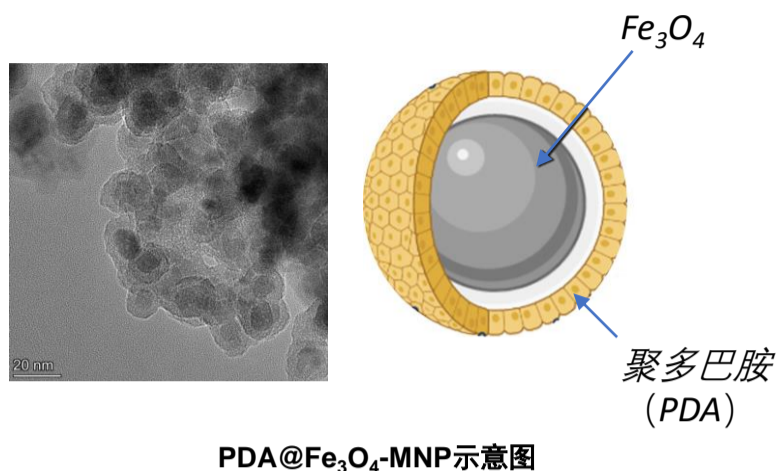


## 引言

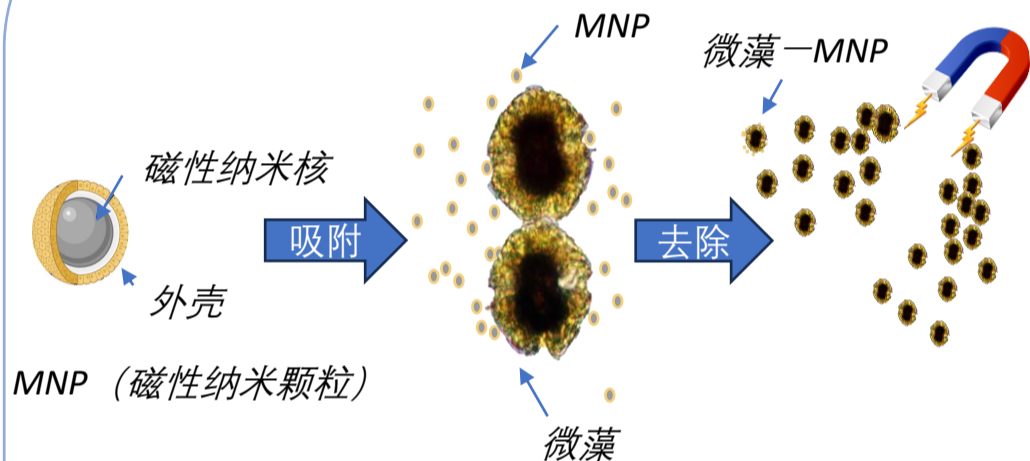
船舶压载水是外来生物入侵的主要来源, 亚历山大藻是其可能携带的生物之一, 进入水域后亚历山大藻大量增殖会引发有害藻华, 给海域生态环境和人类健康带来危害。磁性纳米颗粒由于其比表面积大、便宜、环保、容易制得等优点, 同时其可以通过磁分离快速、选择性地从复杂流体溶液中分离复合物的优势, 受到越来越多研究者的关注。为探索有效处理船舶压载水中亚历山大藻的方法, 本研究在不同pH值、盐度、藻细胞密度、磁性纳米颗粒浓度和孵育时间的条件下, 考察了聚多巴胺修饰的磁性纳米颗粒 (Polydopamine@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-magnetic nanoparticles, PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP) 对微小亚历山大藻 (*Alexandrium minutum*)、链状亚历山大藻 (*Alexandrium catenella*) 和塔玛亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*) 的吸附效率。



PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP示意图

## 方法

### 吸附原理



### 吸附率的测定

取进入稳定期的塔玛亚历山大藻、微小亚历山大藻、链状亚历山大藻通过细胞计数法计数, 后加入PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP孵育一定时间, 使用磁铁吸去PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP与藻细胞结合物, 再次通过细胞计数法计数剩余藻细胞数量, 计算出吸附率。

### 单因素实验

1、为了研究PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对三种亚历山大藻在不同磁性纳米颗粒浓度、pH值、盐度、藻细胞密度条件下的吸附率, 针对各因素分别设计5个水平进行实验。

表1 单因素实验表

MNP浓度 (mg/mL)	pH	盐度	藻细胞密度 (cell/L)
0.01	7.4	0	1×10 <sup>2</sup>
0.05	7.7	5	1×10 <sup>3</sup>
0.10	8.0	15	1×10 <sup>4</sup>
0.15	8.3	25	1×10 <sup>5</sup>
0.20	8.6	35	1×10 <sup>6</sup>

2、PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP与藻细胞的孵育时间也是影响因素之一, 为了研究不同孵育时间对吸附三种亚历山大藻时的影响, 从反应开始时, 每隔20 s观察PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对三种亚历山大藻的吸附率。

## 结论

不同吸附条件下, PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对亚历山大藻的吸附效率为微小亚历山大藻>链状亚历山大藻>塔玛亚历山大藻。本研究为未来构建基于高效环保的磁性纳米颗粒处理船舶压载水中亚历山大藻的方法体系提供了基础数据支撑。

