

吉米奇表面活性剂改性粘土治理赤潮研究

吴萍^{1, 2}, 俞志明^{1*}

(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. 山东理工大学化学工程学院, 淄博 255049)

摘要: 为了证明吉米奇类表面活性剂三烷基聚氧乙烯基三季铵盐(TPQAC)对粘土改性的有效性, 利用 UV-1100 紫外可见分光光度计对其在 2 种粘土高岭土和膨润土上的吸附行为进行了研究, 发现其在 2 min 内基本可以达到吸附平衡, 吸附模式较好的符合双表面 Langmuir 吸附等温线, 吸附量大, 经红外分析发现其可以对粘土进行有效改性. 作为一种改性粘土在用于赤潮治理之前, 有必要对改性剂本身对赤潮藻的灭杀作用以及改性粘土对赤潮藻的去除效果进行研究, 为此选择了 3 种常见的赤潮藻进行了灭杀实验, 并对不同比例的改性粘土对赤潮藻的去除情况进行了比较, 结果表明, TPQAC 用量在 2 mg/L 时 24 h 内几乎可以 100% 的灭杀赤潮藻, 粘土与改性剂比例为 14 左右时对赤潮藻的去除效果最好. 同时为了弄清 TPQAC 在治理赤潮的实际应用中可能对养殖生物可能造成的危害, 选用了黑褐新糠虾为代表性养殖生物, 对其 48 h 急性毒性情况进行了研究, 并且室内模拟研究了改性粘土在去除赤潮藻的过程中可能对养殖生物造成的影响, 实验发现粘土改性剂对黑褐新糠虾 48 h 半致死浓度为 16.7 mg/L, 改性粘土在去除赤潮藻的同时没有对养殖生物造成明显的毒害作用.

关键词: 吉米奇; 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐; 改性粘土; 去除率; 生态毒性

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2007)01-0080-07

Extinguishment of Harmful Algae by Organo-Clay Modified by Gemini Surfactant

WU Ping^{1, 2}, YU Zhi-ming¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. College of Chemical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: Systematic study of the sorption behavior of Gemini surfactant trialkyl-polyoxyethenyl quaternary ammonium compound (TPQAC) on kaolin and bentonite was carried out by UV-1100 spectrophotometer in order to verify the effectivity of TPQAC as the reagent for clay modification. The results show that the isotherms of its sorption can be described very well by the double-surface Langmuir isotherm, the rate of its sorption on kaolin and bentonite is very fast, it can reach equilibration in one or two minutes, and its saturate sorption amount is much enough to be used to modify clays. The eradivative effect of TPQAC on three kinds of algae was studied to find out its toxicity, it can be seen that at 2 mg/L concentration it can perish algae in 24 h. The study of different organo-clay's algae removal ability show that their removal efficiency can reach 90% at the concentration of 20 ~ 30 mg/L, and the best removal efficiency occurs at the proportion of 14 between clays and TPQAC. The toxicity of TPQAC and the influence of clays modified by it on *Neomysis awatschensis* were examined and the eco-effects of organo-clays were discussed to determine their mischief on mariculture animals. The LC₅₀ of TPQAC to *Neomysis awatschensis* is 16.7 mg/L, its toxicity is 30 times lower than the conventional ones, and clays modified by this type of surfactant do not evidently influence the mariculture when they are used in removing red tide organisms.

Key words: Gemini surfactant; TPQAC; modified clay; removal efficiency; eco-toxicity

近年来,有害赤潮暴发愈加频繁,其影响面积也越来越大,对海水养殖业乃至整个海洋生态系统及人类的身体健康造成极大危害和威胁,赤潮治理的研究已经引起人们的广泛关注.赤潮治理的方法有很多种,其中用粘土矿物去除赤潮生物是目前国际上治理赤潮的最受推崇的方法^[1, 2].但是如何提高粘土矿物对赤潮生物的去除能力,减少粘土的用量,一直是该方法存在的主要问题^[3],有关粘土的改性及增效研究已经引起了国内外专家的广泛关注^[4~8].论文在前人研究的基础上,致力于寻求一种高效低毒的粘土改性剂,实验中选择了吉米奇表面活性剂三烷基聚氧乙烯基三季铵盐(TPQAC)为粘土改性剂,此种改性剂性能好、毒性小,在医药、防腐等

领域正在受到极大关注^[9~13].本研究将其用于赤潮治理领域,研究了其对粘土的改性情况,并以在我国沿海常见的 3 种有害赤潮生物为主要研究对象,试验了改性剂和改性粘土对其去除作用,最后以黑褐新糠虾为目标养殖生物,试验了改性剂和改性粘土的生态毒性作用.事实证明经其改性的有机粘土用于赤潮治理时对赤潮藻的去除效果很好,并且在使

