

温度、饵料质量对不同规格刺参摄食率、吸收效率的影响

姚永锋^{1,2}, 张继红^{2*}, 方建光^{1,2}, 房景辉², 高亚平², 任黎华², 张义涛²

(1. 华东理工大学生物工程学院, 上海 200237;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了解刺参摄食的生理生态学特性, 本实验在室内模拟研究了不同体质量刺参 [A (4.77 ± 0.95) g、B (15.12 ± 1.14) g、C (34.77 ± 7.95) g、D (78.13 ± 4.99) g] 的有机物摄食率、吸收效率分别对饵料质量 [I (100% 海泥)、II (88% 海泥 + 12% 海带粉)、III (76% 海泥 + 24% 海带粉)、IV (64% 海泥 + 36% 海带粉)] 及温度 [(5.1 ± 0.4)、(10.9 ± 0.7)、(12.5 ± 0.6)、(14.2 ± 0.7) 和 (16.1 ± 0.6) °C] 变化的响应。结果表明, 摄食率 (OIR) 与饵料质量 (OC) 回归方程为 $OIR = a \times OC / (OC + b)$, 其中 a、b 分别为最大摄食率与半饱和常数; 双因素方差分析结果显示, 饵料质量、体质量对刺参摄食影响极显著, 而二者交互作用对其影响不显著。与温度 (T) 的关系为 $OIR = c \times T^2 + d \times T + e$, $c = -(0.0075 \sim 0.0164)$ 、 $d = 0.298 \sim 0.769$ 、 $e = -(0.742 \sim 1.977)$; 水温、体质量对刺参摄食均有显著影响; 而其交互作用对摄食率的影响极显著, 对吸收效率则不显著。饵料质量、温度和初始体质量 (WW) 组合双因子与摄食率的关系分别为 $OIR = 12.55 \times WW^{-0.361} + 7.92 \times OC / (OC + 4.373) - 4.70$, $OIR = 2.2 \times WW^{-0.384} + 0.033 \times WW^{-0.384} \times T^2 + 0.077 \times T$ 。协方差分析表明, 其相关系数呈极显著水平。本研究量化了刺参摄食率与饵料质量、水温、体质量之间的相关关系, 并初步掌握了有机物摄食率的变化规律。

关键词: 刺参; 饵料质量; 温度; 体质量; 有机物摄食率; 吸收效率

中图分类号: S 966.2

文献标志码: A

刺参 (*Apostichopus japonicas*) 属棘皮动物门 (Echinodermata)、海参纲 (Holothroidea), 为典型的沉积食性动物, 具有较高的经济价值^[1]。刺参对养殖海区底质的摄食及其生物扰动, 在浅海底栖生态系统的物质循环和能量流动中具有重要作用^[2]。尽管可摄取多种物质, 但刺参只能消化、利用从沉积物中获得的有机成分^[3], 主要为底质中的有机质、某些细菌和原生动物等^[4]。这不仅降低了水体有机物含量, 也可有效抑制水体有害物质的积累, 在海水养殖系统中扮演“清道夫”的角色^[5]。2011年我国海参的年产量达到 137 754 t, 较 2005 年增加了 111.01%^[6]。目前我国刺参养殖业已成为继海带、对虾、扇贝和海水鱼养殖之后又一新的支柱产业^[7]。然而近年来刺参养殖

中出现了价格持续走低、养殖密度不合理、规模盲目扩大及以粗放型养殖为主等问题, 这在很大程度上阻碍了该行业的持续发展。

摄食率、吸收效率能够直接反映刺参对物质、能量的利用情况, 是刺参摄食生理的重要指标之一, 也是刺参能量动力学的基本参数之一。刺参的摄食生理受多种因素的影响, 其中温度、体质量和饵料质量是影响刺参摄食生理的重要参数^[5,8]。有关刺参摄食率的研究已较多^[5,8-10], 而对有机物摄食率的相关报道尚较少。本实验研究了温度、饵料质量对不同体质量刺参摄食生理的影响, 量化了它们之间的相关关系, 以掌握刺参有机物摄食率的变化规律, 为刺参的底播增殖以及工厂化健康养殖提供基础数据。

