

几种饲料原料对刺参幼参生长和体成分的影响

郭 娜¹ 董双林¹ 刘 慧^{2*}

(¹中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

(²中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 研究了不同饲料原料对刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka) 幼参生长和体成分的影响。实验采用鱼粉、鼠尾藻 *Sargassum thunbergii* Kuntze、浒苔 *Enteromorpha prolifera*、海带 *Laminaria japonica* 和海泥 5 种主要原料配制的饲料投喂体长为 4.18 ± 0.23 cm、体重为 5.99 ± 0.26 g 的刺参幼参, 进行了为期 80d 的养殖实验。实验结束时, 投喂鼠尾藻饲料、浒苔饲料和动物性饲料的刺参特定生长率 (SGR) 分别为 $95.36\%/d$ 、 $92.29\%/d$ 和 $84.87\%/d$ 。这三者之间无显著差异, 但生长效果要好于投喂海带饲料和海泥饲料的刺参。实验结果表明, 在特定的室内养殖条件下, 虽然刺参能够更好地利用植物性蛋白, 但是可以将动物性蛋白作为刺参的辅助性饲料成分, 配制出营养更全面的配合饲料; 浒苔作为刺参幼参的养殖饲料原料是完全可行的; 海带粗加工产品不适于用做刺参饲料的主要成分。

关键词 刺参 饲料 浒苔 生长 体成分

中图分类号 S963.71 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)01-0122-07

Effects of several diets on the growth and body composition of *Apostichopus japonicus*

GUO Na¹ DONG Shuang-lin¹ LIU Hui^{2*}

(¹Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003)

(²Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT This study was conducted to determine the effects of several diets on the growth and body composition of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *A. japonicus* at 4.18 ± 0.23 cm of body length and 5.99 ± 0.26 g of body weight were fed with different diets, including animal-based (fish meal) diet, *Sargassum thunbergii* Kuntze, *Enteromorpha prolifera*, *Laminaria japonica*, and sea mud-based diet for 80d. Sea cucumbers were maintained in glass aquaria and fed with the five different diets. The special growth rate of sea cucumbers fed with diets of *S. thunbergii*, *E. prolifera*, and fishmeal were $95.36\%/d^{-1}$, $92.29\%/d^{-1}$ and $84.87\%/d^{-1}$, respectively, which were not significantly different but higher than those fed with diets of *L. japonica* or sea mud. It was found that, although the animal's utilization of plant protein was high-

欧盟第七框架计划项目 (PIRSSES-GA-2008-230803)、山东省 2010 年科学技术发展计划项目 (2010GHY10510) 和山东省自然科学基金项目 (Y2008D04) 共同资助

* 通讯作者。E-mail: liuhui@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85844718

收稿日期: 2010-10-09; 接受日期: 2010-12-14

作者简介: 郭 娜 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品营养研究。E-mail: master-0102@163.com, Tel: (0532)85844718

er, it is practically feasible to formulate more wholesome feed by using animal-based protein as the diet ingredient; *E. prolifera* is an alternative food source for juvenile sea cucumbers; Ground dried *L. japonica* should not be used as the major ingredient of sea cucumber diets.

KEY WORDS *Apostichopus japonica* Diet *Enteromorpha prolifera* Growth
Body composition

刺参 *Apostichopus japonicus* Selenka 属于棘皮动物门 Echinodermata、海参纲 Holothuroidea, 是我国特有品种, 为海产八珍之首, 具有很高的营养与药用价值(隋锡林等 1990)。现在由于刺参养殖的过速发展和不规范运作, 加之相关研究、基础设施、养殖工艺和方式的滞后, 出现了诸多问题。其中, 刺参饲料的质量直接影响刺参育苗与养殖生产的成败。由于对刺参营养需求缺乏研究, 现有的刺参饲料要么取自天然海藻, 要么由养殖户采用海泥等自行配制。在目前鼠尾藻 *Sargassum thunbergii* 原料紧缺、刺参饲料市场比较混乱的情况下, 饲料开始成为限制刺参苗种与养殖产业发展的重要因素(袁成玉等 2005)。特别是在刺参的稚幼参培育阶段, 因为天然饵料产量不足、人工饲料配比不当以及刺参营养与饲料的研究缺乏系统性, 在一定程度上制约了刺参饲料产业的发展。因此, 了解不同发育时期刺参的营养需求, 开发刺参养殖专用营养配合饲料是目前刺参养殖业中亟待解决的问题。

