

有害藻华治理过程中改性粘土对仿刺参 (*Apostichopus japonicus* Selenka)稚参的影响*

王志富^{1,2} 俞志明¹ 宋秀贤^{1①} 曹西华¹ 刘楷³

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 中国海洋大学 青岛 226003)

提要 本文以仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)稚参为实验对象,研究了改性粘土治理有害藻华技术对仿刺参稚参的影响。96h 急性毒性试验结果表明,改性粘土对仿刺参稚参的半致死浓度(LC₅₀)为 6.01g/L;安全浓度为 0.601g/L,高于在现场时的使用浓度 0.1g/L;慢性毒性试验显示改性粘土对仿刺参稚参成活率和体重增长率无明显影响;不同浓度的改性粘土添加组中,发现仿刺参稚参的体壁组分(水分、灰分、总糖、总脂和粗蛋白)含量变化不大,改性粘土的加入对减少仿刺参稚参的种内竞争有一定积极作用。另外,针对仿刺参稚参食用包括改性粘土在内的底层颗粒物的现象,考察了不同实验组仿刺参稚参体壁中铝的含量,分析结果显示各实验组与对照组没有显著差异。在此基础上,考察了改性粘土有效去除有害藻华的体系中仿刺参稚参的生长情况,发现与对照组相比,改性粘土有效地去除了有害藻华,还明显降低了仿刺参稚参的死亡率。因此,改性粘土是一种有效治理仿刺参养殖水体有害藻华、对养殖生物无负面影响的藻华治理技术。

关键词 改性粘土;有害藻华;仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka);东海原甲藻

中图分类号 X55 **doi:** 10.11693/hyhz20130124004

沿海经济的快速发展极大地改变了海岸带的生态系统,导致近海海域严重富营养化,使得沿海有害藻华发生频率变高,影响范围增大(Anderson, 1997)。迄今为止,已经有多种方法用于缓解和治理有害藻华。其中,粘土矿物絮凝方法因其资源丰富,成本较低等优点得到了人们的重视(俞志明等, 1994a),早在 20 世纪 80 年代就成为国际上治理有害藻华的常用方法(Shirota, 1989)。它不仅能够有效去除有害藻华生物,抑制藻毒素,还能吸附海水中的营养盐(俞志明等, 1995; Sengco *et al*, 2005),在实验和实际应用中都取得了理想的治理效果。俞志明等(1994b)通过多年的研究,成功研制出了相对于天然粘土絮凝效率更高的改性粘土,并成功地应用到淡水和海水水体中,对于部分景区和养殖区的有害藻华应急治理起到了很好

的效果(张哲海, 2006)。

改性粘土技术得到成功应用的同时,人们也十分关注该方法的生态环境效应。前期研究表明,该技术在保持较高的除藻效率的同时,对中国对虾(*Penaeus chinensis*)、日本对虾(*Penaeus japonicus*)、双眼钩虾(*Palaemonetes pugio*)、米诺鱼(*Cyprinodon variegatus*)等游泳生物以及端足类动物(*Ampelisca abdita*, *Leptocheirus plumulosus*)、太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)等养殖生物几乎没有影响(孙晓霞等, 2000; Lewis *et al*, 2003; 曹西华等, 2004; 高咏卉等, 2007a)。

仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)又名灰刺参,简称刺参,属于海参纲(*Holothuroidea*)循手目(*Aspidochirotidae*)刺参科(*Stichopodidae*)仿刺参属

* 国家自然科学基金, 41276115 号; 国家重点基础研究发展计划(973 计划), 2010CB428706 号; 国家基金“创新研究群体”项目, 41121064 号。王志富, 博士研究生, E-mail: zhifuwang_0@163.com