收稿日期: 2014-02-12 修回日期: 2014-05-09

资助项目: 国家科技支撑计划 (2011BAD13B06); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2014A01YY01)

通信作者: 张继红, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 实验刺参 与暂养

实验刺参由荣成寻山集团海珍品育苗厂提供,选择生长健壮的个体称重。实验前将刺参放在通入砂滤海水的养殖池内,暂养一周使之适应实验条件。

1.2 饵料制备

制备饵料为干海带粉,所用的海泥取自自然海区。在 60 ℃ 条件下烘干 48 h,经粉碎后过 40 目筛绢,保存备用。实验设计 4 种饵料组合: I (100% 海泥)、II (88% 海泥 + 12% 海带粉)、III (76% 海泥 + 24% 海带粉)、IV (64% 海泥 + 36% 海带粉)。

1.3 实验设计

实验在山东荣成市寻山集团海珍品育苗场进行。实验用水为砂滤海水,将实验箱(0.45 m × 0.35 m × 0.3 m)水浴在海水中以维持实验箱内水温恒定。根据刺参湿重分为 A(4.77 ± 0.95) g、B(15.12 ± 1.14) g、C(34.77 ± 7.95) g、D(78.13 ± 4.99) g 4 个实验组。

饵料对不同体质量刺参摄食的影响 将暂养 的各 组(A、B、C、D 组 分别 放 12、8、5、4 头/箱)刺参分别移入实验箱内,记录每个实验箱内刺参总体质量。每组刺参均分别投喂饵料 I、II、III 和 IV,每组设 3 个重复。每天定时(8:00)投喂,投喂量约为刺参湿重的 8%^[11]。采用虹吸法收集各组刺参在 24 h 内产生的粪便、残饵,连续收集一周。实验期间水温保持在(12.5 ± 0.6)℃。

温度对不同体质量刺参摄食的影响 实验在 3—6 月期间开展,分别在(5.1 ± 0.4)、(10.9 ± 0.7)、(12.5 ± 0.6)、(14.2 ± 0.7)和(16.1 ± 0.6)℃ 温度条件下进行。在每个温度梯度下,将每次暂养 的各 组(A、B、C、D 组 分别 放 12、8、5、4 头/箱)刺参移入实验箱内,记录每个实验箱内刺参总体质量。投喂 I 型饵料,投喂及样品收集方法同上。每个温度每个实验组设 3 个重复。

1.4 实验管理与样品分析

各实验箱均配置 1 个气石,控制充气量,日换水量 50%。用 YSI 水质监测仪 Pro10(美国)测海水的温度、溶解氧、pH、盐度等参数。饵料基本成分分析依据 GB/T 6432 - 1994、GB/T 6438 - 2007、GB/T 6433 - 2006、GB/T 6435 - 2006;实验

收集的残饵、粪便在 60 ℃ 条件下烘干 48 h,有机物含量采用灰化法(450 ℃,6 h)测定^[9]。

1.5 数据处理

刺参的有机物摄食率[organic ingestion rate, OIR, mg/(g · d)]采用生物沉积法计算,即假定刺参不吸收无机物,将饵料中的无机物作为惰性示踪物,根据刺参的粪便生成速率来间接地推算刺参对有机物的摄食率^[5]:

$$OIR = \frac{F}{WW \times t} \times \frac{1 - e}{1 - OC} \times OC$$

吸收效率(absorption efficiency, AE, %)采用 Conover^[10]提出的比率法,基于饵料、粪便中有机物比率来计算:

$$AE = \frac{1 - e/OC}{1 - e} \times 100$$

$F(g)$ 为收集粪便的干重; $WW(g)$ 为实验刺参的初始体质量; $t(d)$ 为实验时间; $e(\%)$ 为粪便中有机物含量; $OC(\%)$ 为饵料中有机物含量。