目前, 从刺参育苗及养殖的生产模式看, 幼参阶段以人工配合饲料为主, 大型海藻磨碎液为辅。人工配合饲料在培育幼参阶段的使用已得到大多数生产厂家的认可, 但问题也不少, 如配方混杂、使用效果不稳定、原料质量良莠不齐及营养成分不均衡等。大型海藻磨碎液的种类有鼠尾藻、马尾藻 *Sargassum* 和大叶藻 *Thallus laminariae* 等, 实践证明, 以鼠尾藻投喂效果最好。但是由于新鲜鼠尾藻等刺参常用天然饵料价格昂贵, 且受采收时间限制而不易获得, 因此寻找新型海藻种类作为刺参的天然饵料来替代鼠尾藻也成为急需解决的问题。例如, 现在不少生产单位采用川蔓藻 *Ruppia* L.、石莼 *Ulva lactuca* L. 等替代鼠尾藻, 其效果尚可(袁成玉等 2005)。

关于不同饲料处理对动物生长及体成分的影响在鱼类方面已开展了一系列的研究(石英等 2009), 但针对刺参的相关研究不多。本实验比较研究了几种饲料原料对刺参幼参生长和体成分的影响, 确定了对其生长有较好促进作用的新型饲料原料品种, 以期对刺参营养与饲料的相关研究、全价配合饲料的研制提供参考, 也为进一步探究刺参的消化生理学和消化系统发育学提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验刺参的来源及规格

实验用刺参幼参购自山东青岛市胶南忠海水产有限公司, 随机选取大小均匀、健康无病的个体, 用于实验。刺参规格大约为 6g/头。

1.2 实验用饲料

选用鱼粉、鼠尾藻粉、海带粉、海泥、浒苔为主要原料。鱼粉来自山东即墨鳌山卫黄海水产研究所饲料厂, 为进口白鱼粉; 鼠尾藻粉和海带粉来自山东青岛田横刺参养殖场; 海泥来自山东青岛胶南刺参养殖场, 粉碎后过 100 目筛; 浒苔来自于浙江宁波, 粉碎后过 100 目筛。将原料按比例充分混合后配制成 5 种不同的饲料。投喂前将 5 种饲料置于 5 个塑料盆中, 加入少量清水, 搅拌成湿颗粒状, 均匀地撒入玻璃钢水槽中。采用过量投喂法, 日投喂量约占刺参体重的 8%, 与杨秀兰等(2005)报道的幼参投喂量相当, 实验过程中根据刺参生长和摄食的情况调整投喂量。本实验中饲料的营养成分均在实验室条件下测定获得。实验饲料的配方及主要营养成分见表 1。

1.3 实验设计和养殖条件

实验在中国海洋大学山东即墨鳌山卫实验基地进行。自 2009 年 4 月 14 日开始进行驯养, 所有刺参幼参

表 1 实验饲料配方及营养成分分析

Table 1 Ingredient composition and proximate nutrient analysis of the experimental diets

原料 Ingredient	Ω (%)				
	动物性饲料	鼠尾藻饲料	浒苔饲料	海带饲料	海泥饲料
	Diet of animal feed	Diet of <i>S. thunbergii</i>	Diet of <i>E. prolifera</i>	Diet of <i>L. japonica</i>	Diet of sea mud
鱼粉 Fishmeal	20	—	—	—	—
鼠尾藻粉 <i>S. thunbergii</i> powder	60	80	—	—	—
浒苔粉 <i>E. prolifera</i> powder	—	—	80	—	—
海带粉 <i>L. japonica</i> powder	—	—	—	80	—
海泥 Sea mud powder	20	20	20	20	100
粗蛋白 (%) Crude protein	25.96	23.31	20.58	12.62	2.94
粗脂肪 (%) Crude lipid	5.78	4.28	4.54	4.35	2.80
粗灰分 (%) Crude ash	42.55	47.81	49.30	52.32	89.59
总能 (kJ/g) Gross energy	10.04	8.41	8.12	7.11	0.25