收稿日期: 2006-02-10; 修订日期: 2006-05-19

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB409710); 青岛市自然科学基金项目(02-2-kj-yk-32); 国家自然科学基金重点项目(50339040); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-232)

作者简介: 吴萍(1976~),女,博士,主要研究方向为环境污染治理和化学分析, E-mail: wuping@sdut.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: zyu@ms.qdio.ac.cn

用过程中不会对养殖生物造成明显影响, 为大面积现场应用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验仪器

UV-1100 型紫外分光光度计(北京瑞利分析仪器公司); AVATAR 360 傅立叶变换红外光谱仪(美国 Nicolet); THZ-82 恒温振荡器(华北实验仪器有限公司); LG10-2.4A 型离心机(北京医用离心机厂); SFC-18 型光学显微镜(Motic); TD-700 活体荧光计(Turner); GXZ 型智能光照培养箱(宁波江南仪器厂)。

1.2 实验材料

三烷基聚氧乙烯基三季铵盐, 由河南省道纯化工技术有限公司生产。高岭土取自江苏吴县白泥厂, 过筛, 取 200~300 目用于实验。膨润土, 取自山东淄博, 过筛, 取 200 目用于实验。黑褐新糠虾(*Neomysis awatschensis*): 野生黑褐新糠虾于 1992-07 采集于青岛胶州湾西海岸, 在中国科学院海洋研究所海水实验室长期驯化培养。选用黑褐新糠虾为急性毒性材料是因为其在全球范围内广泛存在^[14, 15], 结果便于与国外研究进行比较, 而且由于其个体小, 生活史短, 可以较方便的在实验室内进行污染物对生物影响的评价^[16]。

1.3 实验方法

1.3.1 吸附改性实验方法

准确称取粘土 $0.005\text{ g} \pm 0.0002\text{ g}$ 于一系列 150 mL 的磨口三角瓶中, 分别加入不同体积的已经配制好的三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的标准溶液和蒸馏水(或海水), 使其总体积为 50 mL, 于振荡器中恒温振荡所需时间达到平衡后, 离心分离, 然后测平衡液中季铵盐的浓度, 作吸附平衡曲线, 计算吸附量。

1.3.2 去除率实验方法

移取一定量指数生长期的赤潮藻($5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5\text{ cells/mL}$)藻液于 50 mL 的比色管中, 按比例加入已经配制好的粘土溶液和有机表面活性剂溶液, 同时设空白对照样品(原藻液), 迅速摇匀后, 静置于微藻培养室中, 24 h 后用虹吸法取上层约 40 mL 水体混匀后, 用 Lugol 碘液固定样品, 光学显微镜下用血小板计数法进行计数, 跟原藻液比较计算其去除率。

1.3.3 生态毒性实验方法

在一系列 1000 mL 的烧杯中加入 600 mL 过滤后的天然海水, 随机选取生长良好的黑褐新糠虾进行试验, 首先在预实验中确定全致死和全不致死的

大体试验浓度, 然后在预实验的基础上, 按照预实验浓度范围的对数均匀间距选取 7 个浓度进行实验, 每个烧杯中加入黑褐新糠虾 12 尾, 同时设空白对照, 每个浓度设置 1 个平行样, 采用气室通气, 48 h 后观察糠虾的存活情况, 计算其急性半致死浓度。

在有机粘土的毒性试验中, 选取东海原甲藻和强壮前沟藻 2 种常见的甲藻为赤潮生物, 将体长约 1 cm 的黑褐新糠虾放养在处在指数生物生长期的赤潮藻液中, 正常通气, 3 000 lx 光照, 2 种藻液中分别加入三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性高岭土 50 mg/L, 其中改性剂 5 mg/L, 同时每种赤潮藻设 1 个空白对照, 不加粘土和改性剂。分别于 24、48 h 后测定水体中的赤潮藻密度和荧光值, 并观察 48 h 后藻液中糠虾的存活情况。

2 结果与讨论

2.1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附改性行为研究

改性剂对粘土的改性情况取决于其在粘土表面的吸附情况, 所以首先对其吸附情况进行了研究。实验中采用 UV-1100 紫外可见分光光度计对三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的吸收情况进行了波长 190~300 nm 扫描, 图 1 为三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在紫外区的吸收图谱, 由图 1 可见其在紫外区的吸收成衰减曲线, 其在 192 nm 处的吸光度与浓度有很好的线性关系。因此应用这种测定方法对其在粘土上的吸附情况进行了研究。

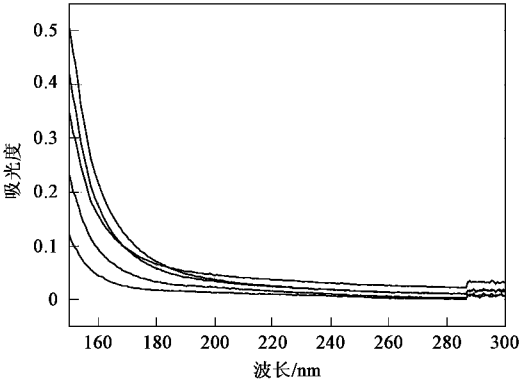


图 1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在紫外区的吸收图谱
Fig.1 UV-spectra of TPQAC

2.1.1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附平衡时间

吸附平衡时间实验方法同上, 只是在不同的时间点取样进行测定, 直到溶液中季铵盐的浓度不再

变化为止. 根据分析上对吸光度范围 0.2 ~ 0.8 的要求, 在高岭土的实验中固定三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的浓度为 120 mg/L, 而在膨润土的实验中固定三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的浓度为 300 mg/L. 由图 2 可见其在 2 种粘土上的吸附速率都很快, 在前 2 min 吸附最快, 基本能够达到吸附平衡, 在 2 种粘土上的吸附平衡时间也基本相同, 大约 20 min 就可以达到平衡, 只是由于在 2 种粘土上的初始浓度不同, 导致其饱和吸附量有很大差别. 由此可见这种表面活性剂在粘土上的吸附速率快、吸附量较大, 能够满足改性粘土方便可行的要求. 在后边的吸附实验中为了保证吸附充分, 振荡时间为 30 min.

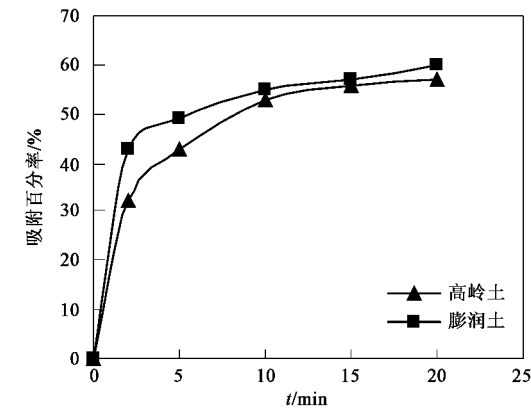


图 2 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附平衡时间
Fig.2 Sorption equilibration time of TPQAC on clays

2.1.2 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附等温线

图 3 是三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附等温线, 由图 3 可见, 在没达到饱和吸附量之前三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附量升高地很快, 之后虽然溶液中检测到的浓度不断升高, 但其吸附量基本保持平衡. 这种吸附等温线明显地符合曲线型的双表面 Langmuir 吸附等温线, 饱和吸附量很大, 这与文献[17 ~ 19]报道的吸附模式是一致的. 双表面 Langmuir 吸附等温线模型是根据吸附剂表面各个点位的吸附性能差异而将其分为 2 类的, 即高能吸附点位和低能吸附点位, 其中高能点位吸附以化学吸附为主, 低能点位吸附以物理吸附为主, 吸附质在吸附剂上的饱和吸附量要比单表面吸附量大的多^[20, 21].

在此, c_s (mg/g) 为吸附质在粘土 (相对干重) 中的浓度; c_e (mg/L) 为平衡溶液中吸附质的浓度, Q_0 表示饱和吸附量^[22, 23]. 由图 3 可见三烷基聚氧乙

基三季铵盐在膨润土上的饱和吸附量远大于在高岭土上, 这是由于高岭土和膨润土的不同结构导致的^[24].

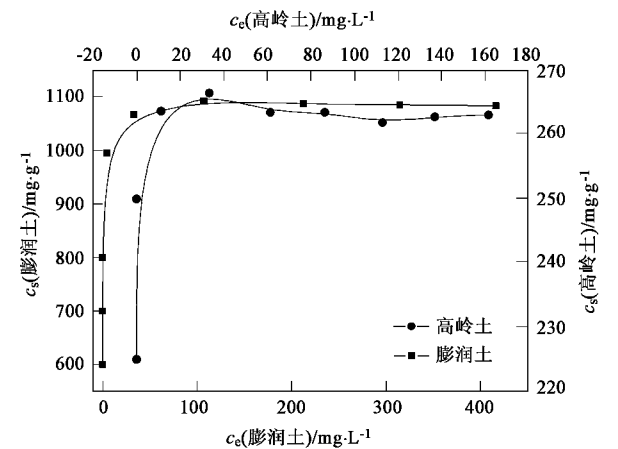


图 3 海水介质中三烷基聚氧乙烯基三季铵盐
在高岭土、膨润土上的吸附量
Fig.3 Saturate sorption amount of TPQAC on clays in sea water

同时, 改性后的粘土与原土的红外光谱比较 (图 4, 曲线 a 是未经处理的粘土的红外吸收曲线, 曲线 b 是经过季铵盐改性后的粘土的吸收曲线), 也发现改性后的粘土在 3 000 cm^{-1} 处左右出现了烷基的特征吸收峰, 而在 1 470 cm^{-1} 处左右出现了季铵阳离子的特征吸收峰, 由此可见三烷基聚氧乙烯基三季铵盐可以有效的对粘土进行改性.

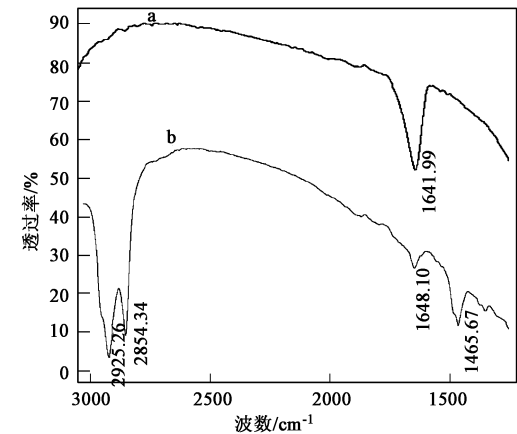


图 4 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土与原土红外光谱图
Fig.4 FT-IR spectrum of bentonite clay and clay modified by TPQAC

2.2 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土对赤潮藻的去除作用

2.2.1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对赤潮藻的灭杀情况

图 5 所示为三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对赤潮藻的灭杀情况及其对体系荧光值的影响.从图 5 可以看出这一种季铵盐对赤潮藻的灭杀效果很好,在用量为 2 mg/L 时就能够几乎 100% 的灭杀赤潮藻,对比 3 种赤潮藻的灭杀情况可以看出,灭杀率顺序是东海原甲藻 > 强壮前沟藻 > 锥状斯克里普藻,这主要是因为前 2 种藻都没有细胞外壳,而锥状斯克里普藻具有坚硬的细胞外壳,不利于灭杀作用的进行,

而强壮前沟藻与东海原甲藻比较而言具有更强的活动性和躲避不利环境的能力,因此 3 种藻中东海原甲藻的灭杀率最高.同时 3 种藻液的活体荧光值都随着的三烷基聚氧乙烯基三季铵盐用量的提高而不断降低,并且在东海原甲藻和强壮前沟藻的试验藻液中还能闻到腐臭的味道,这可能是因为东海原甲藻和强壮前沟藻随着杀藻剂用量的增加细胞容易破裂而释放出叶绿素,并且将叶绿素破坏.

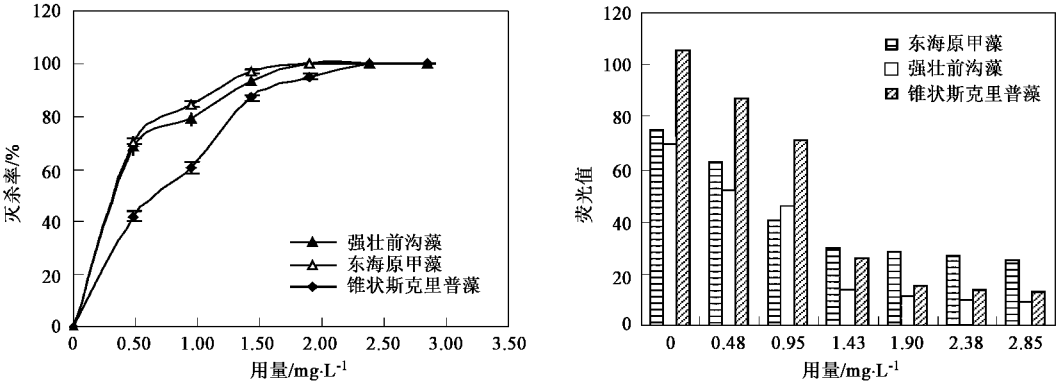


图 5 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对赤潮藻的灭杀情况及其对荧光值的影响
Fig.5 Eradicative efficiency of TPQAC against algae and the influence on their fluorescence

2.2.2 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土对赤潮藻的去除情况

实验中固定三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的用量为 1.5 mg/L,改变粘土的用量从 0.01 ~ 0.1 g/L,图 6 为不同比例的改性粘土对 3 种赤潮藻的去除情况,由图 6 可见这种有机改性粘土对 3 种赤潮藻的去除效果都比较好,都是在粘土与改性剂的比例为 14 左右时去除率最高,其中对东海原甲藻的去除率最好,实验中发现在这个比例下东海原甲藻藻液中几乎没有藻细胞,只有极少数几个已经死亡的藻细胞没有沉降下去.此外,从图 6 还可以看出粘土比例的提高

对去除率的影响不大,除了去除率的最高值,几乎在所有比例的有机改性粘土去除率都达到 90% 左右,这是因为这种改性剂本身对东海原甲藻的灭杀和去除效果就比较好.对强壮前沟藻的去除情况是在达到最大去除率后,再增加粘土的用量去除率有较大下降,这是因为粘土用量的增大降低了有机粘土中处于亚稳态的改性剂对强壮前沟藻的毒性作用,导致去除率有所降低.对锥状斯克里普藻的去除情况总趋势与前 2 种藻类似,只是其最高去除率要低于前 2 种赤潮藻,这与灭杀率实验中所得的结果是一致的.

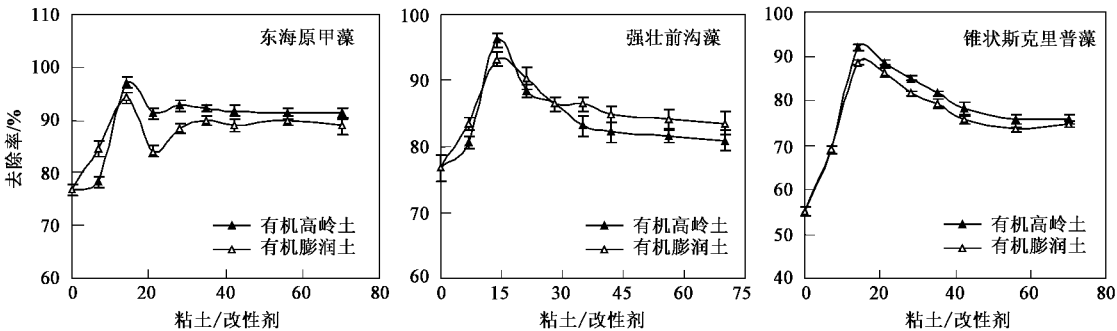


图 6 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土对 3 种赤潮藻的去除率
Fig.6 Removal efficiency of clays modified by TPQAC against three kinds of algae

2.3 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土的生态毒性

2.3.1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对黑褐新糠虾的毒性

根据表 1 所列的实验数据,以三烷基聚氧乙烯基三季铵盐浓度的对数与黑褐新糠虾的致死率作图,如图 7,运用直线内插法可以求出使实验黑褐新糠虾死亡 50% 的浓度半致死浓度(LC₅₀)为 16.7 mg/L,由此可见实验所用的改性剂三烷基聚氧乙烯基三季铵盐的用量达到一定量时对养殖生物黑褐新糠虾具有一定的毒性,但是相对于传统的季铵盐的毒性还是减小了许多倍^[25],并且在实验中与粘土结合使用时的浓度小于 5 mg/L,二者结合使用的效果会使季铵盐的毒性大大降低,所以可以推测在实际应用中的毒性会很小.

表 1 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对黑褐新糠虾的毒性作用

Table 1 Toxicity of TPQAC to the *Neomysis awatschensis*

有机物浓度/mg·L ⁻¹	lg c	黑褐新糠虾死亡数	致死率/%
5	0.7	1	8.3
10	1	3	25
15	1.2	5	41.6
20	1.3	6	50
30	1.5	9	75
40	1.6	11	91.6
50	1.7	12	100

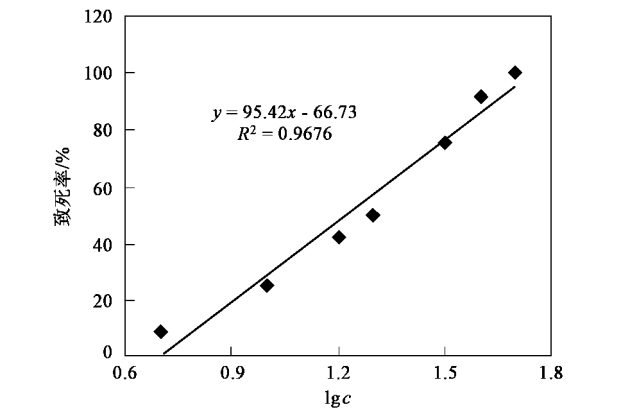


图 7 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐对黑褐新糠虾的 48 h 急性毒性作用

Fig.7 Acute toxicity of TPQAC to the *Neomysis awatschensis* in 48 h

2.3.2 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土使用过程中对黑褐新糠虾的毒性

为了了解三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土在用于赤潮治理的同时对养殖生物可能产生的毒副作用,在室内模拟了在赤潮生物和养殖生物同时存

在的情况下的毒性实验.所用改性高岭土为 50 mg/L,其中改性剂 5 mg/L,在此季铵盐的用量要稍大于去除率实验中得到的能有效去除赤潮藻的用量,是为了能够更好的判断其在实际应用过程中对养殖生物可能造成的影响.实验结果如表 2.

表 2 改性粘土在赤潮治理中对黑褐新糠虾的毒性作用

Table 2 Toxicity of organo-clays to the *N. awatschensis* in management of red tide

项目	东海原甲藻		强壮前沟藻	
	对照组	添加有机粘土	对照组	添加有机粘土
糠虾死亡数	0	0	4	2
致死率/%	0	0	33.3	16.7

从表 2 可见,在东海原甲藻的对照组和实验组中黑褐新糠虾的死亡率都是 0,说明实验中所用的改性粘土在治理由东海原甲藻引起的赤潮的时候不会对养殖生物产生明显毒性效应.但是在强壮前沟藻的对照组和实验组中糠虾却分别有不同程度的死亡率,在改性粘土系列中对照组中 12 尾糠虾死了 4 尾,死亡率为 33.3%,在实验组中 12 尾糠虾死了 2 尾,死亡率为 16.7%,这种现象说明在强壮前沟藻藻液中黑褐新糠虾的死亡并不是因为有机改性剂的毒性作用,而是藻液本身的毒性作用,文献[26]表明,强壮前沟藻是 1 种能够产生毒素的双鞭毛甲藻,这种毒素对鱼和大鼠都能够产生毒性作用.在实验组中由于加入了有机粘土,其去除作用致使强壮前沟藻的藻密度降低,相应的产生的藻毒素也降低,另外粘土也可能会吸附部分藻毒素,从而也会降低其毒性,因此实验组中的黑褐新糠虾死亡率反而低于对照组.

图 8 和图 9 是有机粘土作用下 2 种赤潮藻对照组和实验组中的藻密度和活体荧光值变化情况.从图中可以看出实验中 2 种藻的对照组中的藻密度和活体荧光值都随时间的延长有不同程度的升高,而实验组中 2 种藻的藻密度和体系活体荧光值则随时间的延长下降很快,藻密度在 24 h 之后就可以下降到 0,活体荧光值也下降到很低.这说明实验中所用的 2 种有机粘土都能够非常有效的去除赤潮藻和体系的生物量,而在此过程中并没有对敏感性很强的黑褐新糠虾造成毒性作用,在前文中提到实验中季铵盐的量稍大于有效去除赤潮藻所需的量,在实际应用中可以将其用量稍微降低,所以在其使用过程中不会对养殖生物造成明显毒害作用.

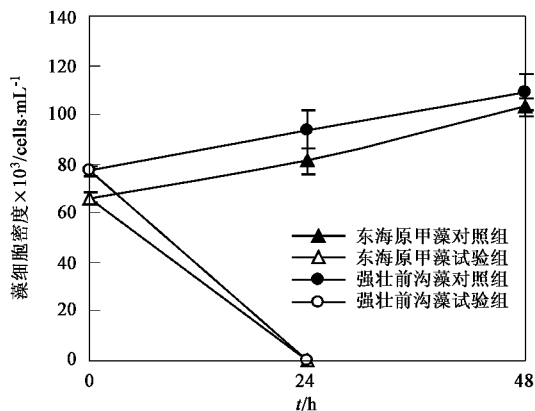


图 8 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土作用下藻密度随时间的变化

Fig.8 Algal density in different time under the effect of clay modified by TPQAC

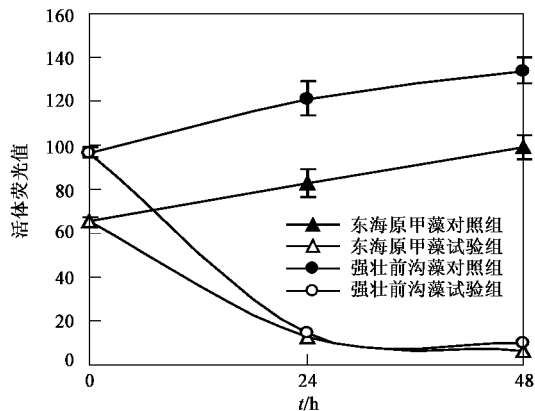


图 9 三烷基聚氧乙烯基三季铵盐改性粘土作用下体系荧光值随时间的变化

Fig.9 Fluorescence of algae in different time under the effect of clay modified by TPQAC

3 结论

(1)三烷基聚氧乙烯基三季铵盐在粘土上的吸附等温线较好的符合双表面的 Langmuir 吸附等温线,其吸附速率较快、吸附量较大,经红外分析发现三烷基聚氧乙烯基三季铵盐是一种较好的粘土改性剂。

(2)此种吉米奇表面活性剂在用量为 2 mg/L时就能够几乎 100%的灭杀赤潮藻,改性后的 2 种粘土有机高岭土和膨润土在改性剂用量固定的条件下,粘土用量与改性剂用量比例在 14 左右时对赤潮藻的去除效果最好,此种改性粘土对赤潮藻的去除效果是改性剂对赤潮藻的灭杀作用和改性粘土对赤潮藻的絮凝沉降作用的总和。

(3)生态毒性实验中发现粘土改性剂对黑褐新糠虾的 48 h 半致死浓度为 16.7 mg/L,改性粘土在去除赤潮藻的同时没有对养殖生物造成明显的毒害作用。

致谢:感谢中国海洋大学化学化工学院的陆小兰老师在样品的红外光谱分析方面给予的帮助,感谢中国科学院海洋研究所的周名江研究员提供实验所用的黑褐新糠虾。

参考文献:

- [1] Anderson D M. Turning back the harmful red tide [J]. Nature, 1997, **388**: 513 ~ 514.
- [2] Shirota A. Red tide problem and countermeasure [J]. International Journal of Aquaculture and Fisheries Technology, 1989, **1**: 25 ~ 38, 195 ~ 223.
- [3] 邹华,潘纲,陈灏. 克聚糖改性粘土对水华优势铜绿微囊藻的絮凝去除[J]. 环境科学, 2004, **25**(6): 40 ~ 43.
- [4] 俞志明,邹景忠,马锡年. 提高粘土矿物去除赤潮生物能力的新方法[J]. 海洋与湖沼, 1994, **25** (2): 226 ~ 232.
- [5] Mario R S. Removal of red and brown tide cells using clay flocculation. I. Laboratory culture experiments with *Gymnodinium Breve* and *Aureococcus anophagefferens* [J]. Marine Ecology Progress Series, 2001, **210**: 41 ~ 53.
- [6] Yu Z M, Sun X X, Song X X. Clay surface modification and its coagulation of red tide organisms [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, **44**(7): 617 ~ 620.
- [7] 曹西华,俞志明. 有机改性粘土去除有害赤潮藻的研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(7): 1169 ~ 1172.
- [8] 曹西华,俞志明. 季铵盐类化合物灭杀赤潮弯藻的实验研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, **34**(2): 201 ~ 207.
- [9] Lisa K, Marcel C P, Van E, et al. Compaction of DNA by Gemini Surfactants: Effects of Surfactant Architecture [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, **252**: 290 ~ 296.
- [10] Qiu L G, Xie A J, Shen Y H. Understanding the adsorption of cationic Gemini surfactants on steel surface in hydrochloric acid [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, **87**: 237 ~ 240.
- [11] Rosen M J, Li F. Adsorption of Gemini and Conventional Cationic Surfactants onto Montmorillonite and the Removal of Some Pollutants by the Clay [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, **224**: 265 ~ 271.
- [12] Rosen M J, Li F. The adsorption of Gemini and conventional surfactants onto some soil solids and the removal of 2-naphthol by the soil surfaces [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2001, **234**: 418 ~ 424.
- [13] 赵剑曦. 新一代表面活性剂吉米奇[J]. 化学进展, 1999, **11** (4): 348 ~ 357.
- [14] Gentil E S M, Gentil E J H, Walker J, et al. Chronic effects of cadmium on two species of mysid shrimp: *Mysidopsis bahia* and *Mysidopsis bigelowi* [J]. Hydrobiologia, 1983, **93**: 195 ~ 204.
- [15] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分类[M]. 北京:海洋出版社,

- 1994, 524 ~ 526.
- [16] 颜天, 李钧, 李正炎, 等. 三苯基氯化锡对黑褐新糠虾的毒性效应[J]. 海洋与湖沼, 2000, **31**(5): 485 ~ 489.
- [17] Shen Y H. Preparation of organobentonite using non-ionic surfactants [J]. Chemosphere, 2001, **44**: 989 ~ 995.
- [18] Sheng G, Wang X, Wu S, *et al.* Enhanced sorption of organic contaminants by smectitic soils modified with a cationic surfactant [J]. Journal Environmental Quality, 1998, **27**: 806 ~ 814.
- [19] Zhang Z Z, Sparks D L, Scrivner N C. Sorption and desorption of quaternary amine cations on clays [J]. Environmental Science and Technology, 1993, **27** (8): 1625 ~ 1631.
- [20] 王旭东, 张一平, 胡田田, 等. 蒙脱石对不同施肥处理土壤胡敏酸及其级分的吸附特征, I. 蒙脱石对胡敏酸的吸附特征 [J]. 土壤学报, 2000, **37** (4): 506 ~ 514.
- [21] 王旭东, 张一平, 胡田田. 不同施肥处理土壤胡敏酸及其级分与蒙脱石的吸附特征, II. 蒙脱石对胡敏酸不同级分的吸附 [J]. 土壤学报, 2001, **38** (1): 60 ~ 66.
- [22] Voice T C, Weber Jr W J. Sorption of hydrophobic compounds by sediments, soils, and suspended solids-I [J]. Water Research, 1983, **17** (10): 1433 ~ 1441.
- [23] Corwin D L, Farmer W J. Non-single-valued adsorption-desorption of bromacil and diquat by freshwater sediments [J]. Environmental Science and Technology, 1984, **18**: 507 ~ 514.
- [24] 吴萍, 俞志明, 宋秀贤. 烷基多糖苷季铵盐改性粘土治理赤潮研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(11): 2164 ~ 2169.
- [25] 曹西华, 宋秀贤, 俞志明. 改性粘土去除赤潮生物及其对养殖生物的影响[J]. 环境科学, 2004, **25** (5): 148 ~ 152.
- [26] Thurberg F P, Sasner J J Jr. Biological activity of a cell extracts from the dinoflagellate *Amphidinium carteri* [J]. Chesapeake Science, 1973, **14**: 48 ~ 51.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性, 论点明确, 文字精炼, 数据可靠. 全文不超过 8000 字(含图、表、中英文摘要及参考文献). 国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示). 作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjxx.ac.cn)进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写. 论文各部分的排列顺序为: 题目; 作者姓名; 作者工作单位、地址、邮政编码; 中文摘要; 关键词; 中图分类号; 英文题目; 作者姓名及单位的英译名; 英文摘要; 关键词; 正文; 致谢; 参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容, 一般不超过 20 字, 少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字, 以第三人称写. 摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论, 重点是结果和结论. 英文摘要与中文对应, 注意人称、时态和语言习惯, 以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等. 科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简, 同一内容不得用图表重复表达, 要有中英文对照题目. 图应大小一致, 曲线粗于图框, 图中所有字母、文字字号大小要统一. 表用三线表. 图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI). 论文中物理计量单位用字母符号表示, 如 mg(毫克), m(米), h(小时)等. 科技名词术语用国内通用写法, 作者译的新名词术语, 文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式, 左起顶格书写, 3 级以下标题可用(1), (2)……表示, 后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写, 正斜体. 生物的拉丁学名为斜体. 缩略语首次出现时应给出中文全称, 括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献, 可在出现页以脚注表示. 文献按文中出现的先后次序编排. 常见文献书写格式为:

期刊: 作者(外文也要姓列名前). 论文名[J]. 期刊名, 年, 卷(期): 起页 ~ 止页.

图书: 作者. 书名[M]. 出版地: 出版社, 年. 起页 ~ 止页.

会议文集: 作者. 论文名[A]. 见(In): 编者. 文集名[C]. 出版地: 出版社(单位), 年. 起页 ~ 止页.

学位论文: 作者. 论文名[D]. 保存地: 保存单位, 年份.

报告: 作者. 论文名[R]. 出版地. 出版单位, 出版年.

专利: 专利所有者. 专利题名[P]. 专利国别: 专利号, 出版日期.

11. 来稿文责自负, 切勿一稿多投. 编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节. 在 3 个月内未收到本刊选用通知, 可来电询问. 对未刊稿件一般不退, 请作者自留底稿.

12. 投稿请附作者单位详细地址, 邮编, 电话号码, 电子邮箱等. 编辑部邮政地址: 北京市 2871 信箱; 邮编: 100085; 电话: 010-62941102, 010-62849343; 传真: 010-62849343; E-mail: hjxx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjxx.ac.cn