

刺参育苗水体的水质分析及重金属的生物富集研究

马元庆,李斌*,邢红艳*,白艳艳,刘爱英,靳洋,陶慧敏,赵玉庭

(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,山东 烟台 264006)

摘要:通过对蓬莱刺参育苗场进行水质与生物质量监测,分析了不同环境中无机氮、无机磷和重金属的浓度变化,测定了重金属元素在不同规格刺参幼参体内的含量,探讨了刺参苗种培育对水质的影响及重金属在幼参体内的富集作用。结果表明,养殖过程中氨氮和硝酸盐累积不明显,但亚硝酸盐与无机磷迅速累积;幼参培育的不同环境水体中N/P值差异较大,沙滤后蓄水池中海水的N/P值(50.62)最高($P < 0.05$),随着养殖过程的进行,其N/P值逐渐降低,倒池前降至2.48。重金属监测结果显示,不同规格的幼参体内锌(Zn)的含量均最高,而其对镉(Cd)的富集系数高于其他重金属元素,在当年春苗和越冬苗小个体幼参富集系数分别达到0.82和0.92,铅(Pb)在越冬苗大个体内的浓度(0.226 mg/kg)及其富集系数(0.22)为最大值,其他元素含量一般处于较低水平。在刺参苗种培育的不同阶段,重金属元素的生物富集系数存在一定差异。在当年春苗中,重金属生物富集系数依次为 $Cd > Cr > Cu > Pb > Zn$,在越冬苗小个体幼参中,依次为 $Cd > Cr > Cu > Zn > Pb$,在越冬苗大个体幼参中,依次为 $Cd > Pb > Cr > Cu > Zn$ 。本研究应用于海参育苗、保苗和养殖环境调控等多个环节,促进刺参苗种繁育环境安全,为整个集约化海水养殖业水环境调控与管理提供借鉴,有利于促进海洋经济健康和持续发展。[中国渔业质量与标准,2014,4(4):27-32]

关键词:刺参;无机氮;无机磷;重金属;富集

中图分类号:S9 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-1833(2014)04-0027-06

刺参(*Apostichopus japonicus*)是一种名贵海珍品,富含多种活性物质和微量元素。当前,中国北方诸多育苗生产单位已相继开展了刺参人工育苗。但随着集约化养殖模式的发展,海水环境问题突出,已影响到刺参育苗及其养殖产业的健康发展。刺参室内育苗普遍采用静水充气模式,容易造成排泄物及残饵大量沉积,分解产生大量氨氮和亚硝酸盐,这是导致参苗免疫能力降低和疾病发生的重要外部原因之一^[1-3],严重影响参健康^[4-5]。但关于刺参苗种培育过程中无机氮、磷及营养盐结构变化的研究报道还较少^[6-7],本研究全面分析了刺参苗种培育对水体营养盐与金属离子含量的影响。

关于重金属对刺参的毒理学和行为学等方面研究也有报道,主要集中在对 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Cr^{6+} 的(亚)急性毒性研究^[8-9],Zn(II)在幼参体内的蓄积以及对其生长和存活的影响^[10],Zn、Cu和Pb在刺参不同部位的蓄积、分配和排放规律^[11-12]等。还有报道指出,市售刺参中Zn和Mg等含量较高,也含有一定量的Cu和极少量的 $Cr^{[13]}$ 。但关于刺参育苗过

程不同水环境中重金属含量变化规律,以及重金属在不同龄期和不同大小个体的幼参体内富集等的研究还较少。本研究分析了育苗过程不同水环境中重金属、无机氮和磷等的变化特征,分析了重金属在幼参体内的富集规律,为刺参苗种培育对水环境影响及重金属的选择性富集等研究提供理论依据,并对工厂化养殖水环境调控及提高水产品质量具有一定借鉴作用。