通讯作者: 宋秀贤, 研究员, E-mail: songxx@qdio.ac.cn

收稿日期: 2013-01-24, 收修改稿日期: 2013-04-15

(*Apostichopus*), 主要分布在中国黄渤海域、俄罗斯东部海岸、日本和韩国沿岸等。其作为我国海参种类中品质最佳的一种, 既是一种美味的保健食品, 又是一种具有药用价值的海洋药物(安振华, 2008)。刺参体壁是其主要食用部分, 该部分含有丰富的胶原成分和蛋白聚糖, 并含有钙、镁盐及铁、锰等多种微量元素(薛素燕, 2007)。其基本营养成分包括水分、灰分、蛋白质、糖类、总脂肪。鉴于其较高的经济和营养价值, 目前仿刺参已成为我国近海广泛养殖的海洋底栖经济物种。与其他养殖生物不同, 仿刺参无法快速逃避沉降的黏土。所以, 探明改性黏土技术对刺参生物的影响, 对改性黏土技术进一步的广泛应用、了解其对底栖生态环境的影响具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 改性黏土: 同文献(俞志明等, 1994b)

1.1.2 生物培养 仿刺参取自即墨田横镇, 刺参稚参体长为 1—2cm。在室内水箱中暂养 7 天进行驯化, 驯化过程中每天下午投喂一次饵料, 并于下次投喂前用吸管清底, 每日换水一次, 温度控制在 14—18°C, 溶氧>5.0mg/L, pH 7.8—8.2, 盐度 30—31。实验期间遮光培养, 间接充气。

东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)为本实验室培养提供。过滤海水 121°C 高温消毒灭菌 30min 后, 加入 f/2 去硅培养基进行单种培养。温度(20±1)°C, 光照 3000lux, 光暗比 12h: 12h, 选取达到对数生长期的藻体用于实验。

1.2 改性黏土对仿刺参稚参的急性毒性试验

先做预实验, 在 10L 过滤海水中放入 10 只稚参, 分别加入 200g/L 的改性黏土悬浮液 0、25、50、100、200、300、400、500mL, 使得海水中改性黏土的浓度分别为 0.0、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0g/L, 每个浓度设三个平行组。遮光, 间歇通气, 停止投饵, 96h 后观察刺参存活情况, 确定出 100%致死浓度和不引起死亡的最大浓度分别为 8.0g/L 和 4.0g/L。然后以此浓度范围, 按等对数间距确定 5 个浓度组, 每组 10 只稚参, 染毒 96h。试验期间保持水温、溶解氧、pH 值等的稳定。最后运用直线内插法求出刺参的半致死浓度。刺参稚参的死亡判断标准是: 身体柔软, 自然卷曲, 管足及触手收缩回体内, 无附着能力, 无活动及摄食能力, 以玻璃棒轻碰之无反应(吕豪等,

2005)。

1.3 改性黏土对仿刺参稚参的慢性毒性试验

在 40L 过滤海水中放入 30 只稚参, 分别加入 0、20、100、200mL 20g/L 的改性黏土悬浮液, 使得海水中改性黏土的浓度分别为 0、0.1、0.5、1.0g/L。每个浓度设两个平行组。遮光, 通气, 观察, 每 24h 换 1/2 的水, 投喂适量饵料, 不吸底。试验持续暴露 8 周(或至空白组或实验组刺参全部死亡为止), 每 2 周取样一次, 测定稚参的存活率和体重, 并计算这段时间稚参的体重增长率。测量时, 先将刺参取出, 放于干毛巾上静置 20min, 使其体腔内的水排出并吸干其体表水分, 再将刺参稚参放于电子天平称上称重。称完后, 立即将刺参稚参放入换水后的玻璃缸中(王印庚等, 2010)。

$$MRGR(\%) = [(m_1 - m_0) / m_0] \times 100\%$$

式中, MRGR 为平均体重增长率; m_0 为初始体重; m_1 为实验末体重。

慢性毒性试验结束后, 根据国家检测标准, 进行刺参体壁营养测定, 包括水分(GB/T5009.3—2010)、灰分(GB/T5009.4—2010)、总蛋白(GB/T5009.5—2003)、脂肪(GB/T5009.6—2003)、糖分(GB/T9695.31—2008), 分析不同改性黏土浓度下刺参体壁营养成分的变化。并根据张志胜等(2008)的方法测定不同改性黏土浓度下刺参体壁铝含量的变化, 了解改性黏土絮凝法对刺参含铝量的影响。测样时, 从-20°C 冰箱取出刺参, 用剪刀剪成小块, 捣碎, 按编号装入塑封袋备用。

