

不同投喂水平对刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)生长、消化酶及免疫相关酶活性的影响*

王艺超^{1,2} 梁萌青¹ 郑珂珂¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

2. 大连海洋大学水产与生命学院 大连 116021)

摘要 试验研究了饥饿、次饱食、饱食和过饱食 4 个不同投喂水平(即 2%、3%、4%和 5%体重)对刺参[初始体重为(5.80±0.02) g]生长性能、体成分、消化性能以及刺参体壁与体腔液内超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)和溶菌酶(LZM)活性的影响。试验在室内静水养殖系统中进行, 试验水温为 19–21℃, 为期 60 d。结果显示, 在次饱食水平下, 刺参特定生长率达到最高, 显著高于饥饿水平和过饱食水平($P<0.05$), 但与饱食水平差异不显著($P>0.05$); 刺参肠道胰蛋白酶活性均随着投喂水平的提高而升高, 在过饱食水平下达到最高, 显著高于饥饿水平和次饱食水平($P<0.05$), 但与饱食水平差异不显著($P>0.05$); 刺参肠道淀粉酶活性随着投喂水平的提高呈现先下降后保持稳定的趋势, 在饱食水平之后达到稳定; 在饱食水平下, 刺参体壁和体腔液 AKP、SOD 及 LZM 活性均表现出较高水平, 表明在饱食投喂水平下, 刺参抗病能力最强; 不同投喂水平对刺参体壁营养成分以及刺参脏壁比均无显著影响($P>0.05$)。因此, 建议刺参养殖采用饱食水平进行投喂。

关键词 投喂水平; 刺参; 生长; 消化酶; 体成分

中图分类号 S936 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)01-0087-06

刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)因蛋白质含量高、脂类含量低, 并含有丰富的功能性多糖, 具有滋补强身之功效, 被视为重要的海珍品(廖玉麟, 1997)。近年来, 刺参消费需求逐年增加, 刺参养殖产业迅速发展, 但同时导致刺参自然资源的过度开发和种群数量的急剧下降。

但目前在刺参养殖过程中, 对刺参饲料投喂水平的界定, 养殖户通常凭经验而定, 缺乏科学性。如果投喂水平过高, 饲料利用率低, 造成饲料浪费、水质污染等问题; 如果投喂水平不足, 饲料中的营养物质主要用于维持刺参的基础代谢, 而用于生长部分的比例偏低, 影响刺参的正常生长。同时, 刺参摄食不均, 部分刺参处于半饥饿状态, 导致个体大小差异悬殊, 影响刺参养殖

的经济效益(吴锐全, 2005)。对于刺参健康养殖来说, 科学合理投喂是促进刺参快速生长、提高饲料转化率、降低饲料成本、提高经济效益的关键。本研究参考鱼类养殖中“四定”原则(定时、定位、定质和定量)(柳富荣, 2004; 谢信桐, 2004; 陈礼强, 2005), 分别从刺参的生长性能、体壁成分、肠道消化酶活性以及体壁和体腔液中免疫相关酶活性四个方面研究了饲料投喂水平对刺参的影响, 以期对刺参科学投喂提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验饲料为商业海参专用饲料 2 号料, 饲料细度 \geq

* 中国水产科学研究院基本科研业务费(2014A08XK05)资助。王艺超, E-mail: lengye_hanxing@126.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2015-02-11, 收修改稿日期: 2015-04-22

200目,主要营养成分:粗蛋白20.70%,粗脂肪0.97%,灰分34.48%,能量10.34 kJ/g。将饲料与海泥按4:6的比例加清水混制成饲料泥浆,泼洒投喂。

1.2 试验设计

经过24 h摄食后,养殖桶中略有残饵的状态被判定为刺参的饱食状态,达到此状态的投喂水平称作饱食投喂水平。初期预实验结果表明,刺参对试验饲料的饱食投喂水平为刺参体重的4%,故本试验设置的饥饿、次饱食、饱食和过饱食4个投喂水平分别对应投喂量为刺参体重的2%、3%、4%和5%,每个处理设3个重复,每个重复放养刺参35只。试验周期为60 d,试验期间,每隔7 d对刺参称重1次,根据刺参体重相应调节投喂量,记录每天投喂量。

1.3 刺参养殖

刺参规格为(5.80±0.02) g。选取健康刺参个体,采取饱食投喂驯养7 d后,开始分组试验。刺参每日投喂1次(17:00),每天换水1次,换水量约为2/3。试验用水为砂滤自然海水,温度为19–21℃,溶氧≥6.0 mg/L。

1.4 样品采集及处理

1.4.1 生长测定 刺参取样前禁食24 h。每个重复在黑暗中沥水10 min后,称重。每个重复随机选取刺参3只,分别称重体壁和内脏团。相关生长指标计算公式如下:

$$\text{增重率}(WGR)(\%)=(W_t-W_0)/W_0 \times 100\%;$$

$$\text{特定生长率}(SGR)(\%/d)=(\ln W_t - \ln W_0)/t;$$

$$\text{脏壁比}(VBR)(\%)=W_v/W_b \times 100\%;$$

$$\text{饲料效率}(FE)(\%)=(W_t-W_0)/W_f \times 100\%$$

式中, W_t 为试验结束时刺参的平均体重,单位为g; W_0 为试验开始时刺参的平均体重,单位为g; t 为试验天数,单位为d; W_v 为刺参内脏团质量,单位为

g; W_b 刺参体壁质量,单位为g; W_f 为平均投喂量,单位为g。

1.4.2 生化样品采集及测定 每个重复随机选取刺参3只,吸取刺参体腔液放入液氮中速冻,于-80℃中保存待测。在刺参相同部位剪取1 g左右体壁,于-20℃保存待测。取肠道于-20℃保存待测。试验待测消化酶包括肠道淀粉酶与胰蛋白酶;体壁和体腔液内待测免疫相关酶包括超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)以及溶菌酶(LZM)。上述所有酶活性均选用南京建成相应试剂盒进行测定。

1.4.3 体成分样品采集及测定 每个重复随机取6只刺参体壁,-20℃保存待测。体壁与饲料分别于65℃和105℃下烘干至恒重,测定水分含量;粗蛋白采用Foss半自动凯氏定氮仪进行测定;粗脂肪采用索氏抽提仪进行测定;能量采用Parr 6100型全自动氧弹量热仪测定;灰分采用马弗炉550℃煅烧法测定。

采用SPSS 17.0软件包对数据结果进行单因素方差分析(One-way ANOVA),差异显著后进行Duncan's多重比较,数据以平均值±标准差表示,差异显著水平为0.05。

2 结果

2.1 不同投喂水平对刺参生长的影响

随着刺参投喂水平的提高,增重率和特定生长率均先升高后降低,且均在3%体重的投喂水平下达到最大,分别为103.55%和1.36%/d,显著高于2%体重组和5%体重组($P<0.05$);4%体重的投喂水平下,刺参生长略低于3%体重组,但差异并不显著($P>0.05$)。饲料效率同样随着投喂水平的提高而呈现先升高后降低的趋势,在3%体重的投喂水平下,饲料效率达到最高,为15.37%,显著高于2%和5%水平($P<0.05$),但与4%体重组差异不显著($P>0.05$) (表1)。

表1 不同投喂水平对刺参的生长性能的影响

Tab.1 The effect of different ration levels on growth performance of *A. japonicus*

投喂水平 Ration level	初始体重 Initial weight (g)	终末体重 Final weight (g)	增重率 WGR (%)	特定生长率 SGR (%/d)	饲料效率 FE (%)
饥饿 Hunger(2%)	5.79±0.01	8.68±0.39 ^b	72.68±5.96 ^b	1.11±0.01 ^a	12.53±0.88 ^b
次饱食 Subsatiation(3%)	5.79±0.01	9.87±1.44 ^a	103.55±7.68 ^a	1.36±0.07 ^a	15.37±0.31 ^a
饱食 Satiation(4%)	5.79±0.01	9.18±1.18 ^{ab}	86.95±0.21 ^{ab}	1.20±0.01 ^{ab}	14.61±0.31 ^a
过饱食 Oversatiation(5%)	5.81±0.01	8.48±0.83 ^b	69.48±8.28 ^b	1.01±0.09 ^b	10.88±0.52 ^b

注: 同列数据中相同上标字母表示差异不显著($P>0.05$)

Note: Values in the same column with same superscripts are not significantly different ($P>0.05$)

2.2 不同投喂水平对刺参消化酶活性的影响

刺参肠道胰蛋白酶活性随着投喂水平的提高呈上升的趋势, 在 5% 体重水平下, 胰蛋白酶活性达到最高(54.4 U/mg prot), 显著高于 2% 和 3% 体重水平 ($P < 0.05$), 但与 4% 体重水平差异不显著 ($P > 0.05$)。刺参肠道淀粉酶活性呈现随投喂水平的提高先降低后不变的趋势, 其中, 在 2% 体重水平下, 淀粉酶活性达到最高(0.75 U/mg prot), 显著高于其他水平 ($P < 0.05$), 在 4% 体重水平之后, 淀粉酶活性保持稳定(表 2)。

表 2 不同投喂水平对刺参肠道淀粉酶和胰蛋白酶活性的影响

Tab.2 The effect of different ration levels on the activities of amylase and trypsin in intestines of *A. japonicus*

投喂水平 Ration level	淀粉酶活性 Amylase activity (U/mg prot)	胰蛋白酶活性 Trypsin activity (U/mg prot)
饥饿 Hunger(2%)	0.75±0.01 ^a	33.9±0.95 ^b
次饱食 Subsatiation(3%)	0.56±0.03 ^b	33.1±1.71 ^b
饱食 Satiation(4%)	0.34±0.02 ^c	47.2±7.34 ^a
过饱食 Oversatiation(5%)	0.33±0.02 ^c	54.4±3.14 ^a

注: 同列数据中相同上标字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)

Note: Values in the same column with same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$)

2.3 不同投喂水平对刺参体壁及体腔液中 AKP、SOD、LZM 活性的影响

刺参体壁 AKP、SOD、LZM 活性均随投喂水平的提高呈现先升高后降低的趋势(表 3)。其中, AKP 活性在 4% 体重水平下达到最高, 为 55.25 Kim unit/g prot,

显著高于 2% 体重水平 ($P < 0.05$), 但与 3% 和 5% 水平差异并不显著 ($P > 0.05$); SOD 活性在 4% 水平下达到最高, 为 69.72 U/mg prot, 显著高于 2% 和 5% 水平 ($P < 0.05$), 但与 3% 水平差异并不显著 ($P > 0.05$); LZM 活性同样在 4% 水平下达到最高, 为 4.83 μ g/mg prot, 显著高于其他 3 个水平 ($P < 0.05$)(表 3)。

刺参体腔液 AKP、SOD、LZM 活性表现出与体壁中相同的趋势。其中, AKP 活性在 4% 体重水平下达到最高, 为 0.22 Kim unit/100 ml, 显著高于 2% 和 5% 水平 ($P < 0.05$), 但与 3% 水平差异不显著 ($P > 0.05$); SOD 活性在 4% 水平下达到最高, 为 19.55 U/ml, 显著高于其他 3 个水平 ($P < 0.05$); 同样, LZM 活性在 4% 水平下也达到最高, 为 2.68 μ g/ml, 显著高于 2% 和 5% 水平 ($P < 0.05$), 与 3% 水平差异不显著 ($P > 0.05$)(表 3)。

2.4 不同投喂水平对体壁成分及脏壁比的影响

不同投喂水平下刺参体壁成分及脏壁比见表 4。刺参体壁水分含量在 91%–92% 之间, 蛋白含量在 41%–42% 之间, 脂肪含量在 1.6%–1.7% 之间, 灰分在 34%–36% 之间, 脏壁比在 0.16–0.23 之间。在不同的投喂水平下, 体壁成分和脏壁比虽有差异, 但组间差异并不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

对鱼类投喂水平的研究已多见报道, 研究表明, 对翘嘴鲈鱼(*Siniperca chuatsi* Basilewsky)(王乾等, 2013)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)(李滑滑等, 2013)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)(陈晶等, 2012)等鱼类来说, 其特定生长率随投喂水平的提高呈上升的趋势。本研究发现, 刺参的特定生长率随着投喂水平的

表 3 不同投喂水平对刺参体壁和体腔液中 AKP、SOD、LZM 活性的影响

Tab.3 The effect of different ration levels on the activities of AKP, SOD, and LZM in body wall and coelomic fluid of *A. japonicus*

投喂水平 Ration level	AKP		SOD		LZM	
	体壁 Body wall (Kim unit/g prot)	体腔液 Coelomic fluid (Kim unit/100 ml)	体壁 Body wall (U/mg prot)	体腔液 Coelomic fluid (U/ml)	体壁 Body wall (μ g/mg prot)	体腔液 Coelomic fluid (μ g/ml)
饥饿 Hunger(2%)	37.51±3.20 ^b	0.13±0.01 ^b	61.97±1.40 ^b	12.03±0.73 ^b	3.42±0.18 ^b	1.33±0.03 ^a
次饱食 Subsatiation(3%)	48.85±1.14 ^a	0.17±0.02 ^{ab}	65.02±2.86 ^{ab}	12.47±0.35 ^b	3.44±0.14 ^b	2.53±0.18 ^a
饱食 Satiation(4%)	52.25±4.42 ^a	0.22±0.01 ^a	69.72±2.19 ^a	19.55±0.31 ^a	4.83±0.06 ^a	2.68±0.19 ^a
过饱食 Oversatiation(5%)	51.67±3.19 ^a	0.13±0.01 ^b	26.26±2.13 ^c	12.97±0.47 ^b	3.16±0.28 ^b	1.58±0.13 ^a

注: 同列数据中相同上标字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)

Note: Values in the same column with same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$)

表 4 不同投喂水平对刺参体壁成分及脏壁比的影响

Tab.4 The effect of different ration levels on the body wall composition and viscera body wall ratio of *A. japonicus*

投喂水平 Ration level	水分 Moisture (%)	蛋白含量 Protein (%)	脂肪含量 Lipid (%)	灰分 Ash (%)	脏壁比 VBR (%)
饥饿 Hunger(2%)	91.78±0.46	41.83±0.84	1.67±0.02	35.84±0.51	0.22±0.03
次饱食 Subsatiation(3%)	92.02±0.18	41.89±1.73	1.70±0.02	35.05±0.88	0.19±0.02
饱食 Satiation(4%)	91.85±0.30	42.34±0.61	1.74±0.01	34.51±0.13	0.17±0.01
过饱食 Oversatiation(5%)	91.61±0.10	42.43±0.16	1.73±0.03	34.81±0.26	0.23±0.02

注：同列数据中相同上标字母表示差异不显著($P>0.05$)

Note: Values in the same column with same superscripts are not significantly different ($P>0.05$)

提高,呈现先升高后降低的趋势,其中,在次饱食(3%体重)的投喂水平下,增长率和特定生长率达到最高,饱食水平组(4%体重)生长状况略差,但与次饱食水平组(3%体重)并无明显差异。分析原因,可能是随着摄食量的提高,刺参可利用的物质和能量储存得到满足,使得饲料效率得到提高,从而促进刺参的生长(于东祥等, 2010)。当投喂水平达到了过饱食状态(5%体重)时,由于肠道排空与进食速度差的影响,饲料不能得到很好的利用,导致饲料的残留,饲料效率因此而降低;另外,残饵的出现会诱发微生物滋生、耗氧增加、水质败坏等一系列问题,刺参的生长受到阻碍(苗淑彦等, 2009; Oseni *et al.*, 1992; 蒋艾青等, 2006)。安振华等(2008)在对刺参日粮水平的研究中得出与本研究相一致的结果。

在对泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)(刘姚等, 2011)、中华鳖(*Trinogy sinensis*)(雷思佳, 2003)等的研究中发现,养殖动物体成分中水分和灰分的含量随着投喂水平的提高而降低,粗脂肪和粗蛋白的含量随着投喂水平的提高而上升。本研究发现,不同投喂水平对刺参体成分的影响并不显著($P>0.05$)。分析原因,可能是养殖对象以及养殖环境的不同导致投喂水平对养殖动物的影响表现出不一致性,也可能是试验设置的投喂水平还不足以影响刺参体成分,具体原因还有待进一步的研究。在对大菱鲆(李滑滑等, 2013)、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)(胡亮等, 2010)等研究中得出与本研究相似的结果。不同投喂水平对刺参脏壁比也没有显著影响。田青等(2014)研究表明,过度饥饿会导致刺参脏壁比逐渐增大。本研究设置的投喂水平尚不能使刺参过度饥饿,暂且可以认为投喂水平对刺参脏壁比没有影响。

消化酶是反映水产动物生理状态和对环境适应能力的重要指标之一,消化酶活性的变化能够反映水

产动物营养生理的变化,与水产动物的生长发育有着密切联系(张洪彩等, 2014; Biesiot *et al.*, 1995)。在本研究中,刺参肠道胰蛋白酶活性随着投喂水平的提高而提高,分析原因,可能是随着摄入饲料水平的提高,摄入的蛋白量也随之提高,胰蛋白酶与底物接触概率增大,从而更好地刺激胰蛋白酶的分泌,并促进其活性的提高(冯丹等, 2014)。刺参肠道淀粉酶在投喂水平不足的情况下活性较高,是为了能够更好地利用食物来满足自身生长以及能量消耗(高鹏程, 2013)¹⁾,随着投喂水平的提高,刺参肠道淀粉酶活性呈现先降低后保持稳定的趋势,这可能是刺参肠道消化酶之间相互影响的结果(冯丹等, 2014)。在鲤鱼(*Cyprinus carpio*)(王燕妮等, 2001)、克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)(芦光宇等, 2012)等的研究中表现出相似的结果。

刺参病害是影响刺参工厂化养殖面临的最严重的问题之一,刺参发病存在潜伏期长、发病快、蔓延迅速的特点,因此,如何提高刺参本身的抗病能力是当前刺参养殖的焦点之一。在正常生理状态下,动物机体的各项生理指标会维持在一个动态平衡的状态,而机体的各项生化指标的变化能够在一定程度上反映出动物的健康状况(Djangmah, 1970)。刺参的防御机制主要是非特异性免疫,包括体壁防御和体腔液免疫,体壁和体腔液内分布的免疫相关酶发挥着重要作用(王际英等, 2014)。SOD 是一种防御生物体内活性氧或自由基伤害的最重要酶类(Fridovich, 1989),有研究指出, SOD 活性与生物体免疫水平有着密切的联系(张元发, 2011²⁾; 王吉桥等, 2011; 刘云等, 2008; Zhang *et al.*, 2000)。AKP 是一种磷酸单脂水解酶,在碱性条件下,可使磷酸单脂水解生成乙醇和磷酸,是重要的解毒系统(Johnson, 1969)。LZM 主要通过水解革兰氏阳性细菌细胞壁,并刺激吞噬细胞吞噬细菌和侵入机体的异物(Hikima *et al.*, 2003),其活性是生物体非特

1) 高鹏程. 饥饿后恢复投饵对刺参生长的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 29-34

2) 张元发. 大黄酸在刺参、南美白对虾体内的代谢及大黄对刺参的免疫影响. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2011

异性免疫的重要指标之一。本研究发现,饱食水平(4%体重)下,刺参体壁和体腔液中 AKP、SOD、LZM 活性均表现出较高水平,说明在饱食(4%体重)的投喂水平下,刺参非特异性免疫防御能力高于其他组,抗病能力相对较强。付鑫等(2011)、王路平等(2009)的研究也表明,动物机体在摄食不足的情况下,需要降低代谢水平来节省能量损耗,从而会导致动物体质下降,而过量投喂导致的水质等问题同样是影响刺参体质的重要因素之一。

4 结论

不同的投喂水平对刺参的生长、消化和其他生化指标均有显著影响。在生长性能方面,饱食水平(4%体重)与次饱食水平(3%体重)的特定生长率以及饲料效率都达到最高;在消化性能方面,饱食水平胰蛋白酶活性与淀粉酶活性最稳定;在非特异性免疫方面,饱食水平下体壁与体腔液内 SOD、AKP、LZM 活性均表现出较高水平,刺参抗病能力相对较强,建议刺参养殖采用饱食水平(4%体重)投喂。

参 考 文 献

于东祥,孙慧玲,陈四清,等. 海参健康养殖技术. 北京:海洋出版社,2010

王路平,吴垠,班红琴,等. 微生态制剂对刺参幼参在封闭式循环养殖系统中的应用研究. 中国微生态学杂志,2009,21(6): 497-499

王乾,梁旭方,刘奕鸿,等. 摄食水平对翘嘴鲌幼鱼体组成、生长、排粪、排泄及氮收支的影响. 华中农业大学学报,2013,32(5): 89-94

王吉桥,李爽,路颀,等. 间歇投喂添加蛋氨酸硒饲料对仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)幼参生长和免疫指标的影响. 水产学杂志,2011,24(3): 1-5

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

王燕妮,张志蓉,郑曙明. 鲤鱼的补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响. 水利渔业,2001,21(5): 6-7

冯丹,高勤峰,董双林. 不同蛋白水平饲料对刺参生长和消化酶活性的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版),2014,44(2): 35-40

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

田青,荣小军,李彬,等. 饥饿胁迫对刺参(*Apostichopus japonicus*)免疫和生长的影响. 渔业科学进展,2014,35(4): 71-76

刘姚,王永军,田秀娥,等. 摄食水平对泥鳅生长、饲料利用率和体成分的影响. 饲料工业,2011,32(12): 26-28

孙丽华,陈浩如,黄洪辉,等. 摄食水平和饵料种类对军曹鱼

幼鱼生长及氮收支的影响. 热带海洋学报,2010,29(4): 94-101

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

安振华,董云伟,董双林. 日粮水平对周期性变温模式下刺参生长和能量收支的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版),2008,38(5): 738-743

刘云,孔伟丽,姜国良,等. 2种免疫多糖对刺参组织主要免疫酶活性的影响. 中国水产科学,2008,15(5): 787-793

吴锐全. 水产养殖中的饲料投喂(上). 科学养鱼,2005(1): 65-66

张洪彩,宋江艳,陈政强,等. 不同规格刺参消化酶活性差异性研究. 泉州师范学院报,2014,32(2): 27-30

芦光宇,刘国兴,陈肖玮,等. 饥饿对克氏原螯虾消化酶和抗氧化酶活性的影响. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2012,33(4): 34-37

陈礼强. 浅论在水产养殖中怎样掌握投饲技术. 渔业致富指南,2005(10): 17-18

林祥日. 摄食水平和温度对漠斑牙鲆生长率的影响. 淡水渔业,2008,38(2): 68-70

陈晶,吴立新,吴玉波,等. 不同摄食水平对牙鲆幼鱼生长及能量收支的影响. 水产科学,2012,32(1): 1-6

苗淑彦,王际英,张利民,等. 水产动物残饵及粪便对养殖水环境的影响. 饲料研究,2009(2): 64-67

柳富荣. 鱼类配合饲料及合理投喂. 水产养殖,2004(7): 28-29

胡亮,王兰梅,薛敏,等. 蛋白质水平和混合动物蛋白替代鱼粉水平对花鲈生长性能和体成分的影响. 动物营养学报,2010,22(4): 1113-1121

黄建盛,陈刚,张健东,等. 摄食水平对卵形鲳鲹幼鱼的生长和能量收支的影响. 广东海洋大学学报,2010,30(1): 18-24

曾祥玲,林小涛,刘毅. 摄食水平对不同性别食蚊鱼仔幼鱼生长发育的影响. 水生生物学报,2011,35(3): 384-392

谢信桐. 鱼用配合饲料投喂技术. 江西饲料,2004(2): 23-25

蒋艾青,郑陶生,杨四秀. 池塘残饵分解对养殖水环境影响的研究. 水利渔业,2006(5): 81-82,85

雷思佳,叶世洲,胡先勤. 饵料类型、摄食水平和体重对中华鳖生化成分和比能值的影响. 华中农业大学学报,2003,22(3): 251-256

廖玉麟. 中国动物志 棘皮动物门 海参纲. 北京:科学出版社,1997

Millamena OM, 杜久香. 残饵及代谢物对斑节对虾育苗的影响. 水产科技情报,1992,19(4): 118-120

Biesiot PM, Capuzzo JMD. Digestive protease, lipase and amylase activities in stage I larvae of the American lobster, *Homarus americanus*. Comp Biochem Phys A, 1990, 95(1): 47-54

Djangmah JS. The effects of feeding and starvation on copper in the blood and hepatopancreas, and on blood proteins of *Crangon vulgaris* (Fabricius). Comp Biochem Phys, 1970, 32(70): 709-731

Fridovich I. Superoxide dismutases. An adaptation to a

paramagnetic gas. *J Biol Chem*, 1989, 264(14): 7761–7764
 Hikima S, Hikima JI, Rojtinakorn J, *et al.* Characterization and function of kuruma shrimp lysozyme possessing lytic activity against *Vibrio* species. *Gene*, 2003, 316(2): 187–195
 Johnson PT. The coelomic elements of sea urchins

(*Strongylocentrotus*). *Histochemie*, 1969, 17(3): 213–231
 Zhang RQ, Chen QX, Zheng WZ, *et al.* Inhibition kinetics of green crab (*Scylla serrata*) alkaline phosphatase activity by dithiothreitol or 2-mercaptoethanol. *Int J Biochem Cell Biol*, 2000, 32(8): 865–872

(编辑 冯小花)

Effects of Different Ration Levels on Growth, Activities of Digestive Enzymes and Immunity-Related Enzymes in *Apostichopus japonicus* Selenka

WANG Yichao^{1,2}, LIANG Mengqing¹①, ZHENG Keke¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;
 2. College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116021)

Abstract In this study we investigated the growth performance, body composition, digestive performance and activities of superoxide dismutase (SOD), alkaline phosphatase (AKP), lysozyme (LZM) in the body wall and coelomic fluid of *Apostichopus japonicus* Selenka with the initial weight of (5.80±0.02) g fed at four different ration levels. The experimental subjects were maintained at hunger, subsatiation, satiation and oversatiation levels being fed with 2%, 3%, 4%, 5% of their weight respectively. A 2-month growth experiment was carried out in the indoor static-water culture system, and the water temperature was between 19°C and 21°C. It was found that the specific growth rate first increased and then decreased as the ration level changes. It was the highest at the subsatiation level, and was significantly higher than at hunger and oversatiation levels ($P<0.05$). However, there was no significant difference in the specific growth rate between the subsatiation level and satiation level ($P>0.05$). The activity of trypsin in the intestines of *Apostichopus japonicus* was raised along with the increase in the ration level, and reached the highest at the oversatiation level. The activity at this level was higher than at the hunger and subsatiation levels ($P<0.05$), but not significantly different from the satiation level ($P>0.05$). Along with the increase in the ration level, the activity of amylase in the intestines was first decreased and then stabilized, and the highest activity of amylase appeared at the satiation level before leveling off. The activities of AKP, SOD and LZM in the body wall and the coelomic fluid also first increased followed by a decrease. The highest activities of these immunity-related enzymes all appeared at the satiation level. Because the activities of the immunity-related enzymes indicate the resistance to diseases, we deduced that *A japonicus* could be the most disease-resistant at the satiation level. There were no significant differences in the body composition and the viscera body wall ratio between different ration levels ($P>0.05$). Our results suggested that the optimal ration level should be satiation (4% of *A japonicus* weight in this study).

Key words Ration level; *Apostichopus japonicus* Selenka; Growth; Digestive enzyme; Body composition

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn