

# 悬浮物对浮游植物和浮游动物的急性毒性效应

张艳<sup>1</sup> 郑琳<sup>2\*</sup> 陈碧鹃<sup>1</sup> 夏斌<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 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 266071)

(<sup>2</sup> 国家海洋局北海环境监测中心, 青岛 266033)

**摘要** 通过悬浮物对浮游植物和浮游动物的急性毒性实验, 研究了不同浓度悬浮物对浮游植物和浮游动物生长的影响。浮游植物选取中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* 和新月菱形藻 *Nitzschia closterium* 为受试生物, 浮游动物为胶州湾近岸拖网所得, 主要优势种类包括藤壶无节幼体、太平洋哲水蚤、腹剑水蚤和小拟哲水蚤。实验结果表明, 不同浓度的悬浮物对两种浮游植物的生长都具有非常显著的影响 ( $P < 0.01$ ); 悬浮物浓度与中肋骨条藻的生长抑制率呈线性关系, 半抑制浓度 48 h-EC<sub>50</sub> 为 1.58 g/L,  $R$  值为 0.977, 96 h-EC<sub>50</sub> 为 2.82 g/L,  $R$  值为 0.993; 悬浮物浓度和新月菱形藻的生长抑制率也呈线性关系, 其半抑制浓度 48 h-EC<sub>50</sub> 为 4.27 g/L,  $R$  值为 0.933, 96 h-EC<sub>50</sub> 为 4.47 g/L,  $R$  值为 0.939。悬浮物对浮游动物的生长也有显著影响, 其死亡率随着悬浮物浓度的增加而升高, 其半致死浓度 96 h-LC<sub>50</sub> 为 60.172 mg/L。

**关键词** 悬浮物; 中肋骨条藻; 新月菱形藻; 浮游动物; 半抑制浓度

**中图分类号** X826 **文献标志码** A **文章编号** 1000-7075(2014)02-0016-06

## Acute toxicological effects of suspended solids on phytoplankton and zooplankton

ZHANG Yan<sup>1</sup> ZHENG Lin<sup>2\*</sup> CHEN Bi-juan<sup>1</sup> XIA Bin<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup>North China Sea Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033)

**ABSTRACT** In this research, an acute toxicity experiment was carried out to study the effects of different concentrations of suspended solids on the growth of phytoplankton and zooplankton. Phytoplankton, *Skeletonema costatum* and *Nitzschia closterium*, and zooplankton captured by plankton trawl in Jiaozhou Bay with the dominant species of *Barnacle nauplii*, *Calanus sinicus*, *Oithona similis*, and *Paracalanus parvus*, were used as the experimental organisms. The results showed that the effects of different concentrations of suspended solids on the growth of *S. costatum* and *N. closterium* were highly significant ( $P < 0.01$ ). Linear relationship was found between the concentration of suspended solids and the inhibition rate on the growth of *S. costatum* and *N. closterium*, with the half inhibition concen-

海洋公益性行业科研专项资助项目(201105010-04)资助

\* 通讯作者。E-mail: zhenglin@bhj.gov.cn, Tel: (0532)58761060

收稿日期: 2013-02-03; 接受日期: 2013-05-24

作者简介: 张艳(1977-), 女, 助理研究员, 主要从事海洋微生物学研究。E-mail: yanzhang@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836341

tration 48 h-EC<sub>50</sub> as 1.58 g/L ( $R=0.977$ ) and 96 h-EC<sub>50</sub> as 2.82 g/L ( $R=0.993$ ) for *S. costatum*; 48 h-EC<sub>50</sub> as 4.27 g/L ( $R=0.933$ ) and 96 h-EC<sub>50</sub> as 4.47 g/L ( $R=0.939$ ) for *N. closterium*. Experiments on zooplankton showed that the suspended solids also had a significant impact on the growth of zooplankton with the lethal concentration of 96 h-LC<sub>50</sub> as 60.172 mg/L.