均投喂同种饲料,成分为 80% 的商品饲料和 20% 的海泥。养殖实验用海水为天然海水,经过沉淀、砂滤。水槽内水体处于反复循环状态,以保证溶氧在 5mg/L 以上。养殖环境条件为 T:16~17°C, pH:7.5~8.2, S:30,光照周期为 10L:14D。每天于 14:00 吸粪、换水各 1 次,每次换水 1/2;每天于 16:00 投饵 1 次。每次投饵前关掉循环水泵,投饵后待饲料全部沉淀再开启,每次循环暂停大约 0.5h,以避免饲料随水流而散失。待刺参出现有规律的摄食后选取体质健壮、规格相近的刺参进行实验。养殖实验于 2009 年 4 月 24 日正式开始,将驯养后的 900 头刺参幼参随机平均放入 15 个直径为 1m、水容量为 160L 的蓝色塑钢桶中,每个桶中 60 头幼参。实验共设 5 组,分别投喂不同的饲料:A 组投喂动物性饲料;B 组投喂鼠尾藻饲料;C 组投喂浒苔饲料;D 组投喂海带饲料;E 组投喂海泥饲料。每个处理设 3 个重复,实验周期为 80d。刺参的初始湿重为 5.99 ± 0.26 g,初始体长为 4.18 ± 0.23 cm。

1.4 生长测定和样品采集

从实验的第 0 天开始,每 20d 从各水槽随机抽取 20 个刺参样品测量体长、体重。体长测量方法是把刺参放在培养皿中,加适量海水后静置,测量其自然伸展后的长度(朱建新等 2007);体重的测量方法是把刺参从培养皿中轻轻取出后,在干滤纸上放置 30s 后快速用 $1/10^4$ 电子天平称量。为了减少操作误差,实验过程中体长、体重的测量均由同一固定实验人员完成。刺参的特定生长率(SGR)和饲料系数(FCR)计算公式如下:

$$SGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / t \times 100\%$$

式中, W_1 为初始体质量, W_2 为实验结束时的体质量, t 为实验时间。

饲料系数(FCR) = 投入饲料量(g) / 体重增加量(g)。

实验开始和结束时,每个水槽随机抽取 3 只刺参用液氮迅速冷冻,置于 -80°C 冰箱内作为以后分析刺参生化组成的样品。

1.5 样品生化组成的分析

饲料营养成分和实验刺参体成分的测定采用 AOAC(1995)的方法。粗蛋白的测定采用微量凯氏定氮法;粗脂肪的测定采用索氏抽提法;粗灰分的测定用马福炉 550°C 烘干 24h;总能用 PARR1281 氧弹仪测定。

1.6 数据处理

对刺参幼参的生长数据用平均数±标准差表示($n=3$),经 SPSS 10.0 统计软件分析。所有数据进行方差分析,并进行 Duncan 多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 刺参的生长

不同饲料原料处理组对实验刺参幼参特定生长率(SGR)和饲料系数(FCR)的影响见表 2。结果表明,经过 80d 的分组饲喂后,刺参的 SGR 值因投喂饲料的不同而有所不同。A、B 和 C 组刺参呈现出显著的生长,其中 B 组刺参的 SGR 值达到了最大,为 95.36%/d; C 和 A 组刺参的 SGR 值次之,分别为 92.29%/d 和 84.87%/d。这 3 组之间的生长差异不显著($P>0.05$)。D 组刺参的 SGR 值显著小于 A、B、C 3 组($P<0.05$),为 37.05%/d。而 E 组刺参呈现出较为明显的负生长,它的 SGR 值与 D 组相比差异显著($P<0.05$),与 A、B、C 3 组相比差异极为显著($P<0.01$)。从表 2 可以看出,不同实验处理组的饲料系数也各不相同。其中,C 组的饲料系数最小,为 5.25,它与 A、B 两组的差异不显著($P>0.05$);D 组的饲料系数最大,为 18.14,它与 A、B、C 3 组的差异显著($P<0.05$),与 E 组相比差异极为显著($P<0.01$);E 组由于出现负生长现象,饲料系数也为负值。

表 2 不同饲料原料对刺参特定生长率(SGR)和饲料系数(FCR)的影响

Table 2 Special growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) of *A. japonicus* fed with different diets