采用 SPSS 19.0 软件分别对饵料有机物含量与体质量及温度与体质量对刺参的有机物摄食率进行双因子方差分析(two-way ANOVA)、组间差异采用 Tukey HSD 法分析。相关回归分析 $\alpha = 0.05$,用 F 检验回归方程的显著性($F > F_{0.01}$ 为差异显著)。

2 结果

2.1 实验期间的环境条件和饵料的营养成分分析

实验期间的溶氧维持在 5.0 mg/L 以上,pH 值介于 7.98 ~ 8.36,盐度范围为 30.70 ~ 30.99,这些指标在刺参生长的适宜范围内。饵料的基本成分见表 1。

2.2 饵料对不同体质量刺参摄食的影响

在实验有机物浓度范围内,随着有机物含量的增加,不同规格刺参的摄食率都表现出逐渐增大的趋势(图 1-a)。回归分析结果显示,饵料有机物含量与刺参摄食率之间符合以下关系式: $OIR = a \times OC / (OC + b)$,其中 a 为最大摄食率 OIR_{max} , b 为半饱和常数,代表刺参摄食有机物的能力; b 值越小,摄食能力越大。不同规格刺参的相关系数见表 2。结果显示,小规格(A 组)的刺参,摄食有机物的能力最强,其次是 C 组和 B 组(B、C 组无显著差异),D 组摄食有机物的能力最弱。

表1 实验饵料配方及营养成分 ($n=3$)Tab.1 Ingredient composition and proximate nutrient of the experimental diets ($n=3$)

		组别 group			
		I	II	III	IV
配方/% ingredients	海泥 sea mud	100	88	76	64
	海带粉 kelp powder	—	12	24	36
营养成分/(% or kJ/g) nutrient contents	粗蛋白/% protein	0.75	1.84	2.93	4.01
	粗脂肪/% fat	2.8	2.99	3.17	3.36
	粗灰分/% ash	87.6	82.78	77.95	73.13
	水分/% water content	5.8	5.81	5.82	5.84
	总能/(kJ/g) total energy	0.25	1.07	1.88	2.69
	有机物含量/% organic content	4.71	8.43	12.15	15.88

注:粗蛋白、粗脂肪、灰分含量、能值和有机物含量基于饲料的干重所得

Notes: protein, fat, ash, total energy, organic content are all based on dry weight of diets

表2 饵料有机物含量与不同规格刺参的摄食率回归方程的参数

Tab.2 Parameters related to regression equation between organic content and organic ingestion rate of *A. japonicas*

实验组 experiment group	饵料有机物含量/% organic content		
	a	b	R^2
A (4.77 ± 0.95) g	10.719	3.71	0.847
B (15.12 ± 1.14) g	8.535	4.686	0.756
C (34.77 ± 7.95) g	6.591	4.066	0.599
D (78.13 ± 4.99) g	4.762	6.618	0.232

有机物含量、体质量对刺参摄食率的影响极其显著 ($P < 0.01$), 但其交互作用对摄食率的影响不显著 ($P > 0.05$) (表3)。有机物含量、体质量

与刺参摄食率的定量关系式为 $OIR = 12.55 \times WW^{-0.361} + 7.92 \times OC / (OC + 4.373) - 4.70$ ($R^2 = 0.973, P < 0.01$)。

刺参的吸收效率与摄食率的变化趋势不同。饵料有机物含量在 4.71% ~ 12.15%, 随着 OC 增加, 吸收效率逐渐增大; OC 大于 12.12% 时, 吸收效率随 OC 的增加而降低 (图 1-b)。对于相同的饵料, 刺参的规格越小, 吸收效率越大, 总体趋势为 A 组 > B 组 > C 组 > D 组。

有机物含量与体质量对刺参的吸收效率均有极其显著性影响 ($P < 0.01$), 而其交互作用对吸收效率的影响不显著 ($P > 0.05$) (表4)。在 4 个饵料 (I、II、III、IV 组) 条件下, A 组刺参的吸收效率显著高于 C、D 组。

