fankboner PV. Holothurian survival strategies: Mechanisms for the maintenance of a bacteriostatic environment in the coelomic cavity of the sea cucumber. Aquacult Res, 2002(33): 112-116
- Gangadhara B, Nandeesh MC, Varghese TJ, *et al.* Effect of varying protein and lipid levels on the growth of Rohu, *Labeo rohita*. Asian Fish Sci, 1997, 10(2): 139-147
- Jones DA, Kumlu M, Vay LLE, *et al.* The digestive physiology of herbivorous, omnivorous and carnivorous crustacean larvae: a review. Aquacult, 1997, 155(1): 285-295
- Liu Y, Dong S, Tian X, *et al.* Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). Aquacult, 2009, 286(3-4): 266-270
- Okorie OE, Ko SH, Go S, *et al.* Preliminary study of the optimum dietary ascorbic acid level in sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka). J World Aquacult Soc, 2008, 39(6): 758-765
- Perry G, Pianka ER. Animal foraging: past, present and future. Trends Ecol & Evol, 1997, 12(9): 360-364
- Sabat P, Riveros JM, López-Pinto C. Phenotypic flexibility in the intestinal enzymes of the African clawed frog *Xenopus laevis*. Comp Biochem Physiol, 2005, 140(1): 135-139
- Sun HL, Liang MQ, Yan JP, *et al.* Nutrient requirements and growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. In: Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. FAO, Rome, 2004, 327-331

(编辑 冯小花)

Effects of Adding *Myriophyllum spicatum* L. Meal in Diets on the Growth, Body Composition and Digestive Enzymes Activities of Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)

HE Zhou, SONG Jian^①, CHANG Yaqing, CHENG Long, NING Junhao, PANG Yunlong, MA Li

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

Abstract To investigate whether *Myriophyllum spicatum* can substitute *Sargassum thunbergii* in sea cucumber culture industry, five diets containing 0(A0), 15%(A1), 30%(A2), 45%(A3) and 60% (A4) *Myriophyllum spicatum* meal were formulated to identify the effect of substituting *M. spicatum* L. in growth performance, body composition and digestive enzymes activities. The results showed that the growth rate (GR) of sea cucumbers in group A4 was significantly higher than other groups, and that sea cucumbers in group A4 showed the best survival rate (SR) (97.78%). Significantly higher crude protein content was observed in group A4 (50.92%) compared with other groups ($P<0.05$). The amylase activity of group A3 (0.83 U/g prot) was significantly higher than other groups ($P<0.05$). The protease activity in group A4 (1.62 U/g prot) was significantly higher than all other groups ($P<0.05$). The results of this study provide strong evidence to replace *S. thunbergii* with *M. spicatum* L. in the sea cucumber culture industry.

Key words *Myriophyllum spicatum* L.; *Apostichopus japonicus*; Growth; Body composition; Digestive enzymes

① Corresponding author: SONG Jian, E-mail: dlmel@163.com