处理 Treatment	0d	20d	40d	60d	80d	特定生长率 SGR(%/d)	饲料系数 FCR
	初质量 W_0 (g) Initial body weight	终质量 W_1 (g) 20d body weight	终质量 W_2 (g) 40d body weight	终质量 W_3 (g) 60d body weight	终质量 W_4 (g) Final body weight		
A 组 Group A	6.00±0.06	4.73±0.25 ^b	7.27±0.38 ^c	9.20±0.22 ^c	11.84±0.27 ^c	84.87±3.73 ^c	6.58±0.45 ^b
B 组 Group B	5.88±0.16	5.04±0.54 ^b	7.96±0.88 ^c	11.02±0.27 ^c	12.68±1.67 ^c	95.36±19.65 ^c	5.53±0.35 ^b
C 组 Group C	5.94±0.34	6.14±0.37 ^c	8.35±0.71 ^c	10.08±0.54 ^c	13.18±0.75 ^c	92.29±23.35 ^c	5.25±0.29 ^b
D 组 Group D	6.18±0.32	4.53±0.74 ^{ab}	5.45±1.22 ^b	7.13±0.67 ^b	8.36±1.19 ^b	37.05±13.43 ^b	18.14±0.93 ^c
E 组 Group E	5.97±0.38	3.62±0.68 ^a	3.58±0.33 ^a	3.83±0.37 ^a	4.18±0.12 ^a	-44.44±7.04 ^a	-21.34±0.99 ^a

注:同一列中标有相同字母的数据表示差异不显著($P>0.05$),相邻字母表示差异显著($P<0.05$),相间字母表示差异极为显著($P<0.01$)

Note: Same letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), while adjacent letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), alternate letters in the same column indicate extremely significant difference ($P<0.01$)

表 3 不同饲料原料对刺参体长的影响

Table 3 Body length growth of *A. japonicus* fed with different diets

处理 Treatment	初始体长 L_0 (cm)	20d 体长 L_1 (cm)	40d 体长 L_2 (cm)	60d 体长 L_3 (cm)	80d 终体长 L_4 (cm)
	Initial body length	Length at 20d	Length at 40d	Length at 60d	Final length
A 组 Group A	4.36±0.15	3.57±0.12 ^b	4.38±0.14 ^c	5.26±0.55 ^c	5.51±0.43 ^c
B 组 Group B	4.30±0.23	3.58±0.19 ^b	4.56±0.62 ^c	5.44±0.82 ^c	5.66±0.29 ^c
C 组 Group C	4.09±0.27	4.16±0.18 ^c	4.98±0.27 ^c	5.31±0.49 ^c	5.83±0.19 ^c
D 组 Group D	4.18±0.26	3.64±0.14 ^b	3.86±0.42 ^b	4.02±0.64 ^b	4.19±0.07 ^b
E 组 Group E	3.97±0.05	3.39±0.41 ^a	3.36±0.19 ^a	3.48±0.02 ^a	3.86±0.11 ^a

注:同一列中标有相同字母的数据表示差异不显著($P>0.05$),相邻字母表示差异显著($P<0.05$),相间字母表示差异极为显著($P<0.01$)

Note: Same letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), while adjacent letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), alternate letters in the same column indicate extremely significant difference ($P<0.01$)

从表 2 和表 3 可以看出,各处理组刺参幼参在整个实验过程中都表现出了明显不同的生长情况。从实验开始到第 20 天,以 C 组刺参的体重和体长增加最快。体重从 5.94±0.34g 增重为 6.14±0.37g;体长从 4.09±0.27cm 增长为 4.16±0.18cm。而其他 4 组刺参的体重和体长都有所下降,呈现出负生长的现象。C 组刺参的生长与 A、B、D 组相比差异显著($P<0.05$),与 E 组相比差异极为显著($P<0.01$)。

从实验第 20~40 天,各处理组刺参的生长情况又呈现出新的不同。C 组刺参的体重和体长依然是增加最快的,分别为 8.35±0.71g 和 4.98±0.27cm,而 A、B 和 D 组刺参首次呈现出正生长的趋势。A、B、C 组之间相比差异不显著($P>0.05$),与 D 组相比差异显著,与 E 组相比差异极为显著($P<0.01$)。E 组刺参仍然表现为