**KEY WORDS** Suspended solids; *Skeletonema costatum*; *Nitzschia closterium*; Zooplankton; Half inhibition concentration

近年来,随着经济的发展,各类涉海工程如码头、桥梁建设以及港口疏浚等海洋项目越来越多,在施工过程中,既有倾倒产生的悬浮物,又有底泥悬浮产生的大量由细小的泥土颗粒和悬浮颗粒构成的悬浮物(蔡玉婷 2010)。这不仅对水域的物理、化学环境产生影响,而且对海洋动物、尤其是逃逸能力弱的动物及幼体的摄食、生长、繁殖甚至存活产生严重影响(周勇等 2010)。悬浮物颗粒能使水体的透明度降低,降低浮游植物的光合作用;另外,悬浮物使水体中的溶解氧降低(黄一平等 2010;徐兆礼等 1999、2004),从而影响浮游植物的生长(孙雪梅等 2013)。而浮游植物作为海洋中初级生产力的创造者,其生物量的降低能够影响整个海区的资源状况。

浮游动物是中上层鱼类和其他经济动物的重要饵料,对渔业的发展具有重要意义。当前关于浮游动物的研究多集中于季节(水温)变化及水体中营养元素如 N、P 等对其的影响,如杨东方等(2002)对浮山湾海洋夏季浮游动物种类组成的研究,吴利等(2011)研究浮游动物群落与环境因子的关系等。随着各类涉海工程的增多,施工产生的悬浮物对浮游动物的研究也日益受到人们的重视,李纯厚等(1997)以卤虫无节幼体为受试对象,用南海海港疏浚淤泥悬浮物对其进行了急性毒性试验;李广楼等(2010)通过对卤虫无节幼体和梭鱼幼鱼进行悬浮物急性毒性试验,Kirk(1990)发现,悬浮物可以改变浮游动物的群落结构,这些实验均表明,海洋悬浮物作为最普遍的污染物,对海洋生物具有一定的危害作用。

中肋骨条藻和新月菱形藻在胶州湾海域属于常见种类(吴玉霖等 2005;姜祖辉等 2007),因此本研究在悬浮物对浮游植物生长影响的实验中选取该两种藻为受试生物,浮游动物为胶州湾近海捕捞所得,研究不同浓度的悬浮物对浮游植物和浮游动物生长的影响,并建立藻类抑制率(%)和浓度的对数( $\ln C$ )的线性关系,求解悬浮物对藻类生长抑制率为50%的浓度 EC<sub>50</sub>值和浮游动物死亡率为50%的浓度 LC<sub>50</sub>值,为评价疏浚物倾倒对生态环境的影响提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 泥样来源及处理

实验泥样采集于胶州湾海域,带回实验室在通风处摊开晒干,在烘箱中 60℃ 条件下烘至恒重,冷却后研磨成粉末状,过 350 目筛子后于干燥器中保存,粒径大小使用英国 Malvern 2000E 激光粒度分析仪进行测定。

### 1.2 样品来源

实验所用中肋骨条藻和新月菱形藻为中国水产科学研究院黄海水产研究所海水养殖生态与容纳量实验室提供。实验所用浮游动物为采用浮游生物拖网自胶州湾海域获得。

### 1.3 悬浮物配制

#### 1.3.1 藻类实验悬浮物溶液配置

海水为经煮沸后的自然海水,盐度为 28.95, pH 7.85, DO 7.92 mg/L,用电子天平称取定量泥样,加海水配制成不同浓度组,并进行消毒。

### 1.3.2 浮游动物实验悬浮物溶液配制

海水为浮游动物取样海域海水,盐度为 29.65, pH 为 7.92, DO 为 6.45 mg/L, 用电子天平称取适量泥样, 加海水配制成 20 g/L 的母液, 实验时按照不同的浓度添加不同体积的母液至实验容器中。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 藻类实验