1 材料与amp;方法

1.1 采样地点与环境条件

2012年4月,对蓬莱近岸的刺参育苗场进行取样,取样点如图1所示,其经纬度为121.1°E,37.7°N。刺参育苗过程每2天全量换水一次,每5天冲底倒池一次;每天于9点和16点投喂配合饲料,投喂量分别按照幼参体重的2%和4%计算。幼参苗种培育池(6 m×3 m×1.5 m)为水泥池,池中水体体积为10 m³,每池幼参苗种密度为2.5 kg/m³水体。海水pH为7.8~8.0,盐度为30~32。

收稿日期:2014-03-21;接收日期:2014-04-18

资助项目:烟台市科技发展计划项目(2011457);水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位经费

作者简介:马元庆(1979-),男,高级工程师,研究方向为海洋环境评价,erma0402@163.com

通信作者:李斌,助理研究员,研究方向为养殖环境生物学,albert0722@163.com;邢红艳,高级工程师,研究方向为海洋环境评价,xinghongyan08@126.com



图1 蓬莱近岸的刺参育苗场采样点位置

Fig. 1 Sampling point near the shore of Penglai

1.2 样品采集与测定

分别对外海水(近岸自然海水)、沙滤水(沙滤和沉淀后的自然海水)、养殖池水1(换水后3 h)、养殖池水2(换水后24 h)和倒池水(倒池时)等不同环境的海水进行取样,测定无机氮、无机磷和重金属元素,每个样取双平行。并对不同龄期和不同规格幼参进行取样,分别取当年春苗(编号为CM,个体均重 0.13 ± 0.06 g)、越冬苗小个体(编号为DM1,个体均重 4.28 ± 0.69 g)、越冬苗大个体(编号为DM2,个体均重 14.28 ± 3.05 g)。样品的采集和分析方法均参照GB17378—2007《海洋监测规范》^[14]进行。无机氮、无机磷和重金属含量分别采用分光光度法、磷钼蓝分光光度法和原子吸收分光光度法。

1.3 数据处理与统计分析

重金属的生物富集系数(BCF)的计算公式为: $BCF = (C_e - C_i) / C_s$,其中, C_e 指结束时幼参体内的

重金属的含量, C_i 指幼参中重金属的背景值, C_s 指水体中重金属的浓度^[15];假设幼参孵化后体内重金属含量忽略不计,因此生物体内重金属的富集系数可以简化为: $BCF = C_e / C_s$ 。

采用SPSS17.0软件进行单因素方差分析(One way ANOVA),采用Duncan多重比较进行差异显著性分析, $P < 0.05$ 为具有显著性差异,以不同的上标字母表示。

2 结果与分析

2.1 不同环境水体中无机氮和磷的含量分析

幼参养殖的不同时段水体中氮和磷含量如表1所示。经沙滤的蓄水池中海水的氨氮最高($P < 0.05$),达 0.095 mg/L,养殖池换水前后水中氨氮变化不大,而倒池前(0.048 mg/L)明显降低。外海自然海水的亚硝酸盐与沙滤水的差异较小,换水后24 h则迅速升高到 0.328 mg/L,倒池水中(0.458 mg/L)最高,为外海水的110多倍。外海水中硝酸盐浓度最低,沙滤水中(0.333 mg/L)明显升高,而换水后3 h最高(0.478 mg/L),在倒池水中又降至较低水平。未经沙滤的近岸海水中无机磷浓度较低,沙滤后蓄水池中海水的无机磷浓度(0.019 mg/L)降至最低,在换水后3 h,无机磷含量略有升高,倒池前(0.608 mg/L)达最高值。幼参养殖的不同环境水体中氮磷物质的量比(N/P)差异较大,沙滤后蓄水池中海水的N/P值最高,达到 50.62 ($P < 0.05$),随着养殖过程进行,其N/P值逐渐降低,在倒池水中其比值仅为 2.48 。

表1 不同育苗环境水体中无机氮和磷含量及其N/P值

Tab. 1 Content of inorganic nitrogen and phosphorus and N / P value in different nursery environmental water