负生长。

实验第60天, B组刺参的体重和体长增加最快, 分别为 $11.02 \pm 0.27\text{g}$ 和 $5.44 \pm 0.82\text{cm}$ 。E组刺参的体重增重到 $3.83 \pm 0.37\text{g}$, 体长增长到 $3.48 \pm 0.02\text{cm}$, 首次出现了正生长趋势。5组刺参之间的生长差异情况与实验第40天时相同。

在第80天实验结束时, A、B和C组刺参表现出较好的生长。C组刺参的体重和体长平均值都大于其他处理组, 体重增重为 $13.18 \pm 0.75\text{g}$, 体长增长为 $5.83 \pm 0.19\text{cm}$, 与A组和B组刺参差异不显著 ($P > 0.05$)。D组刺参表现出一定的生长, 但与A、B和C组刺参存在显著差异 ($P < 0.05$)。E组刺参的生长虽然从负增长转变为正增长, 但生长情况与D组相比差异显著 ($P < 0.05$), 与A、B、C组相比差异极显著 ($P < 0.01$)。

摄食5种不同饲料原料的刺参幼参在80d的养殖阶段中特定生长率(SGR)和体长的变化趋势见图1和图2。

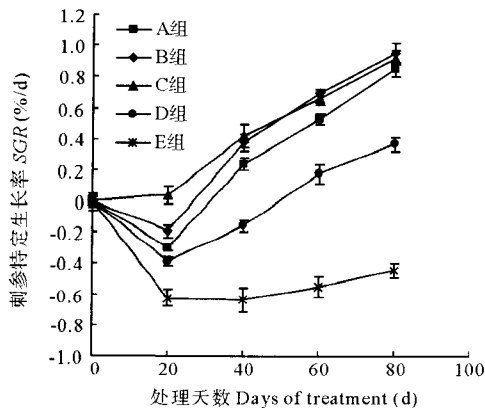


图1 不同饲料原料对刺参特定生长率的影响

Fig. 1 Specific growth rates (SGR) of *A. japonicus* fed with different diets

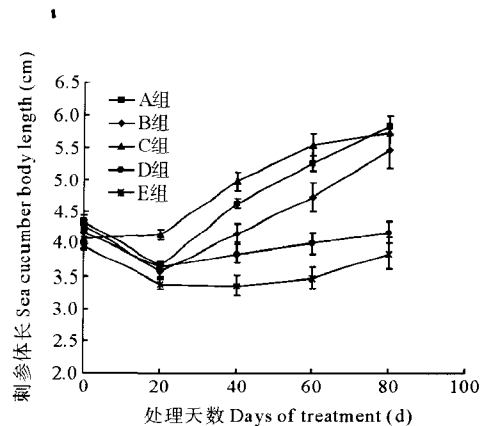


图2 不同饲料原料对刺参体长的影响

Fig. 2 Body length growth of *A. japonicus* fed with different diets

2.2 刺参的体成分

表4 不同饲料原料对刺参体成分的影响

Table 4 Body composition of *A. japonicus* fed with different diets

处理 Treatment	实验初始 Initial	实验终末 Final				
		A组 Group A	B组 Group B	C组 Group C	D组 Group D	E组 Group E
粗蛋白(%) Crude protein	44.08 ± 1.04^a	48.48 ± 1.16^c	50.48 ± 1.03^d	48.50 ± 1.03^c	46.73 ± 0.60^b	46.20 ± 0.06^b
粗脂肪(%) Crude lipid	6.81 ± 1.31^a	10.13 ± 1.90^b	7.94 ± 0.15^a	9.47 ± 1.04^b	7.36 ± 0.82^a	6.70 ± 1.03^a
粗灰分(%) Crude ash	33.28 ± 1.46^a	26.33 ± 1.86^a	28.34 ± 1.95^a	29.52 ± 2.72^a	28.88 ± 1.58^a	31.92 ± 2.75^a
水分(%) Moisture	85.59 ± 0.37^a	90.49 ± 0.29^a	87.44 ± 0.18^a	89.12 ± 0.22^a	84.13 ± 0.16^a	84.61 ± 0.34^a
能量(kJ/g) Energy	13.81 ± 1.63^a	15.39 ± 2.01^a	14.82 ± 1.02^a	14.39 ± 1.62^a	14.87 ± 0.43^a	14.04 ± 0.28^a