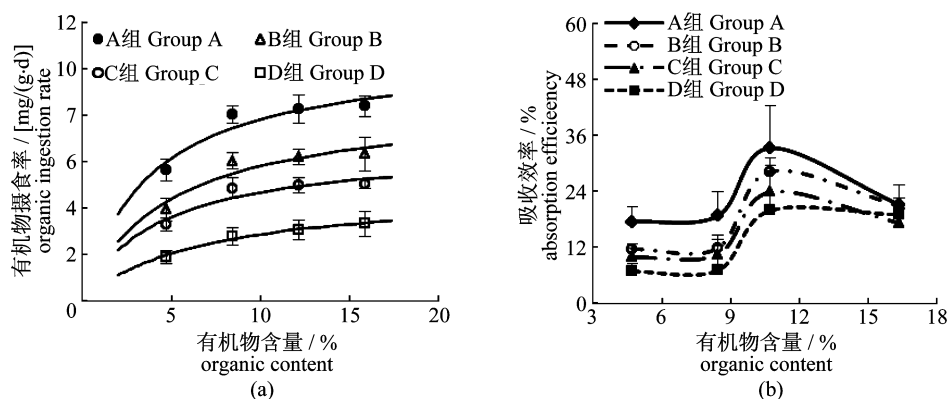


图1 饵料对不同体质量刺参有机物的摄食率、吸收效率的影响

(a) 摄食率; (b) 吸收效率; 各实验组刺参的湿重分别为 A (4.77 ± 0.95) g、B (15.12 ± 1.14) g、C (34.77 ± 7.95) g、D (78.13 ± 4.99) g

Fig.1 Effects of organic content of feed on ingestion rate and absorption efficiency of different size *A. japonicas*

(a) Ingestion rate; (b) Absorption efficiency; The wet weight of the *A. japonica* was: A (4.77 ± 0.95) g, B (15.12 ± 1.14) g, C (34.77 ± 7.95) g and D (78.13 ± 4.99) g

表 3 饵料质量、刺参重量对摄食率影响的方差分析结果

变异来源 source of variation	自由度 df	平方和 quadratic sum	均方 mean square	F 值 F-value	P 值 P-value
有机物含量 OC	3	33.646	11.215	39.190	0.000
体质量 WW	3	145.912	48.637	169.955	0.000
饵料 OC × 体质量 WW	9	2.708	0.301	1.052	0.423
误差 deviation	32	9.158	0.286	-	-
总变异 total variation	47	191.423	-	-	-

表 4 饵料质量、刺参重量对吸收效率影响的方差分析结果

变异来源 source of variation	自由度 df	平方和 quadratic sum	均方 mean square	F 值 F-value	P 值 P-value
有机物含量 OC	3	1 774.90	591.63	20.07	0.00
体质量 WW	3	599.64	199.88	6.78	0.00
饵料 OC × 体质量 WW	9	124.60	13.84	0.47	0.88
误差 deviation	32	943.19	29.47	-	-
总变异 total variation	47	3 442.33	-	-	-

2.3 温度对不同体质量刺参摄食的影响

在实验温度范围内,随着水温的升高,4个规格刺参的摄食率、吸收效率都表现出增大的趋势(图2-a,b)。但是,不同规格的增大幅度不同,规格越小的刺参,受温度的影响越大,增幅也越大。

在温度为 5.1 °C 时,4个规格的刺参摄食率之间无显著性差异,但是,随着水温的升高,不同规格之间的差异显著($P < 0.05$)。在水温为 16.1 °C 时,A组刺参的吸收效率达 21.7%,而大规格组(D组)的吸收效率仅为 9.98%。

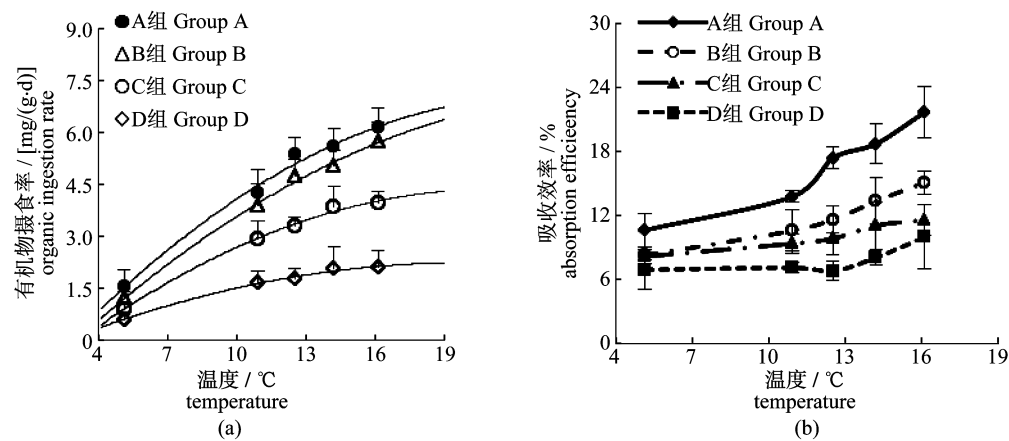


图 2 温度对不同规格刺参的有机物摄食率和吸收效率的影响

(a) 摄食率; (b) 吸收效率

Fig.2 Effects of water temperature on the ingestion efficiency, absorption rate of *A. japonicas* with different sizes

(a) ingestion rate; (b) absorption efficiency

不同规格刺参的摄食率与水温的关系式符合二次函数关系: $OIR = c \times T^2 + d \times T + e$, 系数 c, d, e 的值见表 5。

体质量、水温及其交互作用对刺参的摄食率的影响均极显著($P < 0.01$)。而温度、体质量对

刺参吸收效率的影响极其显著($P < 0.01$),但其交互作用对吸收效率的影响不显著($P > 0.05$)。水温、体质量与刺参摄食率的关系式: $OIR = 2.2 \times WW^{-0.384} + 0.033 \times WW^{-0.384} \times T^2 + 0.077 \times T$ ($R^2 = 0.939, P < 0.01$)。

表5 温度与不同规格刺参的摄食率回归方程的参数
Tab.5 Parameters related to regression equation
between organic content and ingestion
rate of *A. japonicas*

实验组 experiment group	温度/°C temperature			R^2
	c	d	e	
A(4.77 ± 0.95)g	-0.016 4	0.769	-1.977	0.990
B(15.12 ± 1.14)g	-0.012 7	0.678	-1.930	0.996
C(34.77 ± 7.95)g	-0.013 4	0.568	-1.659	0.997
D(78.13 ± 4.99)g	-0.007 5	0.298	-0.724	0.994

3 讨论

3.1 饵料质量对刺参摄食的影响

饵料质量是影响刺参生长、摄食、分布的重要因素之一^[8,12,13-14]。通常,随着饵料中有机物浓度的增加,刺参的摄食率会降低^[15-17],但因饵料中有机物含量的增加,刺参对有机物的摄食率并未降低。本研究发现,在实验的饵料条件下,刺参对有机物的摄食率与饵料中有机物含量呈正相关,但是刺参的吸收效率却并未随有机物含量增加而一直增加,可见刺参能通过吸收效率来调节对有机物的吸收能力。以往的研究发现,为了满足生长和代谢的能量需求,海洋生物存在不同程度的自身调节能力,以补偿外界食物条件的变化对其可能的负面影响,从而有效避免因有机物含量过高而导致过饱食或者有机物含量过低而造成能量摄入不足^[18]。例如,据报道在悬浮颗粒物浓度较高或有机物含量较低条件下,滤食性贝类通过调节其生理过程如吸收效率和/或滤水率来适应及补偿外界食物条件的变化(如食物浓度或有机物含量的变化等)^[19]。当然,刺参摄食率的变化不仅受饵料中有机物含量的影响,而且受其他环境及自身因素的综合影响,是非常复杂的。如投喂纯海带粉(有机物含量达57.5%)的饵料效果低于投喂海带粉与表层泥适宜配比的饵料效果^[16-17]。在我国刺参养殖过程中,饵料中添加一定比例表层泥的历史已久,虽然尚不能完全解释这一现象,但可能与表层泥中含有沙粒和少量的益生菌有关^[8,20]。本研究发现,饵料中有机物含量对刺参的吸收效率有显著影响。在饵料的有机物含量为12.15%时,吸收效率最高,且此时刺参具有较强的有机物摄食能力。因此适当调整饵料中有机物含量,可以促进刺参的摄食和生长。