中肋骨条藻实验浓度设置为 0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 g/L, 新月菱形藻实验浓度设置为 0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 g/L, 每组实验设置实验组 6-7 个, 其中包括对照组(煮沸海水, 不加悬浮物), 每个浓度组设置两个平行。接种藻液为处于指数生长期的中肋骨条藻和新月菱形藻, 营养盐除接种时添加外, 实验期间不再添加。250 ml 三角烧瓶中接种藻液和悬浮物培养液总量为 50 ml, 接种密度分别为  $40.79 \times 10^4$ 、 $30.89 \times 10^4$  ind/ml, 接种后将三角烧瓶置于实验室光照充足处, 在自然光照下进行培养, 其中中肋骨条藻培养温度为 19-25℃, 新月菱形藻培养温度为 16-22℃。培养过程中每 1 h 摇匀 3-4 次, 悬浮物在三角瓶中基本处于悬浮状态, 24 h 取样计数 1 次, 取样量 0.1 ml 左右; 采用 Olympus BX51 型显微镜, 0.1 mm, 1/400 mm<sup>2</sup> 普通血球计数板进行藻细胞计数, 每次计数取样 3-5 次, 最后取其平均值。

### 1.4.2 浮游动物实验

浮游动物实验浓度设置为 0、10、20、40、80、160 mg/L, 所用容器为 100 ml 烧杯, 每组实验设置实验组 6 个, 其中包括对照组(不加悬浮物), 每个浓度组设置两个平行。每个烧杯中添加 40ml 实验海水, 然后将带有浮游动物的海水搅匀后, 用量筒取 10 ml 加入实验烧杯中, 浮游动物个数为 470-540 个。浮游动物优势种主要包括藤壶无节幼体、太平洋哲水蚤、腹剑水蚤和小拟哲水蚤 4 种。自海区中取回浮游动物, 暂养 2 d 后进行实验, 在暂养期间投喂小球藻。

## 1.5 藻类实验计算方法

抑制率用生长曲线的面积比较法进行计算。计算公式:

$$A = (N_1 - N_0) \times t_1 / 2 + (N_1 + N_2 - 2N_0) \times (t_2 - t_1) / 2 + \dots + (N_{n-1} + N_n - 2N_0) \times (t_n - t_{n-1}) / 2$$

$$I_A = (A_c - A_t) / A_c \times 100\%$$

式中,  $A$  为面积,  $A_c$  为对照组面积,  $A_t$  为试验组面积,  $N_0$  为起始细胞数,  $N_1$  为  $t_1$  时刻细胞数,  $N_n$  为  $t_n$  时刻细胞数,  $t_1$  为从开始试验到第 1 次采样的时间,  $t_n$  为从开始试验到第  $n$  次采样的时间,  $I_A$  为抑制率。

## 1.6 浮游动物计数方法

用移液器吸取 1 ml 实验液体至浮游生物计数框中, 静置 6 s 后观察, 游动的个体为活的浮游动物, 静止不动为死亡的个体。每个样品瓶中的浮游动物个体计数 3-5 次, 最后取其平均值。

## 1.7 数据处理

### 1.7.1 藻类实验

建立抑制率(%)和浓度的对数( $\ln C$ )的线性关系, 求解抑制率为 50% 的浓度  $EC_{50}$  值, 并采用 SPSS 软件进行悬浮物浓度对浮游植物生长影响的显著性分析。

### 1.7.2 浮游动物实验

采用 SPSS 软件计算浮游动物死亡率为 50% 的悬浮物浓度  $LC_{50}$  值, 并进行悬浮物对浮游动物生长影响的显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 沉积物粒径大小

沉积物过 350 目筛子后通过激光粒度分析仪, 分析表明, 其中值粒径  $d(0.5)$  为 12.93  $\mu\text{m}$ ,  $d(0.1)$  为

2.45  $\mu\text{m}$ ,  $d(0.9)$  为 37.21  $\mu\text{m}$ 。

### 2.2 沉积物中污染物含量

实验所用沉积物中硫化物、重金属(Cu、Zn、Pb、Cd、Hg)、石油类等要素的检测参照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)进行,分析结果见表1,其主要成分含量均符合《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)一类要求,不会对受试生物产生毒害作用。