注:同一列和行中标有相同字母的数据表示差异不显著 ($P > 0.05$), 相邻字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相间字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: Same letters in the same line indicate no significant difference ($P > 0.05$), while adjacent letters in the same line indicate significant difference ($P < 0.05$), alternate letters in the same line indicate extremely significant difference ($P < 0.01$)

本实验中刺参的体成分由整只刺参样品测定获得。其中粗蛋白、粗脂肪和粗灰分是以干物质为基础测定的。由表4可以看出, 饲喂不同饲料原料对刺参体内的粗灰分和水分的含量, 以及单位体重的能值均无显著影响, 但粗蛋白和粗脂肪的百分含量存在差异。不同饲料处理组的刺参体蛋白成分与初始值相比均有提高, 其中B组刺参的粗蛋白含量最高, 达到50.48%, 与A、C组相比差异显著 ($P < 0.05$), 与初始值和D、E组相比差异极显著 ($P < 0.01$); A、C组刺参的粗蛋白含量分别为48.48%和48.50%, 这两组之间差异不显著 ($P > 0.05$); D、E组刺参的粗蛋白含量最少, 分别为46.73%和46.20%, 这二者之间无显著差异 ($P > 0.05$), 但与初始值和

A、C 组相比差异显著 ($P < 0.05$), 与 B 组相比差异极显著 ($P < 0.01$)。A 组刺参的粗脂肪含量最高, 为 10.80%, 其次是 C 组刺参, 为 9.13%, A 组与 C 组相比差异不显著 ($P > 0.05$), 但与初始值以及其他各组相比差异显著 ($P < 0.05$); B、D 和 E 组刺参的粗脂肪含量分别为 7.94%、6.81% 和 6.70%, 这三者之间差异不显著, 并且与粗脂肪成分为 6.81% 的初始值相比差异也不显著, 其中以 E 组粗脂肪含量最少。

3 讨论

3.1 摄食不同饲料对实验刺参生长的影响

本实验结果显示, B 组刺参的 SGR 值高于其他各组, 其次是 C 组和 A 组, 这 3 组刺参的 SGR 值之间没有显著差异。D 组刺参的 SGR 值显著小于其他 3 组, 而 E 组刺参呈现出较为明显的负生长。我国目前刺参幼参的养殖主要使用大型海藻磨碎液和人工配合饲料(袁成玉 2005)。实践证明, 各种大型海藻中以鼠尾藻投喂效果最好, 在本实验中也证明了这一观点。鼠尾藻是刺参的优质饵料, 同其他藻类相比, 蛋白质含量高, 脂肪含量较低, 氨基酸较全面(吴海歌等 2008), 而且不含大量的藻胶(邹吉新等 2005)。在本实验中, 创新性地使用浒苔作为刺参幼参的饲料原料, 经过 80d 的养殖, 不仅生长效果和鼠尾藻饲料一样好, 而且饲料系数低。浒苔深加工产品用于水产养殖, 已多见于鱼、虾、贝类水产动物, 可有效地促进生长、提高产量、改善肉质和体色、提高品质(林英庭等 2009)。但是将浒苔作为刺参幼参的饲料却少见报道。浒苔作为一种绿潮种, 其暴发生长的时候生物量很大, 如能采用适当的方法把它加工成刺参饲料, 变废为宝, 则不仅能缓解市场上鼠尾藻供应不足的现状, 还有利于保护天然鼠尾藻资源, 收到良好的生态效益和经济效益。

投喂动物性饲料的刺参幼参也表现出较好的生长。动物性饲料中添加了 5% 的鱼粉, 鱼粉具有必需氨基酸和脂肪酸含量高、碳水化合物含量低、适口性好、抗营养因子少以及能够被养殖动物很好地消化吸收等特点(李爱杰等 1996), 一直以来是水产饲料中不可或缺的优质蛋白源(郭培勇等 2001; 周歧存等 2005)。近年来鱼粉也应用到刺参饲料中(朱伟等 2005; 王吉桥等 2008)。因此, 在刺参饲料中适量添加鱼粉, 可以配制出营养更全面的配合饲料。