3.2 温度对刺参摄食的影响

刺参具有“冬眠”、“夏眠”的习性,其摄食等生

理活动对温度变化极其敏感^[5,12,21-22]。本研究发现,在适宜的温度范围内,刺参对有机物的摄食率、吸收效率随温度的增加而增加,且不同规格刺参的增加幅度存在差异,这从刺参的摄食率与温度的关系($OIR = c \times T^2 + d \times T + e$)也可以反映出来。耦合的二次项系数|c|代表了刺参摄食率受温度影响的程度,该值越大,受温度的影响程度越大。可见,小规格刺参受温度影响更大(表5)。在室内的工厂化养殖过程中,适宜地增加水温,有助于刺参的摄食、生长;同时温度的增加不能太高,以免刺参“夏眠”而停止摄食^[22-23]。本研究发现刺参的吸收效率随体质量的增加而下降,这与赵永军等^[5]研究结果相一致。研究表明:刺参经常保持满腹状态,终日不断摄食,消化管一昼夜可充满1.14次^[5]。相比于大的刺参,体质量小的刺参消化道具有较大的比表面,增大了单位食物量与肠道的接触面,这可能是小刺参具有较高的吸收效率的原因。

3.3 饵料质量、体质量及温度、体质量双因素对刺参摄食率的影响

虽然刺参的摄食生理受到多种因素共同作用,如体质量、光周期、盐度及其生理状态等^[5,12,15,20-21],但是,水温和饵料是影响其摄食能力的关键因素。本实验获得了刺参摄食率与有机物含量、体质量的定量关系式($OIR = 12.55 \times WW^{-0.361} + 7.92 \times OC / (OC + 4.373) - 4.70 (R^2 = 0.973)$),及摄食率与水温、体质量的定量关系式($OIR = 2.2 \times WW^{-0.384} + 0.033 \times WW^{-0.384} \times T^2 + 0.077 \times T$);另外,也获得了容量评估模型所必需的参数:刺参摄食的最大摄食率和摄食的半饱和常数,这将有助于进一步开展自然海域刺参底播增殖容量的评估。

参考文献:

- [1] Liao Y L. Fauna Sinica; Echinodermata. Holothuroidea [M]. Beijing: Science Press, 1997: 148 - 152. [廖玉麟. 中国动物志: 棘皮动物门. 海参纲. 北京: 科学出版社, 1997: 148 - 152.]
- [2] Zhang Z N. Some progress of the study on the ecosystem dynamics for benthic-pelagic coupling [J]. Periodical of Ocean University of China, 2000, 30(1): 115 - 122. [张志南. 水层—底栖耦合生态动力学研究的某些进展. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(1): 115 - 122.]
- [3] Zamora L N, Jeffs A G. The ability of the deposit-feeding sea cucumber *Australostichopus mollis* to use natural variation in the biodeposits beneath mussel