编号 Sample code	样品名称 Sample name	亚硝酸盐/ (mg · L ⁻¹) Nitrite	氨氮/ (mg · L ⁻¹) Ammonia	硝酸盐/ (mg · L ⁻¹) Nitrate	无机磷/ (mg · L ⁻¹) Inorganic phosphorus	N/P 值 N/P value
WH	外海水	0.004 ^a	0.027 ^a	0.154 ^a	0.032 ^a	12.89 ^a
SL	沙滤水	0.004 ^a	0.095 ^b	0.333 ^b	0.019 ^a	50.62 ^b
YZ1	养殖池水1	0.045 ^b	0.069 ^c	0.478 ^c	0.075 ^a	17.53 ^c
YZ2	养殖池水2	0.328 ^c	0.062 ^c	0.314 ^b	0.464 ^b	3.36 ^d
DC	倒池水	0.458 ^d	0.048 ^d	0.176 ^a	0.608 ^c	2.48 ^d

注:上标字母 a、b、c、d 表示不同水环境中同一参数的差异显著性,下同。

2.2 不同环境水体中重金属含量

沙滤对重金属 Cd 和 Cr 具有一定的去除作用,尤

其是 Cd 可去除 35% 以上(表 2)。随着养殖时间延长,养殖水中 Cd 和 Cu 呈明显累积的趋势。换水后

3~24 h, Cd 含量从 0.165 $\mu\text{g/L}$ 增至 0.383 $\mu\text{g/L}$, 倒池时高达 0.547 $\mu\text{g/L}$; Cu 则由换水后 3 h 的 1.674 $\mu\text{g/L}$ 增加至倒池前的 3.014 $\mu\text{g/L}$ ($P < 0.05$)。养殖用水中 Cr 含量均明显低于外海水和沙滤水, 且

随养殖时间延长略有降低; Zn 在养殖过程中呈波动性变化, 换水初期降至最低值, 换水后 24 h 迅速升至最高值 (75.52 $\mu\text{g/L}$, 超出二类海水水质标准), 倒池前又降至较低水平。Pb 含量变化不大。

表2 不同养殖时段水体中重金属含量

Tab.2 Content of heavy metal in different culture periods of water

 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

编号	Sample code	样品名称	Sample name	重金属含量 Content of heavy metal				
				Cd	Cr	Zn	Pb	Cu
WH		外海水		0.592 ^a	4.71 ^a	31.93 ^a	0.587 ^a	3.223 ^a
SL		沙滤水		0.383 ^b	4.44 ^a	41.36 ^b	0.657 ^a	8.371 ^b
YZ1		养殖池水 1		0.165 ^c	2.40 ^b	15.30 ^c	0.993 ^b	1.674 ^c
YZ2		养殖池水 2		0.383 ^b	2.29 ^b	75.06 ^d	1.034 ^b	2.498 ^d
DC		倒池水		0.547 ^a	2.18 ^b	17.52 ^c	0.579 ^a	3.014 ^{ad}

2.3 不同幼参体内重金属含量及其生物富集分析

不同规格的幼参体内 Zn 的含量均最高, 其它重金属元素均维持在较低水平。当年春苗与越冬苗小个体中 Cd 和 Zn 浓度差别均不大, 分别在 0.3 和 6.7 mg/kg 以上, 而越冬苗大个体中均最低, 分别为 0.163 和 4.22 mg/kg ($P < 0.05$) (表 3)。在当年春苗中 Cu 和总 Cr 含量均最高, 分别达到 0.74 和 1.16 mg/kg, 随着培育时间的延长呈降低趋势, 在越冬苗大个体内降至最低值 ($P < 0.05$), 分别为 0.213 和 0.234 mg/kg。Pb 的含量在越冬苗小个体内浓度处于最低水平 ($P < 0.05$), 达到 0.025 mg/kg, 而到越冬苗大个体时又富集到较高水平。