海带富含维生素、微量元素、氨基酸等营养成分, 已经广泛应用于水产养殖中, 是鲍鱼的优质饵料(陈颜峰 2005; Suzuki *et al.* 2006)。凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 的增重率、饲料利用率随着饲料中海带粉添加量的增加都有所提高(刘立鹤等 2006)。朱建新等(2007)也进行过海带替代鼠尾藻养殖刺参的实验, 实验结果表明, 海带组刺参幼参的特定生长率显著低于动物组、鼠尾藻组和浒苔组。这可能是由于海带粉本身蛋白质含量较低, 无法满足幼参的生长需求(Liu *et al.* 2009)。这与朱建新等(2007)报道的海参不能很好地摄食海带饲料的结果一致。另外, 唐黎等(2007)发现, 在幼参的发育过程中, 褐藻酸酶活力一直处于较低水平, 表明刺参对海带和裙带菜 *Undaria pinnatifid* 等富含褐藻酸的大型藻消化能力较弱, 这可能也是造成刺参幼参无法消化吸收海带粉中的营养物质的主要原因。本实验再次证明, 只经过晾晒和研磨的海带粗加工产品, 不适宜用做刺参饲料。

在本实验中, 海泥作为刺参一种营养限制性饲料, 用来与其他饲料的投喂效果进行比对。目前在刺参投喂养殖生产上, 大多数是利用藻粉等搭配一定比例海泥作为刺参的饲料。关于添加海泥的比例, 袁成玉(2005)认为添加 20% 的海泥刺参生长效果较好; 而宋吉德等(2003)则发现养殖幼参添加 20%~50% 海泥较好。可见对于养殖刺参饲料中海泥的添加量, 人们的认识还不一致。本实验中其他 4 种饲料中海泥的添加量为 20%。

3.2 摄食不同饲料对实验刺参体成分的影响

关于饲料蛋白水平对实验对象体成分影响的研究在鱼、虾类水产动物中多见报道(邵庆均等 2004; 苏时萍等 2009), 而摄食不同饲料对刺参体成分的影响却少见研究。本实验中, 经过 80d 的养殖, 鼠尾藻组刺参的粗蛋白含量显著高于其他各组, 而鼠尾藻饲料中的粗蛋白含量并不是 5 种饲料中最高的, 它略小于动物性饲料。相比之下, 鼠尾藻饲料的蛋白成分为纯植物蛋白, 而动物性饲料含有少部分的动物性蛋白。这可能是由于刺参

幼参在特定的室内养殖条件下偏植物食性,能更好地利用植物性蛋白源所提供的氨基酸来满足生长的需要。这也证明了王吉桥等(2007)报道的仿刺参为植食性,能更好地利用植物蛋白的结论。

摄食浒苔饲料的刺参粗蛋白和粗脂肪含量都很高,这可能与浒苔独特的理化特征有关。浒苔是高蛋白、高膳食纤维、低脂肪、低能量、且富含矿物质和维生素的天然理想的营养食品原料(林文庭等 2007)。林英庭等(2009)研究了将10%浒苔作为猪饲料添加剂对猪生长性能的影响及养分消化率的测定,发现添加浒苔后提高了各种养分的摄入量。这是由于浒苔中含有许多活性物质,能调节猪体内代谢,促进猪生长;浒苔中主要养分(特别是粗蛋白)的消化率,在各种常规猪饲料原料中是较高的一种,说明浒苔蛋白质的氨基酸组成合理,利用率较高。另外,浒苔具有独特的芳香气味,可以作为水产动物的诱食剂(林文庭等 2007)。

4 结论

本实验中摄食动物性饲料、鼠尾藻饲料和浒苔饲料的刺参都获得了较好的生长。就食性来说,刺参幼参在特定的室内养殖条件下能够较好地利用植物性蛋白,因此更倾向于植食性。可以将动物性蛋白作为刺参的辅助性饲料成分,配制出营养更全面的配合饲料,这也为进一步研究刺参的消化生理和营养需求奠定了基础。另外,成功开发出浒苔这一替代鼠尾藻的新型大型海藻种类,在浒苔深加工方面加大开发力度是今后需要进行的工作。海带饲料可能由于蛋白含量低和营养不全面使得海带组的刺参没有收到良好的生长效果。