- farms[J]. *Aquaculture*,2012,326(2):116-122.
- [4] Roberts D, Gebruk A, Levin V, *et al.* Feeding and digestive strategies in deposit-feeding holothurians [J]. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*,2003,38(1):257-262.
- [5] Zhao Y J, Zhang H. Ingestion and absorption of organic deposition by *Apostichopus japonicus* at various water temperatures [J]. *Fisheries Science*,2004,23(7):1-4. [赵永军,张慧.不同温度下刺参对有机沉积物的摄食与吸收.水产科学,2004,23(7):1-4.]
- [6] Huang J G. China fisheries statistical yearbook[M]. Beijing:China Agriculture Press,2011:25-26. [黄建光.中国渔业统计年鉴.北京:中国农业出版社,2011:25-26.]
- [7] Song A H, Li C L, Zhu H, *et al.* Isolation and identification of a strain of probiotic *Bacillus* from maricultural pond of *Apostichopus japonicus* Selenka [J]. *Marine Sciences*,2011,35(5):38-41. [宋爱环,李成林,朱虎,等.刺参养殖池塘中一株益生芽孢杆菌的分离及鉴定.海洋科学,2011,35(5):38-41.]
- [8] Liu S L, Yang H S, Zhou Y, *et al.* Simulative studies on utilization efficiency of *Apostichopus japonicus* on the biodeposit in the raft culture system in shallow sea[J]. *Marine Sciences*,2006,30(12):21-24. [刘石林,杨红生,周毅,等.刺参对筏式养殖海区生物沉积物清除作用的模拟研究.海洋科学,2006,30(12):21-24.]
- [9] Yuan X T, Wang L L, Yang H S, *et al.* Bio-scavenging of self-pollutants with different carbon and nitrogen loads from a raft bivalve and macroalgae culture system by deposit-feeding sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka [J]. *Chinese Journal of Ecology*,2012,31(2):374-380. [袁秀堂,王丽丽,杨红生,等.刺参对筏式贝藻养殖系统不同碳、氮负荷自污染物的生物清除.生态学杂志,2012,31(2):374-380.]
- [10] Conover R J. Assimilation of organic matter by zooplankton [J]. *Limnology and oceanography*,1966,11(3):338-345.
- [11] Zhou Y, Yang H, Liu S, *et al.* Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets [J]. *Aquaculture*,2006,256(1):510-520.
- [12] Guo N, Dong S L, Liu H. Effects of several diets on the growth and body composition of *Apostichopus japonicus*[J]. *Progress in Fishery Sciences*,2011,32(1):122-128. [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.]
- [13] Zhao P, Yang H S. Selectivity of particle size by sea cucumber *Apostichopus japonicus* in different culture systems[J]. *Marine Sciences*,2010,34(4):11-16. [赵鹏,杨红生.刺参对不同生境中沉积物粒度的选择.海洋科学,2010,34(4):11-16.]
- [14] Liu Y, Dong S, Tian X, *et al.* The effect of different macroalgae on the growth of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus* Selenka) [J]. *Aquaculture Research*,2010,41(11):881-885.
- [15] Sun Z L, Gao Q F, Dong S L, *et al.* Effects of dietary proportions of *Sargassum thunbergii* and sea mud on the C, N and P nutrient budgets of sea cucumber [J]. *Periodical of Ocean University of China*,2012,42(suppl.1):67-72. [孙侦龙,高勤峰,董双林,等.不同配比饲料对刺参C、N、P营养盐收支的影响.中国海洋大学学报:自然科学版,2012,42(增刊1):67-72.]
- [16] Liu Y, Dong S, Tian X, *et al.* Effects of dietary sea mud and yellow soil on the growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) [J]. *Aquaculture*,2009,286(3):266-270.
- [17] Yuan X, Yang H, Zhou Y, *et al.* The influence of diets containing dried bivalve feces and/or powdered algae on growth and energy distribution in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuroidea) [J]. *Aquaculture*,2006,256(1):457-467.
- [18] Wong W H, Cheung S G. Feeding behavior of the green mussel, *Perna viridis* (L.): Responses to variation in seston quantity and quality[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*,1999,236(2):191-207.
- [19] Hawkins A J S, Smith R F M, Bayne B L, *et al.* Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis*[J]. *Marine Ecology Progress Series*,1996,131(3):179-190.
- [20] Zhou H H, Ma H M, Zhang W B, *et al.* Effects of potential probiotics on growth performance and immune response of the juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*,2010,34(6):775-783. [周慧慧,马洪明,张文兵,等.仿刺参肠道潜在益生菌对稚参生长,免疫及抗病力的影响.水产学报,2010,34(6):775-783.]
- [21] Chen Y, Gao F, Liu G S, *et al.* The effects of

- temperature, salinity and light cycle on the growth and behavior of *Apostichopus japonicus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(5): 687-691. [陈勇, 高峰, 刘国山, 等. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响. 水产学报, 2007, 31(5): 687-691.]
- [22] Hu F G, Gao X, Wang Z G, *et al.* Studies on dormancy rule of *Apostichopus japonicus* [J]. Fishery Modernization, 2011, 38(2): 37-40. [胡凡光, 高翔, 王志刚, 等. 刺参休眠规律的研究. 渔业现代化, 2011, 38(2): 37-40.]
- [23] Li B Q, Yang H S, Zhang T, *et al.* Effect of Temperature on Respiration and Excretion of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2002, 33(2): 182-187. [李宝泉, 杨红生, 张涛, 等. 温度和体重对刺参呼吸和排泄的影响. 海洋与湖沼, 2002, 33(2): 182-187.]

Effects of water temperatures and diets quality on the ingestion rate of different size *Apostichopus japonicus*

YAO Yongfeng^{1,2}, ZHANG Jihong^{2*}, FANG Jianguang^{1,2}, Fang Jinghui²,
GAO Yaping², REN Lihua², ZHANG Yitao²

(1. College of Biology Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Sea ranching has become one of important ways to mariculture sea cucumber *Apostichopus japonicus*. As economic deposit feeder species, the sea cucumber has shown promise of removing and recycling the organic materials in the sediment and can play an important ecological role in the maricultural ecosystem. In order to understand the feeding eco-physiological characteristics of sea cucumber *A. japonicus*, feeding behaviors of different sizes of the sea cucumber at different temperature and feed quality conditions were observed. In this paper, the sea cucumbers were divided into 4 experimental groups by the wet weight. The feeds with different organic contents were got by mixing different ratios of kelp powder and sea mud. 5 temperature levels, i. e. (5.1 ± 0.4) , (10.9 ± 0.7) , (12.5 ± 0.6) , (14.2 ± 0.7) , (16.1 ± 0.6) °C were set. The results showed that OC and body weight, had significant influence on the ingestion rate of *A. japonicus*, however, the interaction of OC, WW had no significant influence on it. The relationship between ingestion rate (OIR) and organic content of feed (OC) could be described as $OIR = a \times OC / (OC + b)$, where a, b represented OIR_{max} , half-saturation constant, respectively. Moreover, the relationship between OIR and water temperature (T) could be described as $OIR = c \times T^2 + d \times T + e$, $c = -(0.0075 - 0.0164)$, $d = 0.298 - 0.769$, $e = -(0.742 - 1.977)$. Water temperature (T), wet weight (WW) had a significant influence on feeding behavior of *A. japonicus*. The interaction also had a significant influence on OIR, but not on AE. In addition, stepwise regression got the relationship of OIR T, WW or OIR OC, WW as follows: $OIR = 12.55 \times WW^{-0.361} + 7.92 \times OC / (OC + 4.373) - 4.70$ or $OIR = 2.2 \times WW^{-0.384} + 0.033 \times WW^{-0.384} \times T^2 + 0.077 \times T$ respectively. The covariance analysis results showed that the correlation coefficient of the equations reached a significant level. The results suggested that water temperature and food quality were the key factors affecting the feeding ability of the sea cucumber. Through this experiment, we got the necessary parameters for capacity assessment model, such as maximum feeding rate and half-saturation constant of feeding, which will further help to set up the carrying capacity model of sea cucumber farming.

Key words: *Apostichopus japonicus*; organic content of feed; water temperature; body wet weight; organic ingestion rate; absorption efficiency

Corresponding author: ZHANG Jihong. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn