

温度调控对刺参夏眠期生长和体壁成分的影响

陈世波^{1,2} 刘慧² 朱建新^{2*}

(¹ 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(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 266000)

摘要 将体重为(65.26±4.37)g的刺参分成3组(A组为室内低温养殖, B组为夏眠30d后室内低温养殖, C组为夏眠60d后室内低温养殖), 在不同温度条件下养殖120d, 期间多次取样分析和比较刺参生长状况和体壁成分的变化。刺参夏眠期体质量显著下降, 夏眠后体重增加明显。A、B、C三组刺参的特定生长率分别为-0.03%、0.27%、0.32%/d, 存活率分别为91.67%、71.43%、53.57%, 说明低温度夏虽然不能促进生长, 但成活率高。刺参体壁主要营养成分含量由高到低依次为水分、粗蛋白、灰分、总糖和粗脂肪。养殖30d后, 夏眠组与室内低温组相比, 粗蛋白和粗脂肪含量增加, 水分、灰分和总糖含量减少。实验结束时, A、C两组刺参体壁各营养成分与实验开始时无显著性差异($P>0.05$); B组除粗脂肪含量显著低于实验开始时($P<0.05$)外, 其他体壁营养成分无显著性差异($P>0.05$)。研究表明, 高温季节低温饲养并不能解除所有刺参夏眠; 刺参经历夏眠蛰伏后有一个体重快速增长期; 刺参在体重快速增长的同时, 体壁营养成分含量无显著性变化。

关键词 刺参 养殖条件 体壁营养成分 生长状况

中图分类号 S966.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)06-0100-07

Effects of different temperature regime on growth and body wall composition of *Apostichopus japonicus* during aestivation

CHEN Shi-bo^{1,2} LIU Hui² ZHU Jian-xin^{2*}

(¹ College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(² Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Chinese Academy of Fishery Sciences, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Qingdao 266000)

ABSTRACT To investigate the effect of low temperature treatment on growth and body wall composition of *Apostichopus japonicus* during aestivation, three groups of sea cucumbers, average body weight (65.26±4.37)g, were cultured for 120d at different temperature regimes. Treatment A was cultured at low temperature indoor throughout the experiment, while Treatments B and C were cultured at low temperatures indoor after aestivation for 30d and 60d, respectively. The sea cucumbers were sampled every 30 days during the experiment, and their growth and body wall composition were analyzed and compared. It was found that, the weight of sea cucumbers decreased significantly during aestivation, but increased significantly after aes-

山东省科学技术发展计划项目(2010GHY10510)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2010-cb-03)共同资助

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

收稿日期: 2013-02-16; 接受日期: 2013-04-15

作者简介: 陈世波(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事刺参工厂化养殖研究。E-mail: andy_bob@126.com

tivation. Low temperature treatment did prevent most of the sea cucumbers from aestivation, yet their growth performance was not as good as the other treatments. The specific growth rate of Treatments A, B and C were $-0.03\%/d$, $0.27\%/d$ and $0.32\%/d$, however, their survival rate were 91.67% , 71.43% and 53.57% , respectively. Although being cultured at low temperatures during aestivation season did not promote growth of the animals, it may contribute to higher survivorship. The nutritional components of sea cucumber body wall, ranking from high to low percentage, were moisture, crude protein, ash, total sugar and crude lipids. After being cultured for 30d, Treatments B and C showed higher contents of crude protein and crude lipids, but less moisture, ash and total sugar, compared to Treatment A. By the end of the experiment, Treatments A and C showed no significant difference ($P > 0.05$) in body wall composition compared to their initial values; this was also found in Treatment B except its content of crude lipids, which was significantly lower ($P < 0.05$) than the initial value. The results indicated that some of the sea cucumbers may still go aestivating despite low temperature treatment in summer; sea cucumbers generally show a rapid weight gain after aestivation, and this weight gain may not accompany significant change in body wall composition. This study would provide important data support for industrialized farming of sea cucumbers.

KEY WORDS Sea cucumber *Apostichopus japonicus* Breeding conditions
Body wall composition Growth

仿刺参俗称刺参,属刺参科、仿刺参属,是我国人民喜爱的海珍品(廖玉麟 1997)。我国刺参养殖历史悠久,2010年刺参养殖产量达到13万t,产值超过300亿元,是沿海渔民增产增收的重要支柱产业之一。刺参属温带种系,主要分布于北太平洋沿岸浅海,适宜刺参生长的温度为 $5\sim 17^{\circ}\text{C}$,最适水温为 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ (于东祥等 1999)。当水温过高或过低时刺参会进入休眠状态,并引起一系列生理反应,如停止摄食、肠道退化萎缩等(刘永宏等 2007;袁秀堂等 2007;王吉桥等 2007;胡凡光等 2011),这是影响刺参养殖产量和养成周期的关键因素之一。对刺参夏眠的研究主要集中在其生理生态学基础层面,同时越来越多的研究向刺参夏眠的分子机理方面深入(袁秀堂等 2007;王方雨等 2009;王天明 2009;Dong *et al.* 2006;Ji *et al.* 2008),而对刺参夏眠时间和夏眠周期的调控方法则缺乏必要的研究。本研究通过在高温季节对刺参进行低温饲育,探讨消除或缩短夏眠时间对刺参生长情况及体壁营养成分的影响,探索通过控温延长刺参生长周期、提高其生长速度和养殖成活率的方法,为刺参工厂化养殖提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 实验刺参来源及规格

实验用刺参购自山东烟台开发区天源水产有限公司,选取大小均匀、健康无病的个体用于实验。刺参规格为 $(65.26 \pm 4.37)\text{g}/\text{头}$ 。

1.2 实验方法

1.2.1 刺参驯化

实验在山东烟台开发区天源水产有限公司进行。自2012年6月22日开始进行驯养,暂养于10个直径为1.2m、容积为 0.5m^3 的养殖桶内,每桶内随机放养30头刺参。所有刺参均投喂同种饲料(海泥和海藻粉质量比为3:1),饲料的营养成分为粗蛋白 6.69% 、粗脂肪 0.51% 、粗灰分 73.825% 、总糖 13.035% 。

养殖实验用海水为地下深井海水,经过沉淀、砂滤,水温恒定为 14.8℃。采用常流水养殖,以保证溶氧在 5mg/L 以上、温度在 15~17℃之间。海水 pH 值为 7.5,盐度为 30,试验期间为自然光照。

投喂前将海泥和海藻粉按比例加少量海水混合,均匀泼洒在养殖桶内,每天 16:00 过量投喂 1 次,在投喂前虹吸出残饵及粪便。每次投饵前停止流水,投饵后待饲料全部沉淀再开启;每次停水大约 30min,以避免饲料随水流失。待驯化的刺参出现有规律摄食后,选取健康无病、规格相近的刺参开始实验。

1.2.2 实验分组处理

驯化于 2012 年 6 月 29 日结束,共挑选出 258 头刺参,随机取样 6 头回实验室测定其体壁营养成分。将其余 252 头刺参平均分成 3 组(A、B、C),每组 3 个重复,暂养于 9 个直径为 1.2m、容积为 0.5m³ 的养殖桶内,每桶内 28 头刺参。B、C 两组用加热棒每天升温 1℃,A 组实验条件与驯化相同。B、C 两组升温过程中刺参摄食量慢慢下降,到 22℃ 停止摄食进入夏眠状态,此时实验正式开始。

1.2.3 生长测定和样品采集

养殖实验于 2012 年 7 月 6 日正式开始,共 120d。A 组采用室内常流水养殖以保持养殖水温不变,照常投喂,且养殖管理与驯化时相同;B、C 两组移植到室外网箱内,网箱规格为 40cm×60cm×80cm,每个网箱内投放 4 片瓦充当附着基。室外池塘水深 1.5~1.7m,底部为投放的礁石,网箱在礁石上面。投放网箱时池塘水温为 22℃,后自然升温并一直高于 22℃,最高时达到 29℃。室外处理组不投喂饵料,但移回室内养殖后养殖条件与 A 组相同。

A 组在室内常流水低温养殖,每隔 30 d 称量体重,于 8 月 5 日和实验结束时各小组取样两头,其中实验结束取样时挑选质量大的刺参,放于-80℃ 冰箱内,实验结束后检测体壁营养成分。

B 组池塘网箱养殖 30d,记录存活个数后,每个单独称量体重,每小组随机取样两头,将剩余刺参移至室内常流水低温养殖,养殖 90d,每隔 30d 称量体重,实验结束时各小组挑选质量大的刺参两头,回实验室检测体壁营养成分。

C 组池塘养殖 30d,记录存活个数后,每个单独称量体重。然后每小组随机取样两头,剩余刺参仍为室外池塘网箱养殖,再养殖 30d(共网箱养殖 60d),记录存活个数后,每个单独称量体重,并将剩余刺参移至室内常流水低温养殖,养殖 60d,每隔 30d 称量体重,实验结束时各小组挑选质量大的刺参两头,回实验室检测体壁营养成分。

1.2.4 称量和检测方法

刺参从水中取出后,根据活体刺参体重测量方法(廖梅杰等 2010)测定刺参的体重。在称重结束后立即解剖,去除内脏和石灰环,冲洗干净,测体壁重。将样品冷藏带回实验室后,于-80℃ 冷冻,实验结束后统一测量体壁营养成分。

营养成分的测定参照国家有关标准进行,由中国水产科学研究院黄海水产研究所国家水产品质量监督检验中心检测。水分测定:105℃ 常温加热干燥法(参照 GB/T 14769-1993);灰分测定:马福炉焚烧法(参照 GB/T 14770-1993);粗蛋白测定:凯氏定氮法(参照 GB/T 5009.5-2003);粗脂肪测定:索氏抽提法(参照 GB/T 5009.6-2003);总糖测定:分光光度法(参照 GB/T 9695.31-91)。

刺参的特定生长率(SGR)计算公式如下:

$$SGR = (\ln DW_2 - \ln DW_1) / T \times 100\%$$

式中, DW_1 为初始体质量, DW_2 为实验结束时体质量, T 为实验时间。

刺参的存活率计算公式如下:

$$\text{存活率} = N_t / N_0 \times 100\%$$

式中, N_t 为实验结束时刺参数量, N_0 为实验开始时刺参数量。

1.3 数据分析

对刺参的生长数据用平均数±标准差(Mean±SD)表示($n=3$),经 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),并进行 Duncan 比较,置信水平取 95%。

2 结果

2.1 生长情况

2.1.1 体质量增加和特定生长率

A、B、C 3 组刺参的体质量增加和特定生长率如表 1 所示。实验开始前(7 月 6 日)各组的体质量无显著差异($P>0.05$);第 30 天时,A 组刺参体质量显著高于 B、C 两组($P<0.05$),A 组中刺参体质量增加了 2.24%,B、C 两组中刺参体质量分别下降了 20.93%和 22.02%;第 60 天时,A 组刺参体质量显著高于 B 组($P<0.05$),C 组刺参体质量显著低于 B 组($P<0.05$),C 组 60d 室外养殖体质量下降了 31.37%;第 90 天,A、B、C 3 组之间无显著性差异($P>0.05$);第 120 天时,A 组刺参体质量显著低于 B、C 两组($P<0.05$)。A、B、C 3 组的特定生长率分别为 -0.03% 、 0.27% 、 $0.32\%/d$ 。在室内养殖期间,A、B、C 三组的特定生长率分别为 -0.03% 、 0.63% 和 $1.27\%/d$ 。随着养殖时间的增加,A、B、C 3 组刺参体质量差异都变大,在前 90d,3 组的标准差增幅情况 $A>B>C$,后 30 d $B>C>A$ 。

表 1 实验期间刺参的生长情况

Table 1 The growth of sea cucumbers during the experiment

实验组编号 Treatment	体重 Weight (g, Mean±SD)					特定生长率 SGR (%/d)
	07-06	08-05	09-04	10-04	11-03	
A	65.60±4.48	67.07±13.53 ^a	63.85±17.10 ^a	61.04±18.82	63.11±25.07 ^a	-0.03
B	64.75±4.06	51.20±8.79 ^b	54.16±10.88 ^b	61.64±14.59	90.02±27.35 ^b	0.27
C	65.44±4.57	51.03±7.55 ^b	44.91±8.96 ^c	63.25±12.82	96.04±22.11 ^b	0.32

注:表中同一列数据上标不同字母代表有显著性差异($P<0.05$)

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

A、B、C 3 组的生长曲线如图 1 所示。A 组在前 30d 为增长趋势,31~90d 为下降趋势,91~120d 为增长趋势;B 组在前 30d 为下降趋势,后 90d 为增长趋势;C 组在前 60d 为下降趋势,在后 60d 为增长趋势。

2.1.2 体壁质量与总质量的比值和存活率

3 组实验中体壁质量与总质量的比值和试验期间刺参存活率如表 2 所示。实验开始时,A、B、C 三组刺参的体重、体壁重及二者比值均无显著性差异($P>0.05$);养殖 30d 后,A 组刺参体重和体壁重显著大于 B、C 两组($P<0.05$),B、C 组之间无显著性差异($P>0.05$),但体质量和体壁重比值三组均无显著性差异($P>0.05$);实验结束时,A、B、C 三组刺参的体重、体壁重及二者比值均无显著性差异($P>0.05$)。A、B、C 三组的存活率分别为 91.67%、71.43%、53.57%。

2.2 体壁营养成分变化

表 3 为养殖 30 d 后 A、B、C 三组刺参体壁营养成分含量的变化情况。夏眠组与室内低温组相比,粗蛋白和粗脂肪含量增加,水分、灰分和总糖含量减少。在体壁各成分占湿重比中,只有粗蛋白和水分含量差异显著($P<0.05$),其他成分差异不显著。如图 2 所示,在体壁各成分占干重比中,A 组体壁成分中灰分和总糖含量

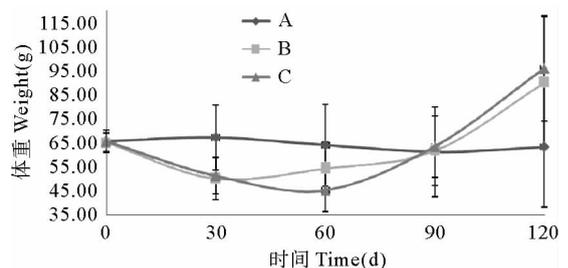


图 1 不同养殖条件下刺参体质量变化
Fig. 1 Body weight of the sea cucumbers cultured under different conditions

显著高于C组($P < 0.05$),而粗蛋白含量显著低于C组($P < 0.05$),而粗脂肪含量两组之间无显著性差异($P > 0.05$);B组与A、C两组相比,体壁各成分均无显著性差异($P > 0.05$)。

表2 刺参的体壁重与体重比值及存活率

Table 2 The ratio of body wall weight and body weight of sea cucumbers and their survivorship

日期 Date	指标 Parameters	A	B	C
2012-07-06	体重 Weight (g)	63.68±0.87	63.68±0.87	63.68±0.87
	体壁重 Body wall weight (g)	43.28±3.39	43.28±3.39	43.28±3.39
	体壁重/体重 Body wall weight /Weight	0.68±0.05	0.68±0.05	0.68±0.05
2012-08-05	体重 Weight (g)	67.69±9.55 ^a	51.73±3.49 ^b	54.54±1.98 ^b
	体壁重 Body wall weight (g)	44.52±3.94 ^a	36.25±0.35 ^b	35.57±0.46 ^b
	体壁重/体重 Body wall weight /Weight	0.66±0.03	0.70±0.05	0.65±0.02
2012-11-03	体重 Weight (g)	115.62±21.43	111.55±9.63	115.03±8.52
	体壁重 Body wall weight (g)	65.22±10.40	59.83±2.54	59.40±6.67
	体壁重/体重 Body wall weight /Weight	0.56±0.03	0.54±0.03	0.52±0.03
	存活率 Survival rate (%)	91.67	71.43	53.57

注:表中同一行数据上标不同字母代表有显著性差异($P < 0.05$)

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

表3 实验30d后各组刺参体壁营养成分(%)

Table 3 Body wall composition of sea cucumbers cultured for 30 days(%)

体壁成分含量 Body wall composition	A		B		C	
	湿重	干重	湿重	干重	湿重	干重
	Wet weight	Dry weight	Wet weight	Dry weight	Wet weight	Dry weight
水分 Moisture	90.07±0.23 ^a		89.55±1.20 ^{ab}		88.77±0.55 ^b	
粗蛋白 Crude protein	5.19±0.23 ^a	52.23±1.13 ^a	5.95±1.39 ^{ab}	56.68±4.78 ^{ab}	6.77±0.46 ^b	60.22±2.23 ^b
粗脂肪 Crude lipid	0.65±0.08	6.57±0.74	0.71±0.19	6.71±0.75	0.83±0.18	7.35±1.27
灰分 Ash content	2.70±0.02	27.19±0.66 ^a	2.66±0.02	25.51±1.94 ^{ab}	2.64±0.06	23.53±0.84 ^b
总糖 Total sugar	1.39±0.11	14.01±1.34 ^a	1.14±0.40	11.10±3.59 ^{ab}	1.00±0.15	8.90±1.16 ^b

注:表中同一行数据上标不同字母代表有显著性差异($P < 0.05$)

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

表4是实验开始时和实验结束时刺参体壁营养成分变化情况。刺参体壁营养成分含量由高到低依次为水分、粗蛋白、灰分、总糖和粗脂肪。在体壁各成分占湿重比中,A、C两组刺参体壁各营养成分与实验开始时刺参体壁各营养成分无显著性差异($P > 0.05$)。B组除粗脂肪含量显著低($P < 0.05$)以外,其他体壁营养成分与其他三组差异不显著($P > 0.05$)。在体壁各成分占干重比中,与实验开始之前相比,A、B、C各组中粗蛋白和灰分的含量增加,总糖含量降低,A组的粗脂肪含量增加,C组减少,但都不显著($P > 0.05$),B组中粗脂肪含量显著减少($P < 0.05$)(图3)。

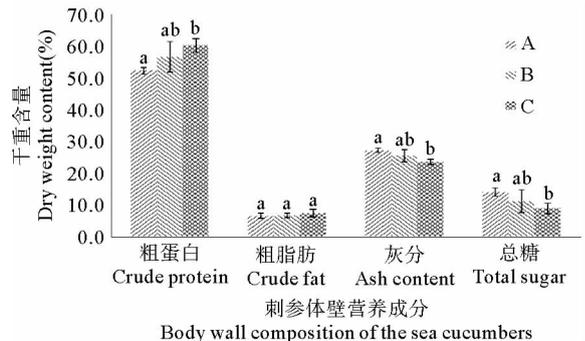


图2 养殖30d后各组刺参体壁成分占干重比例

Fig. 2 Body wall composition of the sea cucumbers cultured for 30 days

表 4 实验开始时和实验结束时刺参体壁营养成分变化(%)

Table 4 The initial and final body wall composition of the sea cucumbers(%)

体壁成分含量 Body wall composition		初始值 Initial value (07-06)		结束值 Final value (11-03)					
				A		B		C	
		湿重 Wet weight	干重 Dry weight	湿重 Wet weight	干重 Dry weight	湿重 Wet weight	干重 Dry weight	湿重 Wet weight	干重 Dry weight
水分 Moisture	90.00±0.66 ^a		90.70±0.95 ^a		92.03±0.49 ^a		91.03±2.20 ^a		
粗蛋白 Crude protein	5.55±1.04	55.33±8.25	5.26±0.88	56.31±4.15	4.44±0.30	55.73±1.26	5.11±1.46	56.60±2.15	
粗脂肪 Crude lipid	0.49±0.04 ^a	4.96±0.68 ^{ab}	0.49±0.08 ^a	5.35±1.14 ^a	0.29±0.08 ^b	3.61±0.81 ^b	0.39±0.12 ^{ab}	4.28±0.38 ^{ab}	
灰分 Ash content	2.70±0.05	27.13±2.25	2.61±0.06	28.21±2.12	2.61±0.15	32.82±1.08	2.69±0.15	30.86±5.63	
总糖 Total sugar	1.25±0.67	12.57±7.02	0.94±0.17	10.13±1.80	0.62±0.02	7.83±0.26	0.79±0.51	8.26±3.41	

注:表中同一行数据上标不同字母代表有显著性差异(P<0.05)

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

3 讨论

3.1 不同养殖条件下刺参的生长情况

在实验进行到第 30 天时,室内低温养殖的刺参体质量显著高于夏眠组。A 组刺参体质量增加了 2.24%,B、C 两组刺参体质量分别下降了 20.93%和 22.02%。刺参进入夏眠后,停止摄食,消耗自身能源维持生命,这必然导致刺参体质量下降,这与刘永宏等(2007)研究刺参夏眠体质量下降结果相一致,但体质量下降的比率不同,可能是由于实验刺参初始体质量不同和夏眠时间不同导致。

在实验结束时,B、C 两组刺参体质量显著高于 A 组,A、B、C 三组的特定生长率分别为-0.03%、0.27%、0.32%/d。在室内养殖期间,A、B、C 三组的特定生长率分别为-0.03%、0.63%、1.27%/d,表明经历过夏眠的刺参比一直低温饲养的刺参生长快,这与于东祥等(2008)提到的青岛地区刺参养殖过程中在刺参体眠后有一个体质量快速增长期相符合,说明刺参在夏眠过后体质量表现出补偿性快速生长。刺参经历夏眠后的特定生长率跟刺参夏眠的时间长短有一定的相关性。由于本研究只有两个夏眠处理组,所以不能判断二者之间相关性的程度;具体的相关性程度和产生相关性的原因有待进一步研究。

在养殖过程中,3 个处理组中刺参平均体质量的标准差随着养殖周期的延长越来越大。这表明刺参的生长差异越来越大,也就是说各组中可能都有一部分刺参体重增加、一部分体重减少。梁 淼(2010)的实验研究表明,密度、社会等级行为和遗传三类因素共同作用造成刺参的生长差异。在本研究中,A 组刺参体重差异比较明显(表 1),造成 A 组内刺参生长差异的原因是一部分刺参出现了夏眠症状(摄食量减少,体质量减小,肠道变细);B、C 两组各组刺参体质量之间的差异在最后 30 d 表现得最明显,两组中各有一部分刺参体质量并没有增加,说明低温饲养并不能解除所有刺参夏眠,这可能与刺参之间的基因差异性有关。李馥馨等(2006)和杨红生等(2006)的研究表明,高水温是导致刺参夏眠的主要原因,低温饲养可解除刺参夏眠的结论与本研究的结果并不完全一致。实验在夏季高温时节进行,虽然 A 组一直为低温饲养,但称量刺参体重时可能会对刺参造成一定刺激(包括温度突变等),诱导其夏眠;但对于同组的刺参而言,实验操作完全相同,其中一部分夏眠也可能与刺参自身生理特性和遗传因素有关。具体原因本实验不能说明,有待进一步研究。

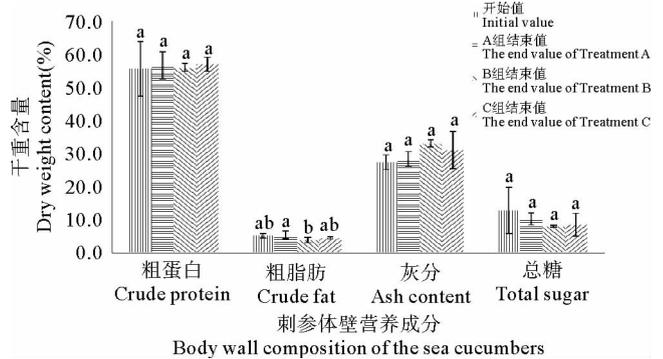


图 3 实验开始时和实验结束时刺参体壁成分(干重)变化
Fig. 3 Initial and final body wall composition of the sea cucumbers

在养殖实验过程中,A组的存活率较高。死亡个体症状表现为刺参体表破皮,即溃烂病,有传染性。在室内养殖过程中,及时隔离破皮刺参,进行换水倒池,可人为降低刺参的死亡率。B、C两组刺参死亡情况主要集中在夏眠时期,同样为溃烂病。由于在池塘内网箱养殖无法及时发现并取出发病刺参,使疾病蔓延,导致死亡率较高。这在一定程度上说明,与室外池塘养殖相比,室内工厂化养殖在刺参疾病预防和治疗方面有巨大优势。

3.2 不同养殖条件下刺参的体壁营养成分的变化

养殖30d后,夏眠组与室内低温组相比,粗蛋白和粗脂肪含量增加,水分、灰分和总糖含量减少。在体壁各成分占湿重比值中,只有粗蛋白和水分含量差异显著,其他成分差异不显著;在体壁各成分占干重比值中,A组体壁成分中灰分和总糖含量显著高于C组,而粗蛋白含量显著低于C组,而粗脂肪含量两组之间无显著性差异;B组与A、C两组相比,体壁各成分均无显著性差异。由于室外池塘养殖水温较高,所以B、C两组刺参在实验的前30d一直处于夏眠状态。A、B、C3组刺参体壁各营养成分分析表明,刺参在夏眠期间粗蛋白和粗脂肪含量增加,水分、灰分和总糖含量减少,这与高菲等(2011)的研究结果相一致。但是由于夏眠期间刺参的体壁质量下降明显(表2),所以本研究结果并不能判断刺参夏眠期间消耗能量的来源。

刺参体壁营养成分含量由高到低依次为水分、粗蛋白、灰分、总糖和粗脂肪,这与高菲(2008)和郭娜(2011)的研究结果相一致。进入夏眠期,刺参体重为负增长,体壁营养成分含量高低顺序也未发生变化。在实验结束时,A、C两组刺参体壁各营养成分与实验开始时刺参体壁各营养成分无显著性差异;B组除粗脂肪含量显著降低外,其他体壁营养成分无显著性差异。实验结果表明,在120d的实验中,刺参经历过高温夏眠阶段后,体质量快速增长对刺参体壁营养成分含量影响不显著。由于实验时间较短,刺参养成周期较长,所以本研究无法判断养成后刺参体壁营养成分含量的差异,这也是将来进一步研究的方向之一。

参 考 文 献

- 于东祥,宋本祥.1999.池塘养殖刺参幼参的成活率变化和生长特点.中国水产科学,6(3):110-111
- 于东祥,燕敬平,孙慧玲,陈碧鹃.2008.刺参养殖水质的变化特点和调控.齐鲁渔业,3(3):1-7
- 王方雨,杨红生,高菲,刘广斌.2009.刺参体腔液几种免疫指标的周年变化.海洋科学,(7):75-80
- 王天明.2011.刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka)夏眠分子机理的基础研究.见:中国科学院研究生院(海洋研究所)硕士研究生学位论文
- 王吉桥,唐黎,许重,程骏驰.2007.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,(9):481-484
- 刘永宏,李馥馨,宋本祥,孙慧玲,张榭令,顾本学.1996.刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)夏眠习性研究 I——夏眠生态特点的研究.中国水产科学,2(3):41-48
- 李馥馨,刘永宏,宋本祥,孙慧玲,张榭令,顾本学.1996.刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)夏眠习性研究 II——夏眠致因的探讨.中国水产科学,2(2):50-58
- 胡凡光,高翔,王志刚,李美真,周文江,麻丹萍,李绍彬,张豫.2011.刺参休眠规律的研究.渔业现代化,(2):37-40,55
- 郭娜.2011.不同饲料对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长、消化生理及能量收支的影响.见:中国海洋大学硕士研究生学位论文
- 袁秀堂,杨红生,陈慕雁,高菲.2007.刺参夏眠的研究进展.海洋科学,(8):88-90
- 高菲.2008.刺参 *Apostichopus japonicus* 营养成分、食物来源及消化生理的季节变化.见:中国科学院研究生院(海洋研究所)硕士研究生学位论文
- 梁森.2010.刺参(*Apostichopus japonicus*)个体生长差异的实验研究.见:中国海洋大学硕士研究生学位论文
- 廖玉麟.1997.中国动物志 棘皮动物门 海参纲.北京:科学出版社 334
- 廖梅杰,王印庚,郝志凯,荣小军,张正,陈贵平,梁友,陈霞.2010.活体刺参体重测量方法:中华人民共和国,201010100781
- Dong YW,Dong SL.2006. Growth and oxygen consumption of the juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) at constant and fluctuating water temperature. Aquacul Res 13(37):1327-1333
- Gao F,Xu Q,Yang HS.2011. Seasonal biochemical changes in composition of body wall tissues of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Chin J Ocean Limnol 29(2):252-260
- Ji TT,Dong YW,Dong SL.2008. Growth and physiological responses in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka: Aestivation and temperature. Aquaculture 283(1-4):180-187
- Yang HS,Zhou Y,Zhang T and 4 others.2006. Metabolic characteristics of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) during aestivation. J Exp Mar Biol Ecol 330(2):505-510