致谢:衷心感谢中国海洋大学王芳教授在科研工作中给我的支持和鼓励,没有她的关心和指导,我不可能顺利地地完成整个实验。感谢在整个实验过程中给予我很大帮助的梁森博士和刘营博士。

参 考 文 献

- 王吉桥,隋晓楠,顾公明,丛文虎. 2008. 不同饲料搭配及投喂量对仿刺参稚、幼参生长和成活的影响. 水产科学, 27(2): 55~58
- 王吉桥,蒋湘辉,赵娟娟,苏久旺,孙北海. 2007. 不同饲料蛋白源对仿刺参幼参生长的影响. 饲料博览: 技术版, 10: 9~13
- 石 英,冷向军,李小勤,刘满仔,史少奕. 2009. 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼生长、体组成和肠道蛋白消化酶活性的影响. 水生生物学报, 33(5): 874~880
- 李爱杰. 1996. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社
- 朱 伟,麦康森,张百刚,王福振,徐桂玉. 2005. 刺参稚参对蛋白质和脂肪需求量的初步研究. 海洋科学, 29(3): 54~58
- 朱建新,刘 慧,冷凯良,曲克明,王诗欢,薛志宁,孙 阳. 2007. 几种常用饵料对稚幼参生长影响的初步研究. 海洋水产研究, 28(5): 48~53
- 刘立鹤,董爱华,周永奎,吴建开,曹俊明. 2006. 饲料中不同水平海带粉对凡纳滨对虾生长及饲料表观消化率的影响. 广东农业科学, 2: 72~74
- 苏时萍,施培松,杨启超,潘丽莉. 2009. 饲料蛋白水平对克氏原螯虾幼体消化酶活性和肌肉成分的影响. 安徽农业大学学报, 36(2): 231~235
- 杨秀兰,王鹏飞,焦玉龙,周全利,李华东,李永昌,刘 刚,张华萍. 2005. 刺参中间培育及生长特性的研究. 齐鲁渔业, 22(10): 1~4
- 陈颜峰. 2005. 不同方式加工海带投喂盘鲍幼鲍生长速度比较. 水产养殖, 26(4): 27~28
- 吴海歌,于 超,姚子昂,张巍峨,史丽颖,冯宝民. 2008. 鼠尾藻营养成分分析. 大连大学学报, 29(3): 84~85, 93
- 邹吉新,李源强,刘雨新,张庭卫,王义民. 2005. 鼠尾藻的生物学特性及筏式养殖技术研究. 齐鲁渔业, 22(3): 25~28
- 宋吉德. 2003. 无公害刺参养殖技术. 齐鲁渔业, 20(9): 5~7
- 邵庆均,苏小凤,许梓荣,舒妙安. 2004. 饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究. 水生生物学报, 28(4): 367~373
- 林文庭. 2007. 浅论浒苔的开发与利用. 中国食物与营养, 9: 23~25
- 林英庭,宋春阳,薛 强,刘洪成,韩洪胜,李贵东. 2009. 浒苔对猪生长性能的影响及养分消化率的测定. 饲料研究, 3: 47~49
- 周歧存,麦康森,刘永坚,谭北平. 2005. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展. 水产学报, 3: 404~410
- 郭培勇,王运涛. 2001. 水产养殖饲料蛋白源开发利用研究现状. 中国水产科学, 7(4): 108~112
- 袁成玉. 2005. 海参饲料研究的现状与发展方向. 水产科学, 24(12): 54~56
- 唐 黎,王吉桥,许 重,程骏驰. 2007. 不同发育期的幼体和不同规格刺参消化道中四种消化酶的活性. 水产科学, 26(5): 275~277
- 隋锡林. 1990. 海参增养殖. 北京: 农业出版社, 1~80
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International
- Liu, Y., Dong, S. L., Tian, X. L., Wang, F., and Gao, Q. F. 2009. Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). Aquaculture, 286: 266~270
- Suzuki, S., Furuya, K., and Takeuchi, I. 2006. Growth and annual production of the brown alga *Laminaria japonica* (Phaeophyta, Laminariales) introduced into the Uwa Sea in southern Japan. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 339: 15~29