表1 实验泥样中主要成分含量( $10^{-6}$ )  
Table 1 Main contents of the experimental sediment samples ( $10^{-6}$ )

样品号 Sample	硫化物 Sulfide	重金属 Heavy metals					油类物质 Oil
		Hg	Cu	Zn	Pb	Cd	
1	25.94	0.035	16.15	23.28	10.75	nd	14.12
2	25.44	0.039	17.45	23.66	10.05	nd	13.62
平均 Average	25.69	0.037	16.80	23.47	10.40	nd	13.87
标准 Standard	300.00	0.200	35.00	150.00	60.00	0.50	500.00

“nd”为未检出 Not detected

### 2.3 不同浓度悬浮物对中肋骨条藻生长的影响及抑制

不同浓度悬浮物对中肋骨条藻生长情况的影响及生长抑制率见图1和表2。对悬浮物不同浓度和中肋骨条藻生长抑制率采用SPSS软件进行分析。结果表明,不同浓度的悬浮物对中肋骨条藻的生长具有显著的影响( $P < 0.01$ )。根据生长抑制率和悬浮物浓度的自然对数建立曲线,结果表明,悬浮物与中肋骨条藻的生长抑制率呈线性关系(48 h:  $y = 45.951x - 96.912, R = 0.977$ ; 96 h:  $y = 42.714x - 97.371, R = 0.993$ ),其半抑制浓度48 h- $EC_{50}$ 为1.58 g/L;96 h- $EC_{50}$ 为2.82 g/L。从该实验结果可以看出,随着悬浮物浓度的增加,中肋骨条藻的生长速度降低,说明悬浮物对中肋骨条藻的生长影响非常显著。

### 2.4 不同浓度悬浮物对新月菱形藻生长的影响及抑制

不同浓度悬浮物对新月菱形藻生长情况的影响及生长抑制率见图2和表3。对不同浓度悬浮物和新月菱形藻生长抑制率采用SPSS软件进行分析,结果表明,48 h和96 h不同浓度的悬浮物对新月菱形藻的生长均具有显著的影响( $P < 0.01$ )。根据生长抑制率和悬浮物浓度的自然对数建立曲线,结果表明,悬浮物与新月菱

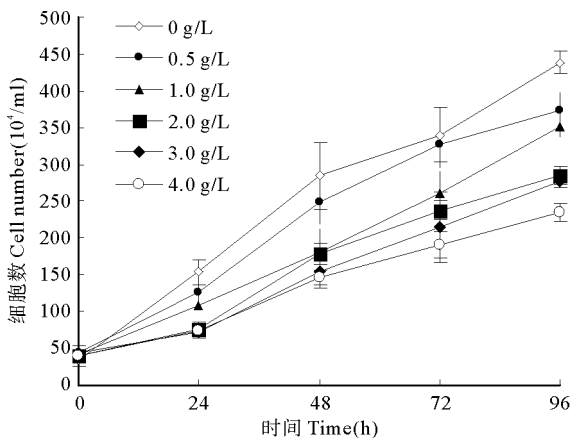


图1 中肋骨条藻在不同浓度悬浮物中的生长趋势  
Fig. 1 Growth of *S. costatum* in suspended solids at different concentrations

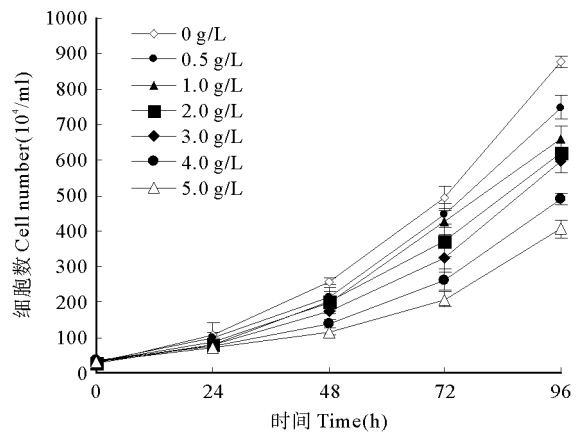


图2 新月菱形藻在不同浓度悬浮物中的生长趋势  
Fig. 2 Growth of *N. closterium* in suspended solids at different concentrations

形藻的生长抑制率呈线性关系(48 h:  $y = 36.141x - 81.366, R = 0.933$ ; 96 h:  $y = 41.51x - 101.7, R = 0.939$ ), 其半抑制浓度 48 h-EC<sub>50</sub> 为 4.27 g/L, 96 h-EC<sub>50</sub> 为 4.47 g/L。该实验结果表明, 新月菱形藻的生长速度随着悬浮物浓度的增大而降低, 说明悬浮物对浮游植物生长的影响非常显著。

表2 悬浮物对中肋骨条藻的生长影响

Table 2 Impact of suspended solids on the growth of *S. costatum*

悬浮物浓度 Concentration (g/L)	生长情况 Growth (10 <sup>4</sup> ind/ml)					生长抑制率 Inhibition rate (%)	
	初始 Initial	24 h	48 h	72 h	96 h	48 h	96 h
0.0	35.00 ± 5.66	154.00 ± 16.51	285.00 ± 45.28	340.25 ± 37.95	438.75 ± 14.93	-	-
0.5	44.00 ± 4.55	126.50 ± 15.93	250.00 ± 31.62	327.50 ± 32.79	373.75 ± 23.94	23.98	15.89
1.0	42.00 ± 3.56	108.75 ± 4.79	181.25 ± 32.24	261.25 ± 30.10	351.25 ± 13.15	44.11	33.81
2.0	40.25 ± 14.73	76.75 ± 1.89	178.75 ± 14.36	237.50 ± 13.23	285.00 ± 12.91	56.66	43.54
3.0	43.75 ± 3.50	71.75 ± 8.42	155.00 ± 22.73	215.00 ± 48.48	276.25 ± 7.50	65.73	51.29
4.0	39.75 ± 1.26	74.75 ± 10.81	146.25 ± 9.46	191.25 ± 17.97	235.00 ± 12.91	63.83	55.41

表3 悬浮物对新月菱形藻的生长影响

Table 3 Impact of suspended solids on the growth of *N. closterium*

悬浮物浓度 Concentration (g/L)	生长情况 Growth (10 <sup>4</sup> ind/ml)					生长抑制率 Inhibition rate (%)	
	初始 Initial	24 h	48 h	72 h	96 h	48 h	96 h
0.0	28.00 ± 3.56	107.50 ± 34.76	257.50 ± 9.57	492.50 ± 31.75	877.50 ± 17.08	-	-
0.5	32.00 ± 2.94	97.50 ± 16.58	213.75 ± 28.69	447.50 ± 29.86	748.75 ± 34.73	19.50	14.78
1.0	30.50 ± 3.11	87.50 ± 27.23	196.25 ± 14.93	425.00 ± 33.17	660.00 ± 36.51	27.99	22.22
2.0	28.75 ± 2.22	80.25 ± 18.08	200.00 ± 27.99	371.25 ± 41.51	618.75 ± 16.52	29.41	28.21
3.0	31.25 ± 3.30	77.50 ± 2.89	172.50 ± 6.45	323.75 ± 40.08	598.75 ± 34.73	39.83	36.26
4.0	35.50 ± 5.26	75.00 ± 8.16	138.75 ± 12.50	262.50 ± 30.96	488.75 ± 15.48	53.09	50.23
5.0	30.25 ± 3.25	71.50 ± 7.65	115.50 ± 10.24	206.25 ± 22.45	405.25 ± 25.86	56.82	59.11

## 2.5 不同浓度悬浮物对浮游动物生长的影响

不同浓度悬浮物对浮游动物生长情况的影响及死亡率见图3和表4。对悬浮物不同浓度和浮游动物死亡个数采用SPSS软件进行分析, 结果表明, 48 h和96 h不同浓度的悬浮物对浮游动物的生长均具有显著的影响( $P < 0.01$ ); 悬浮物浓度与浮游动物的死亡率呈线性关系( $y = 21.251x + 12.189, R = 0.967$ ), 其半致死浓度 96 h-LC<sub>50</sub> 为 60.172 mg/L。从该实验结果可以看出, 随着悬浮物浓度的增加, 浮游动物的死亡率升高, 说明悬浮物对浮游动物生长的影响非常显著。

## 3 讨论

本研究通过悬浮物对浮游植物生长的影响实验发现, 悬浮物对浮游植物的生长有明显的抑制作用, 且悬浮物的浓度与抑制率呈线性关系, 新月菱形藻和中肋骨条藻的生长速度均随悬浮物浓度的增加而降低。在两种藻类的实验中, 悬浮物对藻类生长均有显著差异,

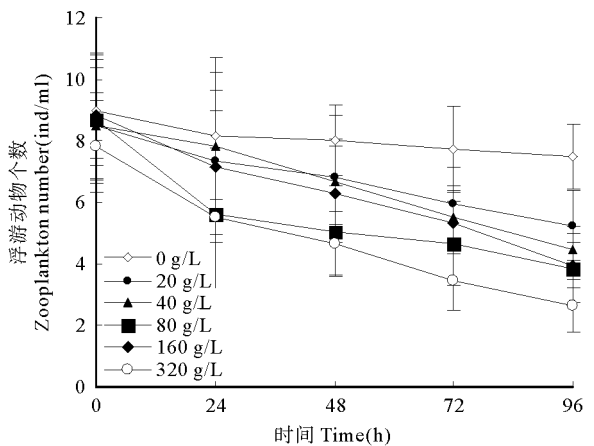


图3 浮游动物在不同浓度悬浮物中的存活情况  
Fig. 3 Survival of zooplankton in suspended solids at different concentrations

表4 悬浮物对浮游动物的生长影响及死亡率  
Table 4 Impact of suspended solids on growth and mortality rate of zooplankton

悬浮物浓度 Concentration (g/L)	生长情况 Growth (cell/ml)					死亡率 Mortality rate (%)	
	初始 Initial	24 h	48 h	72 h	96 h	48 h	96 h
0	9.00 ± 1.79	8.17 ± 2.06	8.00 ± 1.15	7.75 ± 1.35	7.50 ± 1.05	11.11	16.67
20	8.50 ± 1.87	7.33 ± 1.65	6.83 ± 1.98	5.95 ± 1.22	5.25 ± 1.13	19.65	38.24
40	8.50 ± 1.05	7.83 ± 2.88	6.67 ± 1.38	5.50 ± 1.04	4.45 ± 0.80	21.53	47.65
80	8.67 ± 1.97	5.63 ± 2.15	5.05 ± 1.46	4.67 ± 1.36	3.85 ± 1.12	41.75	55.59
160	8.83 ± 2.04	7.17 ± 2.48	6.27 ± 1.56	5.33 ± 1.02	3.95 ± 0.75	28.99	55.27
320	7.83 ± 1.47	5.50 ± 2.26	4.67 ± 1.04	3.47 ± 0.98	2.63 ± 0.86	40.36	66.41

但中肋骨条藻的96 h-EC<sub>50</sub>明显要低于新月菱形藻,说明同浓度的悬浮物条件下,中肋骨条藻生长所受影响要高于新月菱形藻,这可能与这两种浮游植物的生物学特性有关。中肋骨条藻着生一圈细长的刺,其比表面积大,更容易吸附悬浮物(路永正等 2011),而吸附在藻细胞上的悬浮物降低了中肋骨条藻的光合作用,同时吸附悬浮物的藻个体更容易沉降到底部,其生长受到较大的影响;而新月菱形藻个体为细长型,比表面积小,对悬浮物的吸附作用小,因此受悬浮物的影响要小于中肋骨条藻。

在浮游植物生长过程中,除N、P等营养元素外,光和溶解氧也是其重要的限制因子,在实验组中,由于添加了悬浮物,悬浮颗粒对光的折射及散射等效应,降低了水体的透明度,抑制了浮游植物进行光合作用,同时由于悬浮于水中的颗粒作为一个物理屏障,阻碍了水中的气体交换,使水体中的溶解氧降低,也影响了浮游植物进行光合作用的效率,对浮游植物的生长也造成一定的影响(王云龙等 1999),而浮游植物作为海洋中的初级饵料,它的数量减少会对其他生物的生长产生影响。

悬浮物对浮游动物生长影响实验表明,悬浮物对浮游动物的生长有一定的影响,随着悬浮物浓度的增加,浮游动物的死亡率升高,其半致死浓度96 h-LC<sub>50</sub>为60.172 mg/L。另外,悬浮物对浮游植物的生长影响实验证实,当水中的悬浮物含量较高时,浮游植物的生物量将受到一定的抑制作用,而浮游植物生物量的降低进一步加剧了悬浮物对浮游动物的抑制作用。白雪梅等(2000)研究发现,悬浮物对浮游动物生长影响原因可能是由于悬浮物直接对浮游动物造成的影响,也可能是由于悬浮物影响了浮游植物的生长从而间接地影响了浮游动物的生长。因此,关注海洋中悬浮物对整个海洋生态环境的可持续发展具有重要意义。

## 参 考 文 献

- 王云龙,成永旭,徐兆礼,陈亚瞿. 1999. 长江口疏浚土悬沙对中华绒螯蟹幼体发育和变态的影响. 中国水产科学, 6(5): 20-23
- 白雪梅,徐兆礼. 2000. 底泥悬浮物对水生生物的影响. 上海水产大学学报, 9(1): 65-68
- 孙雪梅,夏斌,过锋,陈碧鹃,石潇. 2013. 青岛崂山近岸海域浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 渔业科学进展, 34(2): 46-53
- 李广楼,张光玉,毛天宇,曹宏梅,王媚娟. 2010. 港口疏浚淤泥悬浮物对2种海洋生物的急性毒性试验研究. 齐鲁渔业, 27(2): 1-5
- 吴利,冯伟松,张堂林,余育和. 2011. 春、秋季武湖浮游动物群落特征及其与环境因子的关系. 水生态学杂志, 32(2): 31-36
- 李纯厚,林燕棠,杨美兰,金桂英. 1997. 南海海港疏浚淤泥悬浮物对海洋动物的急性毒性效应. 中国环境科学, 17(6): 550-553
- 杨东方,马兆党,李瑞香,石强,郭军辉. 2012. 浮山湾海域浮游动物的群落结构特征. 海洋开发与管理, 9: 81-85
- 周勇,马绍赛,曲克明,徐勇. 2010. 悬浮物对半滑舌鳎稚鱼的急性毒性效应. 海洋环境科学, 29(2): 229-232
- 姜祖辉,陈瑞胜,王俊. 2007. 胶州湾红岛潮间带底栖藻种类组成及其生物量变化. 海洋水产研究, 28(5): 74-81
- 黄一平,杨锋,陆建明,叶健欣,叶宁. 2010. 湛江港疏浚弃土悬浮物对3种浮游植物生长的影响. 绿色科技, (10): 67-69
- 路永正,阎百兴. 2011. 微生物对沉积物主要化学组分吸附重金属能力的影响. 中国环境科学, 31(1): 105-110
- 蔡玉婷. 2010. 福建主要港湾悬浮物、悬浮有机质等环境因子的分布与变化. 海洋科学进展, 28(1): 94-101
- Kirk KL. 1990. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifer and cladocerans. Ecol 71(5): 1741-1755