## 结果

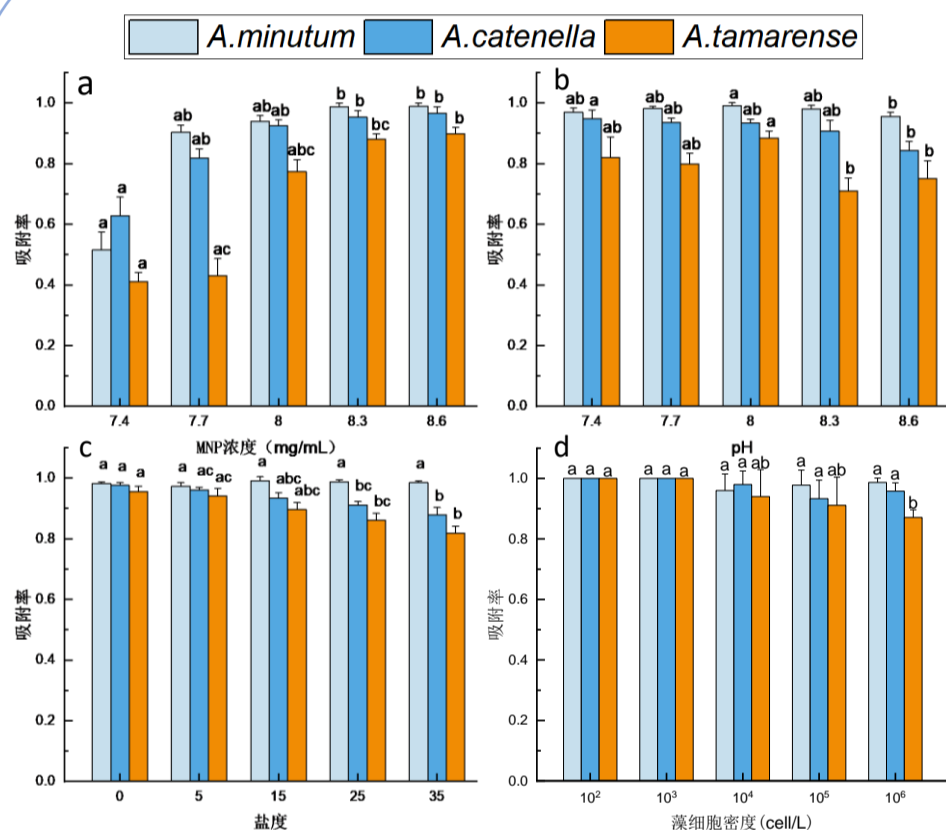


图1 PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对三种亚历山大藻在不同磁性纳米颗粒浓度、pH值、盐度、藻细胞密度条件下的吸附率

I. 图1 (a): PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP浓度为0.01~0.20 mg/mL时, 其对三种亚历山大藻的吸附率均随浓度增加而增大, 吸附率最高值依次为0.989、0.967和0.898。

II. 图1 (b): pH为7.4~8.6时, PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对三种亚历山大藻的吸附率均高于0.7; 对微小亚历山大藻和塔玛亚历山大藻吸附的最适pH为8.0, 吸附率分别为0.991和0.884; 对链状亚历山大藻吸附的最适pH为7.4, 吸附率为0.949。

III. 图1 (c): 盐度变化对微小亚历山大藻的吸附影响不明显, 但随着盐度从0增加到35, PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对其余两种亚历山大藻的吸附率显著下降 ( $P < 0.05$ ), 最低值依次为0.878和0.818。

IV. 图1 (d): 当藻细胞密度为1×10<sup>2</sup> cell/L和1×10<sup>3</sup> cell/L时, PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP可完全吸附三种亚历山大藻; 随着藻细胞密度增加吸附率有所下降, 但当藻细胞密度为1×10<sup>6</sup> cell/L时, 吸附率仍较高, 依次为0.989、0.967和0.898。

V. 图2: 增加PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP与藻细胞的孵育时间可提高吸附率, 吸附率最高值依次为0.989、0.978和0.913; 孵育时间对塔玛亚历山大藻的吸附影响最大, 最大吸附率是最小吸附率的1.64倍。

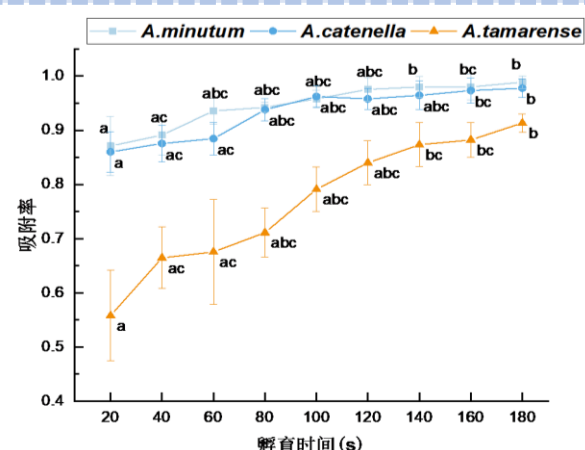


图2 PDA@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MNP对三种亚历山大藻在不同孵育时间下的吸附率