

投喂频率对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长、 体成分组成和能量收支的影响*

房景辉^{1,2} 刘相全¹ 赵海峰¹ 王 圣¹ 韦秀梅¹ 冯艳微¹ 刘义豪¹

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006;

2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 在实验室条件下, 对刺参(*Apostichopus japonicus*)在不同投喂频率条件下的生长、体成分组成和能量收支进行研究。实验设置 4 个投喂频率处理, 分别每天投喂 1(F1 组)、2(F2 组)、3(F3 组)、4(F4 组)次, 共进行 40 d。结果表明, F3 组和 F4 组的刺参生长最快, 其末体重均显著大于 F1 组和 F2 组($P < 0.05$)。投喂频率越高, 刺参的摄食量越大, F4 组摄食量越高, 为 3.67 g/(d·ind), F3 组和 F4 组刺参的摄食量均显著高于 F1 组和 F2 组($P < 0.05$), 但 F3 组和 F4 组没有显著差异($P > 0.05$)。饵料转化率随投喂频率的增加而增加。其中, F4 组的饵料转化率最高, 为 9.70%, 而消化率却随投喂频率的增加而降低。投喂频率对刺参主要体成分组成影响不大。从各处理的能量收支方程来看, F1 组和 F2 组的粪能占摄食能的比例显著低于 F3 组和 F4 组($P < 0.05$), 但占摄食能的比例均超过了 50%, 其呼吸能占摄食能的比例显著高于 F3 组和 F4 组。本研究表明, 室内养殖刺参每天投喂 3 次最佳, 排泄能和呼吸能较高可能是导致 F1 组生长不佳的主要原因。

关键词 刺参; 投喂频率; 生长; 体成分组成; 能量收支

中图分类号 S968 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)05-0055-06

关于刺参的研究报道很多, 涉及基础生物学、生理生态学、组织学和分子生物学等多个学科(姜燕等, 2012; 王印庚等, 2012; 许拉等, 2013)。目前, 学者们在刺参摄食方面开展了一系列研究, 苗种生产期间幼虫的饵料系列和饵料质量是关系育苗生产的关键因素之一, 盛宝利(2012)进行了完全使用酵母替代单胞藻的尝试, 并取得成功。在苗种中间培育阶段, 有多种人工配制的饵料可供选择, 并且苗种对不同饵料的摄食情况有所差异, 导致其生长速度不同(张春云

等, 2004; 朱建新等, 2007)。已有研究表明, 饲料种类和日粮水平可以显著影响刺参的摄食与生长(安振华, 2008¹); 刘营, 2010²), 而不同投喂频率对刺参摄食、生长和能量收支的影响研究未见报道。刺参对不同饵料的消化率差异较大, 并且消化率总体较低, 而其摄食率却很高, 日摄食率可以达到体重的 80%以上(刘营, 2010²)。因此, 研究投喂频率对刺参摄食和生长的影响具有重要意义。而目前, 刺参养殖过程中每天的投喂次数确定大都凭经验, 并没有科学

* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305001 号)、山东省科技发展计划项目(2013GHY11532 号)、山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2012HZ027 号)、烟台市科技发展计划项目(2012133 号)和水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位经费共同资助。房景辉, E-mail: hui861@163.com

通讯作者: 刘相全, 副研究员。E-mail: lxq6808@163.com

收稿日期: 2014-03-12, 收修改稿日期: 2014-05-26

1) 安振华. 温度及其周期性波动对刺参生长和能量收支的影响. 中国海洋大学博士学位论文, 2008, 30-42

2) 刘营. 不同饲料对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长及能量收支的影响及机制. 中国海洋大学博士学位论文, 2010,

依据,这难免造成饵料浪费或不足,从而导致经济效益不佳。本研究以刺参幼参为研究对象,研究投喂频率对刺参幼参摄食、生长、体成分组成和能量收支的影响,以期查明养殖刺参的最佳投喂频率,从能量收支角度阐释生长机制。