1.4 室内模拟去除有害藻华生物时对刺参稚参的影响

为了模拟刺参养殖现场营养盐浓度, 在 10L 过滤灭菌海水中按照 f/20 配比加入营养盐单种培养东海原甲藻。当藻体达到指数生长期时(约 2×10^4 cell/mL), 随机加入 10 只刺参稚参(1—2cm)。温度控制在 14—18°C, 溶氧>5.0mg/L, 驯化适应 24 小时。停止充气, 分别加入 20g/L 的改性黏土悬浮液 0、20、100mL, 使改性黏土的浓度为 0、0.10、0.50g/L, 每个浓度梯度 3 个平行样。4 小时后测定藻密度。待改性黏土絮凝物完全沉淀 24 小时后恢复通气。温度控制在 14—18°C, 溶氧>5.0mg/L, 保持光照为自然光, 强度为 40—400lux。测 96h 急性毒性试验刺参稚参的存活率, 每 24h 记录刺参存活数, 生长状态。实验进行 12d(或至空白组或实验组刺参全部死亡为止), 实验结束时统计存活率。

2 结果与讨论

2.1 改性黏土对仿刺参稚参的急性毒性试验

根据 96h 急性毒性试验所得实验数据, 运用直线内插法求得半致死浓度(LC₅₀)为 6.01g/L(图 1), 应用经验公式即 96h 半致死浓度(96hLC₅₀)×0.1 系数所得的安全浓度为 0.601g/L, 高于现场使用过程中的 0.1g/L 使用量。在实验中观察发现, 改性黏土在 <1.0g/L 浓度范围内刺参贴壁生活, 状态良好, 刺完全伸展, 未出现不良反应; 改性黏土浓度到达 2.0g/L 时, 刺参吸附能力减弱, 刺完全伸展, 但略有浮肿; 改性黏土浓度达到 4g/L 时刺参的吸附能力都有不同程度变弱, 运动能力降低明显, 刺伸展不完全、浮肿; 当改性黏土浓度在 8g/L 以上时, 刺参 96h 后全部死亡。原因可能是高浓度的改性黏土沉降后附着在刺参的体壁和腕足上, 还有部分改性黏土被刺参吸入呼吸树中, 导致刺参缺氧死亡。

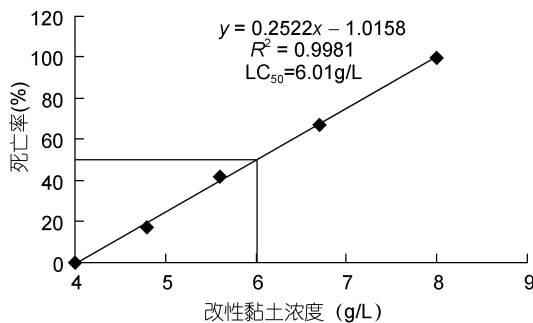


图 1 96 小时急性毒性试验

Fig.1 Test on acute toxicity in 96 h

2.2 改性黏土对仿刺参稚参的慢性毒性试验

慢性毒性试验具有以下优点: (1) 自然环境中, 在污染物中长期暴露比急性暴露更常见; (2) 沉积物中适度的污染物浓度比高浓度的污染物更普遍; (3) 生理反应比致死率更能有效地反应污染物对环境和生物体的影响。所以, 慢性毒性试验能更有效的反映对生物体的实际影响(USEPA, 1986)。研究表明改性黏土使用浓度在 0.10g/L 时对东海原甲藻藻体的 24h 去除率在 95%以上, 另参照急性毒性试验的观察结果, 在改性黏土施用浓度为 0.0—1.0g/L 范围内刺参未出现不良反应。所以慢性毒性试验中设置的浓度梯度为 0.0、0.1、0.5、1.0g/L, 以进一步观察分析改性黏土对刺参体重增长率、体壁营养成分、含铝量的影响。

2.2.1 改性黏土对仿刺参存活率和体重增长率的影响

60 天慢性毒性试验中改性黏土对刺参存活

率和体重增长率的影响如表 1 所示, 添加改性黏土组刺参体重增长率较对照组略高。分别把实验组与对照组做单侧 *t* 检验, 发现 *P* 均大于 0.1, 说明改性黏土对刺参体重增长没有明显影响。另对该实验数据做单因素方差分析, 得 *P*=0.857, 说明各种浓度的改性黏土对刺参体重的影响也无差异。由此可见, 各浓度改性黏土对刺参的存活和生长略有干扰, 但无明显影响。

表 1 慢性毒性试验仿刺参稚参的生长状况
Tab.1 The growth of infant *Apostichopus japonicus* Selenka in chronic toxicity test

黏土浓度 (g/L)	存活率 (%)	体重增长率 (%)	标准差	
			0 周	8 周
0.0	96.67	12.14	0.4818	1.4593
0.1	96.67	17.08	0.5085	1.2742
0.5	96.67	16.62	0.6932	1.3228
1.0	100.00	16.38	0.7465	1.3277

另通过观察刺参状态发现所有添加改性黏土实验组的稚参, 生活状态均会随着时间的推移变得越来越好。说明刺参对适宜计量的黏土会产生一定程度的耐受性。

从标准差来看, 8 周后的标准差明显比刚开始时大很多, 说明各组刺参体重均出现了较严重的两极分化。在开始时, 实验组的标准差比对照组都大, 而 8 周后相比对照组明显变小, 说明改性黏土能降低刺参体重的两极分化, 即降低刺参的种内竞争。有文献指出, 刺参这种低等的棘皮动物具有明显的社会等级行为(梁森, 2010)。大的刺参社会等级高, 有竞争优势。实验中, 为了尽量不搅动黏土, 每次少量喂食, 有可能无法满足所有刺参的摄食量。因为刺参种群中的社会等级关系, 造成了刺参体重两极分化严重。刺参食用改性黏土的现象, 推测是实验组体重增长率大于对照组以及种内竞争缓解的原因。即改性黏土絮凝了水体中的有机物后被刺参食用, 抵消了部分饲料不足的影响, 因此降低了种内竞争。

2.2.2 改性黏土对刺参体壁营养成分的影响 在加入了不同浓度改性黏土的海水中培养 60 天后, 湿重条件下, 刺参体壁的营养组分含量如图 2 所示。所有数据的测定操作步骤和试剂均严格按照之前的标准方法, 其中总蛋白含量测定中, 其 0.0—10.0μg/mL 氨氮标准曲线方程为 $y=0.0121x+0.0146$ ($R^2=0.9989$); 总糖含量测定中其 0.0—5.0μg/mL 葡萄糖标准曲线方程为 $y=0.0069x+0.0178$ ($R^2=0.9928$)。

(1) 对不同浓度改性黏土条件下刺参体壁水分和

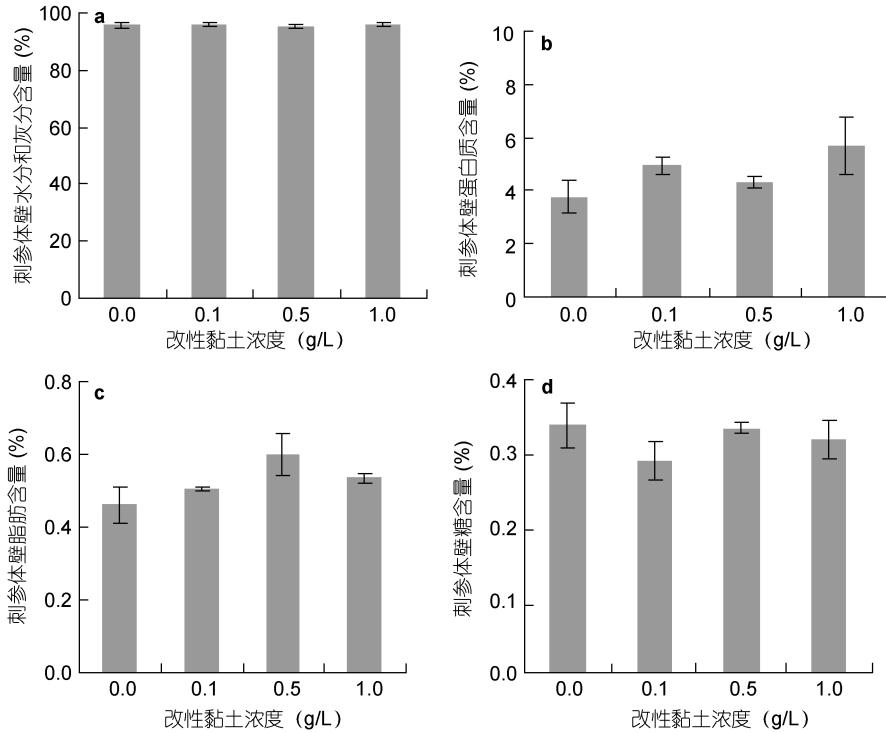


图2 不同改性黏土浓度下刺参体壁营养成分含量

Fig.2 The nutrition content in modified clay of different concentrations

灰分含量进行单因素方差分析,发现 $P=0.8198$ ($P>0.05$), 差异不显著。说明不同浓度改性黏土的使用对刺参体壁水分和灰分含量不会造成明显影响(如图 2a)。

(2) 对不同浓度改性黏土条件下刺参体壁蛋白质含量进行单因素方差分析,发现 $P=0.2686$ ($P>0.05$), 差异不显著。说明不同浓度改性黏土的使用对刺参体壁蛋白质含量不会造成明显影响(如图 2b)。

(3) 对不同浓度改性黏土下刺参体壁脂肪含量,发现 $P=0.2326$ ($P>0.05$), 没有显著性差异。说明不同浓度改性黏土的使用对刺参体壁脂肪含量不会造成明显影响(如图 2c)。

(4) 对不同浓度改性黏土条件下刺参体壁糖含量进行单因素方差分析,发现 $P=0.5490$ ($P>0.05$), 没有显著性差异。说明不同浓度改性黏土的使用对刺参体壁糖含量不会造成明显影响(如图 2d)。

综上所述,改性黏土浓度在 0.10—1.00g/L 范围内,对刺参体壁营养组分包括水分、蛋白质、糖分、脂肪、灰分的含量均无明显影响,不会造成刺参营养价值流失。

2.2.3 改性黏土的使用对刺参体壁含铝量的影响

图 3 是不同浓度改性黏土剂量下培养刺参 60 天后刺参体壁中铝的含量。和对照相比较,0.5g/L 和 1.0g/L 浓度的改性黏土剂量条件下,刺参体壁中铝含量略有下降;0.1g/L 浓度的改性黏土剂量条件下,刺

参体壁中铝含量较对照组高,但差别都不大。对实验数据进行单因素方差分析得 $P=0.2517$ ($P>0.05$), 分别将实验组黏土浓度 0.1、0.5g、1.0g/L 刺参铝含量和对照组做 t 检验,所得 P 值为 0.3208、0.2530、0.1599,结果均认为改性黏土在 0.0—1.0g/L 范围内对刺参体壁铝含量无明显影响。

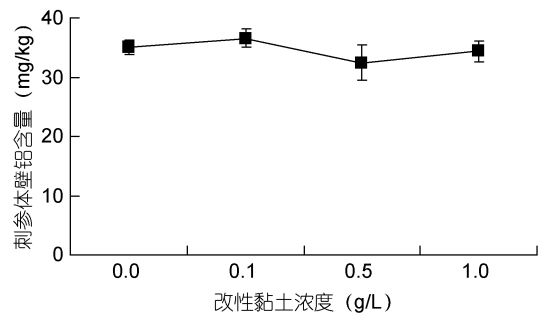


图3 不同改性黏土浓度下仿刺参铝含量

Fig.3 The aluminum content in modified clay of different concentrations

2.3 室内模拟改性黏土去除有害藻华时对刺参的影响

上述急性和慢性毒性试验是在没有有害藻华存在条件下进行的。在两者都存在的条件下,进行了室内小型的模拟实验,以检测黏土-有害藻体复合物对仿刺参稚参的影响。在放养刺参的有害藻华水体(东

海原甲藻密度约 2.0×10^4 cell/mL) 中分别投加 0.1、0.5 g/L 浓度的改性黏土, 停止通气 24 小时, 待黏土絮凝物完全沉底, 恢复通气, 定时测定水体中的藻密度变化。图 4 为 96 h 水体中藻密度随时间变化的情况。结果表明 0.1 g/L 改性黏土已可以有效抑制东海原甲藻的生长, 4 小时内藻密度由初始的 1.61×10^4 cell/mL 降低至 0.33×10^4 cell/mL, 去除率达到 80%, 72 h 后水体中藻密度几乎降为 0。0.5 g/L 改性黏土在 4 h 内几乎可以去除所有的东海原甲藻(如图 4)。

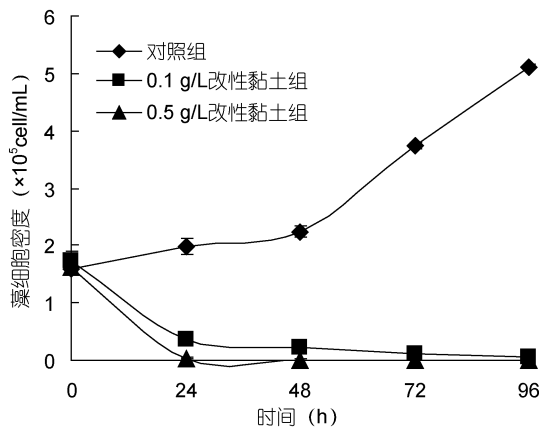


图 4 改性黏土 96h 内对东海原甲藻的去除

Fig.4 Removal of *Prorocentrum donghaiense* with modified clays in 96h

实验过程中观察刺参的生活状态, 发现停止通气的 24h 内, 对照组刺参刺伸展完全、有摄食藻的行为, 但有半数的刺参状态不活跃; 0.1 g/L 实验组刺参状态良好, 少数出现不活跃, 有摄食行为; 0.5 g/L 实验组刺参刺伸展, 但半数的刺参不活跃, 无明显摄食行为。可见, 高浓度(0.5 g/L)改性黏土对刺参还是有一定影响。然而在不通气状态下, 刺参也可能受溶解氧浓度较低的影响, 出现不活跃的现象(李刚, 2010)。实验 96 h 过程中所有刺参的摄食情况都在减弱, 96 h 后对照组刺参的生长状态变差, 刺伸展不完全, 不活跃, 无摄食, 但未出现死亡; 两个实验组刺参活跃状态良好, 无不良反应, 未出现死亡。实验继续进行到第 9 天, 对照组藻密度快速升高, 水体颜色变黄, 40% 刺参死亡; 0.1 g/L 实验组 3.33% 刺参死亡; 0.5 g/L 实验组 6.67% 死亡。第 10 天对照所有刺参均死亡, 0.1 g/L 实验组刺参死亡率为 3.33%, 0.5 g/L 实验组死亡率为 6.67%(表 2)。

由此可见, 改性黏土可以显著改善有害藻华爆发时刺参的生存环境, 不同培养条件下的刺参存活率从高到低依次是 0.1 g/L 实验组 > 0.5 g/L 实验组 > 对照组。有文献指出, 在治理有害藻华的过程中改性黏

表 2 室内模拟实验刺参死亡率

Tab.2 Mortality ratio of infant *Apostichopus japonicus* Selenka

黏土浓度 (g/L)	死亡率(%)			
	(1×24)h	(4×24)h	(9×24)h	(10×24)h
0	0	0	40.00	100.00
0.1	0	0	3.33	3.33
0.5	0	0	6.67	6.67

土不仅能有效的絮凝有害藻体, 还能降低水体中的营养盐氮、磷的含量, 且有助于降低某些藻毒素的产生, 适当增加溶解氧的含量(高咏卉等, 2007b)。改性黏土絮凝物沉降后对藻体形成了有效地包埋, 增加了水体透明度, 延缓了水质变坏速度。同时, 实验发现絮凝体的存在方便了刺参的食用。而对照组由于藻体的大量爆发与死亡, 造成氧气过度消耗, 死亡藻体及刺参排泄物的降解易使水体状况变差, 引发刺参大量死亡。综上所述, 使用改性黏土治理有害藻华对刺参基本没有影响, 是一种安全可靠的方法。在使用过程中, 建议可以采取多次少量的黏土添加方式。

3 结论

(1) 改性黏土对刺参半致死浓度(LC₅₀)为 6.01 g/L。根据水体中药物安全浓度评价的经验公式, 常用的安全系数为 0.1, 以此计算改性黏土对刺参的安全浓度为 0.601 g/L, 高于我们在使用过程中的 0.1 g/L 使用量, 这说明适量的改性黏土是可以应用在刺参养殖水体中的。

(2) 改性黏土浓度在 0.10—1.00 g/L 范围内, 其使用对刺参的存活率没有明显影响, 同时对刺参体重增长率不会造成明显影响。另通过观察刺参状态发现, 刺参对适宜剂量浓度的黏土会产生一定程度的耐受性。从标准差来看, 改性黏土能降低刺参体重的两极分化, 即降低刺参的种内竞争。

(3) 改性黏土浓度在 0.10—1.00 g/L 范围内, 其对刺参体壁营养成分包括水分、蛋白质、糖分、脂肪、灰分的含量均无明显影响, 不会造成刺参营养价值流失。而且, 改性黏土对刺参体壁含铝量无显著影响。

(4) 0.1 g/L 和 0.5 g/L 浓度的改性黏土, 对东海原甲藻的去除均有良好效果, 且有助于刺参的良好生长, 仅会由于刺参对突加黏土造成的暂时不适影响其摄食。因此在改性黏土的实际使用中, 要根据具体的有害藻种和藻密度调整改性黏土添加方式和使用剂量。

综上, 用改性黏土絮凝法治理有害藻华安全可靠, 可以运用于仿刺参养殖场的有害藻华治理, 建议

现场可采取多次少量的喷洒策略。

致谢 本研究中刺参稚参样品的获取得到了中国科学院海洋研究所生态与环境科学重点实验室张涛老师和邱天龙博士的支持和帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王印庚, 廖梅杰, 郝志凯等, 2010. 刺参体腔液穿刺抽取后细胞恢复过程的初步研究. 渔业科学进展, 31(5): 52—58
- 吕 豪, 周伯文, 2005. 四种药物对刺参幼参毒性的初步研究. 水产科学, 24(6): 28—31
- 安振华, 2008. 温度及其周期性波动对刺参 *Apostichopus japonicas* (Selenka) 生长和能量收支的影响. 青岛: 中国海洋大学博士论文
- 孙晓霞, 张 波, 俞志明, 2000. 赤潮防治剂对中国对虾的毒性研究. 海洋环境科学, 19(4): 6—8
- 李 刚, 2010. 刺参(*Apostichopus japonicas*)营养成分和生理变化对养殖水体中关键环境因子的响应研究. 青岛: 中国海洋大学硕士论文
- 张志胜, 张淑玲, 韩春菊, 2008. 石墨炉原子吸收光谱法测定虾产品中铝的方法研究. 现代生物医学进展, 8(12): 2487—2489
- 张哲海, 2006. 玄武湖蓝藻水华应急治理成效分析. 污染防治技术, 19(5): 56—59
- 俞志明, 马锡年, 谢 阳. 1995. 黏土矿物对海水中主要营养盐的吸附研究. 海洋与湖沼, 26(2): 208—213
- 俞志明, 邹景忠, 马锡年, 1994a. 一种去除赤潮生物更有效的黏土土种类. 自然灾害学报, 3(2): 105—109
- 俞志明, 邹景忠, 马锡年, 1994b. 一种提高黏土矿物去除赤潮生物能力的新方法. 海洋与湖沼, 25(2): 226—232
- 高咏卉, 俞志明, 宋秀贤等, 2007a. 改性黏土絮凝法对太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)稚贝的影响. 海洋通报, 26(3): 53—60
- 高咏卉, 俞志明, 宋秀贤等, 2007b. 有机改性黏土对海水中营养盐及主要水质因子的影响. 海洋科学, 31(8): 30—37
- 曹西华, 宋秀贤, 俞志明, 2004. 改性黏土去除赤潮生物及其对养殖生物的影响. 环境科学, 25(5): 148—152
- 梁 森, 2010. 刺参(*Apostichopus japonicas*)个体生长差异的实验研究. 青岛: 中国海洋大学博士论文
- 薛素燕, 2007. 养殖刺参(*Apostichopus japonicas*)的生态习性及其代谢生理的初步研究. 青岛: 中国海洋大学硕士论文
- Anderson D M, 1997. Turning back the harmful red tide. Nature, 388(6642): 513—514
- Sengco M R, Hagström J A, Granéli E *et al*, 2005. Removal of *Prymnesium parvum* (Haptophyceae) and its toxins using clay minerals. Harmful Algae, 4(4): 261—274
- Lewis M A, Dantin D D, Walker C C *et al*, 2003. Toxicity of clay flocculation of the toxic dinoflagellate, *Karenia brevis*, to estuarine invertebrates and fish. Harmful Algae, 2(4): 235—246
- Shirota A, 1989. Red tide problem and countermeasures. International Journal of Aquatic Fish Technology, 1: 195—223
- USEPA, 1986. Quality Criteria for Water EPA-440/5-86-001. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

IMPACT OF MODIFIED CLAY ON THE GROWTH OF THE INFANT *APOSTICHOPUS JAPONICAS* SELENKA IN HABTS CONTROLLING

WANG Zhi-Fu^{1,2}, YU Zhi-Ming¹, SONG Xiu-Xian¹, CAo Xi-Hua¹, LIU Kai³

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Ocean University of China, Qingdao 226003, China)

Abstract This study aimed at investigating the impact of modified clay (MC) that used to control harmful algae bloom on juvenile *Apostichopus japonicas* Selenka. MC was formulated in different concentrations, in which animals were tested. The result show that the half lethal concentration (LC₅₀) was 6.01g/L in 96h acute test. In chronic toxicity test, the growth and survival were almost the same as the control. The moisture, ash, sugar, fatty acid, and protein contents of the animal tissues showed no significant changes under the concentration below 1.0g/L. After 60-day incubation experiment under concentration of 1.0g/L, no significant change was observed in aluminum content in the tissues. In addition, we studied the removal of harmful algal *Prorocentrum donghaiense* with MC, and the effective MC concentration was 0.1 and 0.5 g/L, at which the mortality of juvenile *A. japonicas* could be reduced simultaneously. Thus, we did not find any negative impact of MC flocculation on benthic *A. japonicas*, and the MC treatment was proved an effective and reliable treatment to mitigate harmful algae bloom.

Key words modified clay; harmful algae bloom; *Apostichopus japonicas* Selenka; *Prorocentrum donghaiense*