通过重金属富集系数公式, 以养殖池水 2 中的重金属含量作为水体中的重金属含量 C_s , 求出不同规格幼参体内重金属生物富集系数, 得到结果如表 4 所示。

表3 不同规格幼参体内重金属含量

Tab.3 content of heavy metal in different specifications of juveniles

 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

编号	Sample code	重金属含量 Heavy metal content				
		Cd	Cr	Zn	Pb	Cu
CM		0.315 ^a	1.16 ^a	7.23 ^a	0.174 ^a	0.740 ^a
DM1		0.352 ^a	0.432 ^b	6.79 ^a	0.025 ^b	0.370 ^b
DM2		0.163 ^b	0.234 ^c	4.22 ^b	0.226 ^c	0.213 ^c

表4 不同幼参体内生物富集系数

Tab.4 BCF in different specifications of juveniles

编号	Sample code	生物富集系数 BCF				
		Cd	Cr	Zn	Pb	Cu
CM		0.82 ^a	0.51 ^a	0.10 ^a	0.17 ^a	0.30 ^a
DM1		0.92 ^a	0.19 ^b	0.09 ^a	0.02 ^b	0.15 ^b
DM2		0.43 ^b	0.10 ^c	0.06 ^b	0.22 ^c	0.09 ^c

不同规格的幼参体内 Cd 的富集系数最高, 当年春苗和越冬苗小个体 Cd 的富集系数分别达到 0.82 和 0.92, 越冬苗大个体 Cd 的富集系数仅为 0.43 (表 4)。当年春苗中 Cr 和 Cu 的富集系数分别达到 0.51 和 0.30; 随着个体的增大其富集系数显著降低, 越冬苗大个体中分别降至 0.10 和 0.09 ($P < 0.05$)。当年春苗和越冬苗小个体中 Zn 的富集系数相当, 但在越冬苗大个体中的富集系数降至 0.06。Pb 的富集系数在越冬苗小个体内 (0.02) 最低, 而在越冬苗大个体内最高, 达 0.22。

3 讨论

亚硝酸盐浓度过高时, 会影响刺参的活动能力和生长速度, 易发生中毒和腐皮综合征。刘洪展等^[5]报道了氨氮胁迫对刺参几种免疫酶活性的影响研究, 发现较高浓度的氨氮胁迫能够显著降低刺参的免疫力, 增加对病原菌的易感性。庞军辉等^[16]研究发现,

氨氮对稚参 96 h 的半致死浓度为 1.65 mg/L。本研究表明,亚硝酸盐和无机磷易于在养殖水体中大量累积,而氨氮累积不明显,氨氮浓度远远低于其半致死浓度,不会影响刺参的生长,应深入开展亚硝酸盐对幼参的毒性效应及机理的研究。刺参室内育苗普遍采用静水充气模式,容易造成排泄物及残饵大量沉积,分解产生的大量氨氮和亚硝酸盐等也会严重影响刺参健康^[4],同时,养殖排放水中携带的大量营养盐及有机质易引起邻近海域富营养化,并诱发赤潮^[17]。根据本研究无机氮和磷监测结果,可以估算出刺参苗种单位产量排向环境中的营养盐总量:苗种培育周期按 90 d 计,每 10 m³ 水体的培育池净出苗量平均为 45 kg,每 2 天全量换水一次,每 4 天倒池一次;单位产量的无机氮和磷排放量分别为 5.08 和 5.04 g/kg,其中,亚硝酸盐、氨氮和硝酸盐排放量分别为 3.89、0.28 和 0.91 g/kg。养殖排放水中含有较高浓度的无机磷和亚硝酸盐,排入近海后改变了原有的营养盐结构,易引起富营养化和发生有害赤潮。所以,应加强养殖排放水的水质净化新技术开发及其近海海水使用与养殖排污监管,尽快建立养殖排放标准,防止近岸海域的富营养化程度加剧。在养殖过程中,氨氮累积不明显,但亚硝酸盐与无机磷迅速累积。幼参养殖的不同环境水体中 N/P 值差异较大,沙滤后蓄水池中海水的 N/P 值最高,随着养殖过程的进行,其 N/P 值逐渐降低,倒池前降至 2.48。养殖排放水中含有较高浓度的无机磷和亚硝酸盐,排入近海后易引起富营养化,应加强监管与水质净化新技术开发。

生物体内的金属元素含量受金属元素种类、环境条件及生物种类和生理状态等的影响。烟台开发区近海环境中重金属均无超标现象,总体属低风险,但 Cd 为主要风险因子^[18]。本研究结果显示,研究区域海水中重金属均无超标现象,但 Cu 和 Zn 存在一定风险,而养殖过程中水质偶有 Zn 超标现象,可能是投入品(饲料、海泥或药品)Zn 含量高所致。另外,养殖用水中 Cr 含量均低于外海水和沙滤水,可能与幼参的富集、残饵粪便的吸附沉降有关。本研究结果表明,不同规格的幼参体内 Zn 的含量最高(表 3),这是因为幼参对 Zn(II) 很强的蓄积能力^[10]及水体中较高的 Zn(II) 含量;而 Cd 的富集系数最高,其生物学机理有待进一步深入研究。与其他规格刺参苗种相比,当年春苗中 Cu 和总 Cr 的含量及其富集系数均最高;Pb 的含量在越冬苗小个体幼参中含量最低,在越冬苗大个体内最高(表 3),幼参个体越大会积累更多

的 Pb,其来源可能主要是海泥。越冬苗大个体内 Pb 的含量及其富集系数均为最大值,而其他元素含量一般处于较低水平。在饲料中添加海藻多糖可以促进 Pb 的排出^[12],而海藻多糖对促进其他重金属排出的作用有待进一步研究。

不同金属元素的理化性质不同,其在海洋生物体内的富集能力不同,对生物的毒性也有很大的差异。研究表明,牡蛎对重金属的富集能力排序为 Hg > Cd > Pb > As,而排出 Cd 的生物学半衰期要长于重金属 Hg、Pb 和 As,是较理想的 Hg、Cd 和 Pb 污染的指示生物^[19]。而刺参消化道对 Zn²⁺ 的蓄积大于体壁的蓄积,呼吸树对 Cu²⁺ 的蓄积大于消化道和体壁对 Cu²⁺ 的蓄积^[11]。Pb 在刺参各组织中的蓄积量随暴露时间增加而增大^[12]。本研究首次验证了多种重金属在不同规格幼参体内的富集能力差异。3 种规格幼参对 Cd 的富集能力均显著大于其他金属元素;当年春苗中重金属的生物富集系数依次为 Cd > Cr > Cu > Pb > Zn,其对 Cd 的富集能力最强,对 Zn 的富集能力最弱;在越冬苗小个体幼参中,对应的系数依次为 Cd > Cr > Cu > Zn > Pb,在越冬苗大个体幼参中,依次为 Cd > Pb > Cr > Cu > Zn,可见越冬苗对 Cd 的富集能力最强(表 4)。一般情况下,重金属可以直接抑制生物体内的酶活性,从而影响整个生命的代谢过程,造成中毒死亡^[20-23]。研究表明,对刺参幼参的(亚)急性毒性大小为 Cu²⁺ > Cd²⁺ > Pb²⁺ > Zn²⁺ > Cr⁶⁺^[8-9];其抑制刺参体腔细胞吞噬过程超氧阴离子的产生强度依次为 Cu²⁺ > Cd²⁺ > Pb²⁺ > Zn²⁺^[24],这与重金属的毒性作用具有明显的相关性,其具体的致毒机理有待进一步验证。张晓燕^[8] 研究指出刺参在幼参和稚参的两个发育阶段重金属的毒性 Cd²⁺ > Pb²⁺,毒性大小与其富集能力的关系有待深入研究。由此推断,重金属对刺参幼参的毒性作用可能与其组织分布特征有关,而刺参也可以作为 Cd 污染的指示生物,相关研究有待开展。

对蓬莱刺参育苗场进行监测的结果表明,在幼参养殖过程中氨氮和硝酸盐累积不明显,但亚硝酸盐与无机磷累积迅速。幼参培育的不同环境水体中 N/P 值差异较大,沙滤后蓄水池中海水的 N/P 值(50.62)最高(P < 0.05),随着养殖过程的进行,其 N/P 值逐渐降低,倒池前降至 2.48。重金属监测结果显示,不同规格的幼参体内锌(Zn)的含量均最高,而其对镉(Cd)的富集系数高于其他重金属元素,在当年春苗和越冬苗小个体幼参富集系数分别达到 0.82 和

0.92, 铅 (Pb) 在越冬苗大个体内的浓度 (0.226 mg/kg) 及其富集系数 (0.22) 为最大值, 其他元素含量一般处于较低水平。在刺参苗种培育的不同阶段, 重金属元素的生物富集系数存在一定差异。在当年春苗中, 重金属生物富集系数依次为 $Cd > Cr > Cu > Pb > Zn$; 在越冬苗小个体幼参中, 依次为 $Cd > Cr > Cu > Zn > Pb$; 在越冬苗大个体幼参中, 依次为 $Cd > Pb > Cr > Cu > Zn$ 。

本研究可应用于海参育苗、保苗和养殖环境调控等多个环节, 促进刺参苗种繁育环境安全, 为整个集约化海水养殖业水环境调控与管理提供借鉴, 有利于促进海洋经济健康和持续发展。

参考文献:

- [1] Schuytema G S, Nebeker A V. Comparative toxicity of ammonium and nitrate compound to pacific tree frog and African clawed frog tadpoles[J]. Environ Toxicol Chem, 1999, 18(10): 2251-2257.
- [2] Cheng W, Hsiao I S, Hsu C H. Effect of ammonia on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Fish Shellfish Immunol, 2004, 17(3): 193-202.
- [3] Wang W N, Wang A L, Zhang Y J, et al. Effects of nitrite on lethal and immune response of *Macrobrachium nipponense* [J]. Aquaculture, 2004, 232(1/2/3/4): 679-686.
- [4] 常亚青, 丁君, 宋坚, 等. 海参、海胆生物学研究与养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [5] 刘洪展, 郑风荣, 孙修勤, 等. 氨氮胁迫对刺参几种免疫酶活性的影响[J]. 海洋科学, 2012, 36(8): 47-52.
- [6] 邢殿楼, 李强, 曲健凤, 等. 刺参苗种越冬期水环境因子变化及对刺参急性效应的研究[J]. 渔业现代化, 2011, 38(2): 6-10.
- [7] 张丽霞, 蔡勋, 刘双凤, 等. 刺参养殖池塘营养盐周年变化的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(1): 37-43.
- [8] 张晓燕. Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} 对刺参幼虫的毒性试验[J]. 海洋科学, 1994(2): 9-12.
- [9] 孙振兴, 陈书秀, 陈静, 等. 四种重金属对刺参幼参的急性致毒效应[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 80-85.
- [10] 李君丰, 张丛尧, 杨辉, 等. Zn(II) 在仿刺参幼参体内的蓄积及其对生长和存活的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 35-40.
- [11] 丁君, 张学辉, 丁鸣, 等. 幼刺参不同部位对 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 的蓄积动力学研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(4): 359-362.
- [12] 赵元凤, 吴益春, 吕景才, 等. 重金属铅在刺参组织的蓄积、分配、排放规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1677-1680.
- [13] 杨宝灵, 姜健, 马垄, 等. 海刺参中微量元素的光谱测定[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12): 102-105.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] Taylor D. The significance of the accumulation of cadmium by aquatic organisms[J]. Ecotox Environ Saf, 1983, 7(1): 33-42.
- [16] 庞军辉, 韩家波, 高象贤, 等. 氨对刺参的毒性影响[J]. 水产科学, 1993, 12(9): 8-11.
- [17] 江敏, 顾国维, 李咏梅, 等. 我国水产养殖业对环境的影响及对策[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(5): 11-15.
- [18] 宁璇璇, 夏炳训, 姜军成, 等. 烟台开发区近海表层沉积物重金属的分布特征与风险评价[J]. 海洋通报, 2013, 32(1): 100-106.
- [19] 王晓丽, 孙耀, 张少娜, 等. 牡蛎对重金属生物富集动力学特性研究[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 1086-1090.
- [20] George S, Hodgson P, Todd K, et al. Metallothionein protects against cadmium toxicity - proof from studies developing turbot larvae [J]. Mar Environ Res, 1996, 42(1): 52-52.
- [21] 王吉桥, 唐黎一, 许重, 等. 温度、pH 和金属离子对仿刺参蛋白酶活力影响的研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 14-18.
- [22] 刘铁钢, 赵文. 刺参养殖过程中毒物的毒理及毒性研究概况[J]. 中国水产, 2011(7): 62-63.
- [23] 孙振兴, 杨立红, 张晓梅, 等. 铜和锌对刺参幼参的联合毒性作用[J]. 海洋通报, 2009, 28(4): 112-115.
- [24] 张峰, 刘洪伟, 宋志东. 几种重金属对刺参体腔细胞超氧阴离子产生的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 100-103.

Water quality analysis of *Apostichopus japonicus* breeding ponds and bioaccumulation of heavy metals

MA Yuanqing, LI Bin*, XING Hongyan*, BAI Yanyan, LIU Aiyang, JIN Yang, TAO Huimin, ZHAO Yuting

(Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong

Key Lab of Marine Ecological Restoration, Yantai 264006, China)

Abstract: By monitoring the water quality and heavy metal content in sea cucumber *Apostichopus japonicus* in a aquatic breeding farm in Penglai, the author analyzed the content changes inorganic nitrogen, phosphorus and heavy metal in water of different conditions, then the heavy metal content was detected in *A. japonicus* of different specifications, and the effect of artificial breeding of *A. japonicus* on water quality and accumulation of heavy metals were also discussed. The results showed that in the breeding process, accumulations of ammonia and nitrate were not obvious, but nitrite and inorganic phosphorus were accumulated rapidly. N/P value varied greatly in water of different conditions, the highest value (50.62) was found in sand-filtered reservoir water ($P < 0.05$), and then decreased gradually with the process of breeding, reached 2.48 before changing ponds. The contents of Zn were the highest in *A. japonicus* of all three specifications compared with the other metal elements, while the bioconcentration factors (BCFs) of Cd were much higher than other elements; The content (0.226 mg/kg) and BCF (0.22) of Pb were both the highest in overwintering large individual *A. japonicus*, but those of the other elements were at generally lower levels. In different breeding periods, BCFs of metal elements varied to some extent. BCFs in spring seedling were ranked as follows: Cd > Cr > Cu > Pb > Zn, BCFs in overwintering small seedling were ranked as follows: Cd > Cr > Cu > Zn > Pb, BCFs in overwintering small seedling were ranked as follows: Cd > Pb > Cr > Cu > Zn. The study could be applied in many aspects of sea cucumber seedlings and regulation of breeding environment, in order to promote environmental safety of sea cucumber seed breeding, provide a reference for the entire intensive aquaculture regulation and management of the water environment, and further promote marine economy healthy and sustainable development. [Chinese Fishery Quality and Standards, 2014, 4(4):27-32]

Key words: *Apostichopus japonicus*; inorganic nitrogen; inorganic phosphorus; heavy metals; accumulation

Corresponding author: LI Bin, albert0722@163.com; XING Hongyan, xinghongyan08@126.com