1 材料与方法

1.1 实验动物来源与暂养

实验于 2013 年 10 月 15 日开始,到 2013 年 11 月 23 日结束。实验用刺参取自山东省海洋资源与环境研究院东营实验基地,对外界刺激反应灵敏,体重(23.08±4.35)g,共 146 头,暂养于容积为 500L 的玻璃钢水槽中。实验用水为砂滤自然海水,水温(16±1)℃,以冷水机(HXLS 1000,大连)控制,盐度 29-30, pH 值 7.9-8.0。在室内暂养 7 d,每天 08:00 和 19:00 两次投喂饵料,每天换水 90%左右,光照时间设为 14L:10D,24 h 不间断充气。

1.2 实验设计与管理

实验设计 4 个投喂频率处理,分别每天投喂 1(F1 组)、2(F2 组)、3(F3 组)、4(F4 组)次。其中,F1 组每天 19:00 投喂,F2 组每天 08:00 和 19:00 投喂,F3 组每天 08:00、16:00 和 24:00 投喂,F4 组每天 08:00、14:00、19:00 和 24:00 投喂,每个处理设置 3 个重复,每个重复放养 3 头刺参,各个处理互为对照。

实验开始前停食 24 h,选取活力强、规格均一的个体称重(24.10±0.55)g,分组置于 60 L 水族箱中,随机取 9 头刺参在 70℃下烘干至恒重,用于测定初始能量值和氮含量。实验过程中,每天换水 90%左右,缓慢充气并保持温度(16±1)℃。使用自制颗粒饵料(蛋白 12.38%,脂肪 1.77%,灰分 49.66%,能值 8.66 kJ/g)投喂,每次投喂 3 h 后收集残饵和粪便,70℃下烘干至恒重并保存。实验采取过量投喂的方式,保证每次投喂后均有残饵产生,记录投喂量。通过将一定重量的 3 份饵料,在养殖用水中浸泡 3 h 后,收集烘干并称重、校正残饵重量。

实验结束后,所有刺参饥饿 24 h,称重并在 70℃烘干至恒重后测定相关指标。

1.3 样品测定

脂肪的测定采用乙醚抽提法,蛋白含量首先利用 Vario ELIII 型元素分析仪(Elementar, German)测定氮含量,然后乘以 6.25 获得,灰分含量采用马福炉焚烧法,在 550℃焚烧 8 h 获得,能值采用 PARR1281

型氧弹仪测定。

1.4 能量收支计算

刺参的摄食(C)、生长(G)、呼吸(R)、粪便(F)和排泄(U)的能量符合下列关系(Carfoot, 1987):

$$C = G + F + U + R$$

式中, C 为摄入的饲料能值, G 为生长能, F 为粪能, U 为排泄能, R 为呼吸能。排泄能以以下式计算:

$$U = (C_N - G_N - F_N) \times 24830$$

式中, C_N 为摄食食物中所含的氮, G_N 为刺参生长增加的氮, F_N 为粪便中所含的氮,24830 为每克氮的能值(崔奕波,1989)。呼吸能由能量收支式 $R = C - G - F - U$ 求出。

1.5 数据计算与处理

实验期间刺参特定生长率、饵料转化率、消化率和摄食率计算如下:

$$SGR = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$FCE = 100 \times (W_t - W_0) / C$$

$$ADR = 100 \times (C - F) / C$$

$$FR = 100 \times C / (t \times (W_t + W_0) / 2)$$

式中, SGR 为刺参的特定生长率(%), FCE 为刺参的饵料转化率(%), ADR 为刺参的消化率(%), FR 为刺参摄食率(%), C 为刺参的摄食量(g), F 为刺参的粪便重量(g), W_t 和 W_0 为刺参的末体重(g)和初体重(g), t 为实验时间(d)。

所得数据用单因素方差分析(ANOVA)及 Duncan 多重比较进行处理,以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 生长

实验过程中,水质指标稳定(溶解氧>6.0 mg/L, pH: 8.1-8.2, 氨氮<0.10 mg/L),刺参活力强,未发生死亡。实验刺参初始体重,各处理间无显著差异($P > 0.05$),而 F3 组和 F4 组的末体重显著大于 F1 和 F2 组($P < 0.05$),但二者之间无显著差异($P > 0.05$),F1 组的体重显著小于其他各组($P < 0.05$)。F3 和 F4 组的特定生长率无显著差异($P > 0.05$),均达到 1.13%,并且二者显著大于 F1 和 F2 组的特定生长率($P < 0.05$),F1 组的特定生长率最小($P < 0.05$,表 1),为 0.73%。

2.2 摄食

从摄食量来看,投喂频率越高刺参摄食量越大,

表 1 不同投喂频率条件下刺参的生长、摄食量、消化率、饵料转化率和摄食率
Tab. 1 Growth, food consumption, apparent digestion rate, food conversion efficiency and feeding rate of *Apostichopus japonicus* in different treatments

处理 Treatments	初体重 Initial weight (g)	末体重 Final weight (g)	摄食量 Food consumption [g/(d·ind)]	特定生长率 Specific growth rate (%)	饵料转化率 Food conversion efficiency (%)	摄食率 Feeding rate (%)	消化率 Digestion rate (%)
F1	24.26±0.29	32.98±0.63 ^a	3.29±0.03 ^a	0.73±0.02 ^a	6.31±0.18 ^a	11.48±0.07	5.28±0.14 ^a
F2	23.79±0.33	36.46±0.45 ^b	3.47±0.03 ^b	1.02±0.01 ^b	8.70±0.08 ^b	11.51±0.06	4.66±0.10 ^b
F3	23.84±0.33	38.30±0.40 ^c	3.59±0.02 ^c	1.13±0.02 ^c	9.59±0.13 ^c	11.55±0.07	4.47±0.08 ^b
F4	24.50±0.34	39.46±0.64 ^c	3.67±0.06 ^c	1.13±0.01 ^c	9.70±0.07 ^c	11.49±0.02	4.44±0.11 ^b

注: 表中不同处理之间带有不同字母的数据表示相互之间差异显著($P<0.05$), 下同

Note: The data within the same column with different letter are significantly different with each other ($P<0.05$). The same below

F4 组摄食量最高, 为 3.67g/(d·ind), 但 F3 组的摄食量与之无显著差异($P>0.05$), 二者均显著高于 F1 和 F2 组的摄食量($P<0.05$)。实验各组的摄食率没有显著差异($P>0.05$, 表 1)。

2.3 饵料转化率和消化率

随着投喂频率的增加, 刺参的饵料转化率随之升高。其中, F4 组的饵料转化率最高, 为 9.70%, F3 组的饵料转化率与之没有显著差异($P>0.05$), F1 组的饵料转化率最低($P<0.05$, 表 1), 为 6.31%。而消化率的变化规律与之相反, 以 F1 组的消化率最高($P<0.05$),

为 5.28%, 其它三组的消化率没有显著差异($P>0.05$)。

2.4 体成分组成

不同投喂频率处理的主要体成分组成见图 1, 由图 1 可以看出各处理的脂肪、蛋白和灰分含量无显著差异($P>0.05$), 但是 F1 组的水分含量显著高于其它各组($P<0.05$)。

2.5 能量收支

从不同投喂频率各组的能量收支方程来看(表 2), F1 组生长能占摄食能的比例为 5.44%, 显著低于

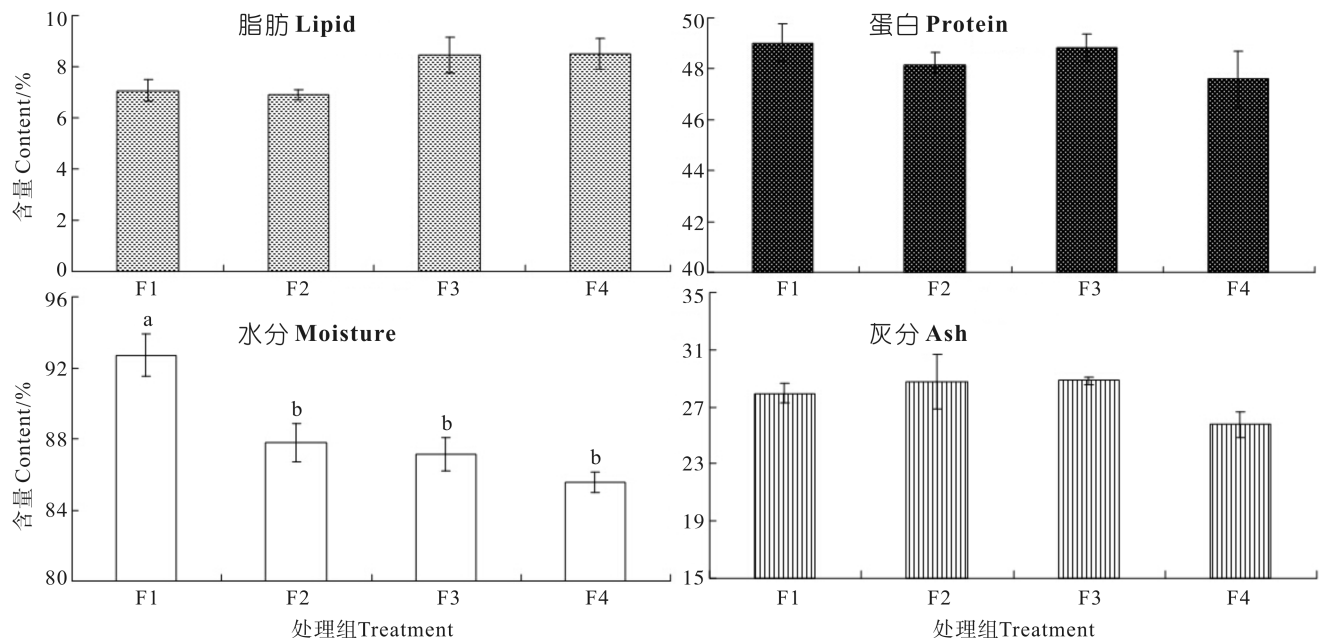


图 1 不同投喂频率条件下刺参的体成分组成

Fig. 1 The body composition of *A. japonicus* in different feeding modes

图中水分含量为占刺参湿重的百分比, 蛋白、脂肪和灰分含量为占刺参干重的百分比

Moisture was the percentage of wet weight of sea cucumber. Protein, lipid and ash were the percentages of dry weight of sea cucumber

表 2 不同投喂频率条件下刺参的能量收支(占摄食能的百分比)

Tab. 2 Energy allocation of *A. japonicus* in different treatments

处理 Treatments	C (%)	G (%)	F (%)	U (%)	R (%)
F1	100	5.44±0.03 ^a	50.55±0.02 ^a	7.03±0.04 ^a	37.01±0.03 ^a
F2	100	5.77±0.06 ^b	50.26±0.01 ^a	6.69±0.03 ^b	37.22±0.02 ^a
F3	100	5.75±0.05 ^b	53.17±0.06 ^c	6.14±0.02 ^c	35.36±0.04 ^c
F4	100	5.74±0.09 ^b	52.27±0.18 ^b	5.94±0.06 ^d	36.50±0.12 ^b

注: C 为摄食能, G 为生长能, F 为粪能, U 为排泄能, R 为呼吸能

Note: C: food energy, G: growth energy, F: feces energy, U: excretion energy, R: respiration energy

其他三组;而其排泄能占摄食能的比例为 7.03%,显著高于其他三组;实验各处理粪能占摄食能的比例均超过 50%,其中, F1 和 F2 组的粪能占摄食能的比例显著低于 F3 和 F4 组,而呼吸能占摄食能的比例显著高于 F3 和 F4 组。

3 讨论

3.1 投喂频率对水生动物生长的影响

已有研究表明,投喂频率可以显著影响鱼类的生长和对饵料的利用等(Ruohonen *et al*, 1998; Dwyer *et al*, 2002; Wang *et al*, 2007; 王武等, 2007; Salama, 2008; 纪文秀等, 2011)。目前,关于刺参投喂策略的研究较少,王吉桥等(2008)对不同饵料搭配和投喂量对刺参稚、幼参生长和成活的影响进行了研究,发现每个实验水槽中稚参总质量随投喂量的增加而增加,但是水质条件却随投喂量的增加而变差,而水质恶化可能导致刺参生长变慢。安振华(2008)¹⁾研究了不同日粮水平对刺参幼参生长的影响,刺参幼参的特定生长率随日粮水平的增加而增加。在本研究中,刺参的末体重和特定生长率随投喂频率的增加而增加,但 F3 和 F4 组没有显著差异。这与很多鱼类的反应极其相似,在适宜范围内,鮟状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)、点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)的增重率均随投喂频率的增加而增加,但投喂频率过大时,增重率不再继续增加(Wang *et al*, 2007; 王武等, 2007; 纪文秀等, 2011)。因此,本研究中的低投喂频率(1-2 次/d)组摄食量较低,可能难以满足刺参的最大日摄食量,从而导致其生长速度低于较高投喂频率(3-4 次/d)组。从经济效益的角度考虑,对于刺参幼参每天投喂 3 次最佳,既可以节省饵料和人工成本,又可以使刺参获得最佳生长速度。

投喂频率也可以影响水生动物的饵料转化率,在一定的投喂频率范围内,一些鱼类的饲料转化率随投喂频率的增加而升高(Wang *et al*, 2007; Aderolu *et al*, 2010; 董桂芳等, 2012; 李滑滑等, 2013),当投喂频率进一步增加时,有些下降(董桂芳等, 2012),有些不变(Aderolu *et al*, 2010)。而 Wang 等(1998)发现在每天 1-4 次的投喂频率范围内,杂交太阳鱼(♀: *Lepomis cyanellus* × ♂: *L. macrochirus*)的饲料转化率没有显著变化。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*, Boone)的饵料系数随投喂频率的增加先显著降低,而后保持相对恒定(叶乐等, 2005)。本研究中,刺参幼参的饵料转化率随投喂频率的增加先显著升高而后保持较高的水平,显然,这一变化规律并不特殊。投喂频率不仅直接影响养殖水生动物的日摄食次数,同时也影响了其日摄食量,即其日粮水平发生了变化。在安振华(2008)¹⁾的研究中,刺参幼参的饵料转化率随日粮水平的增加而逐渐升高。而本研究中,刺参幼参的摄食量和饵料转化率呈现相同的变化规律,当摄食量不再增加时,其饵料转化率也保持稳定。因此,由投喂频率引起的刺参幼参摄食量的变化是影响其饵料转化率变动的重要原因,也是投喂频率影响刺参幼参生长的机制之一。

3.2 投喂频率对水生动物体成分组成的影响

投喂频率可以对鱼类的体成分组成产生显著影响(孙丽慧等, 2010; 董桂芳等, 2012),而南美白对虾在每天 3-7 次投喂频率的条件下,其体成分组成并未受到显著影响(周歧存等, 2003)。本研究中,除水分含量外,刺参幼参主要体成分组成不受投喂频率影响,并且当投喂频率在每天两次及以上时,体成分组成均没有显著变化。因此,每天两次或两次以上的投喂频率对刺参幼参的主要体成分组成不是限制因素,

1) 安振华. 温度及其周期性波动对刺参生长和能量收支的影响. 中国海洋大学博士学位论文, 2008, 30-42

这与某些鱼类不同,而与南美白对虾类似,说明投喂频率会对不同水生动物的体成分组成产生不同的影响,其中的原因可能与动物种类有关,这尚需进一步探究证实。

3.3 投喂频率影响刺参幼参生长的能量学机制

能量分配模式可以解释水生动物在不同条件下的生长差异(崔奕波,1989;王芳,2004¹⁾;刘莹,2010²⁾;房景辉等,2010;Fang *et al*,2012),例如,使用配合饵料投喂的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹,其生长能占摄食能的比例随投喂频率的增加而增加,而粪能和呼吸能占摄食能的比例均随投喂频率的增加而降低共同导致了这一结果(李洪宇等,2013)。本研究发现,F1组的生长能占摄食能的比例显著低于其他各组,而其摄食量也显著低于其它各组,因此,其生长较慢。从能量收支方程来看,投喂频率较低的处理,其排泄能和呼吸能及其占摄食能的比例均较高,这可能是导致其生长能较低的原因之一,也可能是F1组生长不佳的内在能量学机制。

4 结论

本研究条件下,刺参幼参的生长速度受投喂频率影响显著,投喂频率在每天两次或以上时,刺参幼参的体成分组成不受影响,从经济角度考虑,每天投喂3次是刺参幼参养殖的最佳投喂频率;而由投喂频率引起的刺参幼参摄食量的变化是影响其饵料转化率变动的重要原因,也是投喂频率影响刺参幼参生长的机制之一;从能量学角度来看,排泄能和呼吸能及其占摄食能的比例较高可能是导致F1组生长不佳的内在能量学机制。

参 考 文 献

王印庚,荣小军,张凤萍. 养殖刺参“腐皮综合征”致病菌——灿烂弧菌的原位杂交检测方法的建立与应用. 渔业科学进展,2012,33(2):114-118

王吉桥,隋晓楠,顾公明,等. 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,2008,27(2):55-58

王武,周锡勋,马旭洲,等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及蛋白酶活力的影响. 上海水产大学学报,2007,16(3):224-229

叶乐,林黑着,李卓佳,等. 投喂频率对凡纳滨对虾生长和水质的影响. 南方水产科学,2005,1(4):55-59

孙丽慧,王际英,丁立云,等. 投喂频率对星斑川鲷幼鱼生长和体组成影响的初步研究. 上海海洋大学学报,2010,19(2):190-195

朱建新,刘慧,冷凯良,等. 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,2007,28(5):48-53

纪文秀,王岩,厉珀余. 不同投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼生长、食物利用及氮磷排放的影响. 浙江大学学报,2011,37(4):432-438

许拉,樊英,李天保,等. 黄芪多糖微胶囊制备及对刺参抗病力的影响. 渔业科学进展,2013,34(1):172-175

张春云,王印庚,荣小军,等. 国内外海参自然资源、养殖状况及存在问题. 海洋水产研究,2004,25(3):89-97

李洪宇,吴立新,陈炜,等. 投喂频率和饵料种类对中华绒螯蟹幼蟹生长及能量收支的影响. 大连海洋大学学报,2013,28(5):475-480

李滑滑,吴立新,姜志强,等. 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼生长及生化成分的影响. 生态学杂志,2013,32(7):1844-1849

周歧存,郑石轩,高雷,等. 投喂频率对南美白对虾(*Penaeus vannamei* Boone)生长、饲料利用及虾体组成影响的初步研究. 海洋湖沼通报,2003,2:64-68

房景辉,田相利,董双林,等. 温度对半滑舌鳎的生长、生化组成和能量收支的影响. 中国海洋大学学报,2010,40(1):25-30

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

崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报,1989,13(4):369-383

盛宝利. 完全利用代用饵料进行海参育苗. 河北渔业,2012,1:45

董桂芳,胡振雄,黄峰,等. 投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响. 渔业现代化,2012,2:48-53

Aderolu AZ, Seriki BM, Apatira AL, *et al*. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerlings and juveniles. Afr J Food Sci, 2010, 4(5): 286-290

Carfoot TH. Animal Energetics. New York Academic Press, New York, 1987, 407-515

Dwyer KS, Brown JA, Parrish C, *et al*. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Aquaculture, 2002, 213(1): 279-292

Fang J, Tian X, Dong S, *et al*. An experimental study on the compensatory growth of tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* (Günther, 1873), following lower temperature manipulation. Aqua Res, 2012, DOI: 10.1111/are.12101

Ruohonen K, Vielma J, Grove DJ. Effect of feeding frequency on growth and food utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus*

1) 王芳. 光照对中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)生长的影响及其机制. 中国海洋大学博士学位论文,2004,28-80
2) 刘莹. 不同饲料对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长及能量收支的影响及机制. 中国海洋大学博士学位论文,2010,23-40

- mykiss*) fed low fat herring or dry pellets. *Aquaculture*, 1998, 165: 111–121
- Salama AJ. Effects of different feeding frequency on the growth, survival and feed conversion ratio of the Asian sea bass *Lates calcarifer* juveniles reared under hypersaline seawater of the Red Sea. *Aqua Res*, 2008, 39: 561–567
- Wang N, Hayward RS, Noltie DB. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding patterns of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture*, 1998, 165: 261–267
- Wang Y, Kong L, Li K. Effects of ration level and feeding frequency on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. *Aquaculture*, 2007, 271: 350–356

(编辑 江润林)

Effects of Feeding Frequency on the Growth, Biochemical Composition and Energy Budget of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

FANG Jinghui^{1,2}, LIU Xiangquan¹, ZHAO Haifeng¹, WANG Sheng¹,
WEI Xiumei¹, FENG Yanwei¹, LIU Yihao¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006; 2. Key laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract The relationship between the feeding strategy and the growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus* has been an important issue in aquaculture, but the study on the optimized feeding frequency was rare. We conducted a 40-day experiment to identify the best feeding frequency and the mechanisms how feeding frequency affected the growth, the biochemical composition and the energy budget of sea cucumbers. The sea cucumbers were divided into four groups according to the feeding frequencies: F1 (1 time/day), F2 (2 times/day), F3 (3 times/day), and F4 (4 times/day). Each group had 3 duplicates. The artificial feed was made by authors themselves. During the experiment, the unfed feed and feces of sea cucumbers were collected then dried at 70°C. The food consumption, initial body weights and final body weights were recorded. The results showed that the F3 and F4 grew faster and their final body weights were significantly higher than those of F1 and F2 ($P < 0.05$). Food consumption increased along with the feeding frequency. Food consumption of F4 was 3.67 g/(d·ind) which was the highest among all groups. Food consumption of F3 and F4 was significantly higher than that of F1 and F2 ($P < 0.05$), but there was no significant difference between F3 and F4 ($P > 0.05$). The food conversion efficiency increased along with the feeding frequency and it was 9.70% in F4, but the digestion rate showed the opposite trend. The feeding frequency did not much affect the biochemical composition of sea cucumbers. The remained food energy in feces was more than 50% of the total food energy in all 4 groups, and it was significantly lower in F1 and F2 than in F3 and F4 ($P < 0.05$). The proportions of food energy consumed in respiration in F1 and F2 were higher than those in F3 and F4 ($P < 0.05$). Our data suggested that the optimal feeding frequency was three times per day for sea cucumbers reared indoors. The poor growth performance of F1 may be caused by their high excretion and respiration expenditure in energy.

Key words *Apostichopus japonicus*; Feeding frequency; Growth; Biochemical composition; Energy budget