

底泥悬浮物对水生生物的影响

The effects of suspended sediment on aquatic organisms

白雪梅 徐兆礼

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

Bai Xuemei, Xu Zhaoli

(East China Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Shanghai 200090)

关键词 底泥悬浮物,水生生物

KEYWORDS suspended sediment, aquatic organisms

中图分类号 S917

从20世纪50年代开始,便对水体中由于风浪、洪水、底层石砾挖掘及水利工程方面的挖掘而造成的无机底泥悬浮物予以高度的重视,并就其对整个水生态系的影响进行了深入的研究。在国外的某些区域,无机悬浮物被认为是水域中最为普遍的污染,它主要通过增加水体浑浊度所产生的一系列负效应及沉降后的掩埋作用而对水体中各生物类群如浮游植物、浮游动物及鱼类等进行生理、行为、繁殖、生长等方面的影响,从而影响整个水生态系的种群动态及群落结构。现将学者们所做的悬浮物对水生态系的影响方面的主要工作作一概述。

1 无机悬浮物以悬浮状态存在时的影响

1.1 悬浮物对浮游生物的影响

1.1.1 对生长率的影响

1990年, Kirk研究了悬浮物对轮虫和枝角类生长率及种群增长率的影响。结果发现悬浮粘土对枝角类的丰度、存活率及繁殖率等有显著影响,这种影响与悬浮粘土的浓度、粒径及浮游动物的饵料生物——浮游植物的浓度有关^[1]。

当粘土为粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的细粘土时,轮虫、枝角类的生长率均不受其影响;当粒径范围为 $1\mu\text{m} < d < 2\mu\text{m}$ 的粗粘土时,轮虫依然无影响,而枝角类的生长率则在一定的粘土浓度下受到显著的影响。

实验选用了四种枝角类,当粗悬浮粘土浓度为 10mg/L 时,对其无影响;当浓度为 50mg/L 及 100mg/L 时,其生长率、繁殖率、幼体成活率及成活时间均大幅度下降。如悬浮物降低水蚤幼体成活率的结果如下:当粗悬浮粘土浓度 $C(\text{mg/L})$ 为0时,成活率为100%; $C = 10\text{mg/L}$ 时,成活率为93%; $C = 50\text{mg/L}$ 时,成活率为56%; $C = 100 \sim 2000\text{mg/L}$ 时,蚤类幼体迅速死亡。

对网纹蚤(*Ceriodaphnia*)的繁殖实验表明:当悬浮粘土浓度为 10mg/L 时繁殖出了第二代,且无个体死亡;当浓度为 50mg/L 时,则第一代个体仅存活了5d,且无第二代产生。

另外,饵料生物隐藻(*Cryptomonas*)的浓度影响悬浮物对浮游动物生长率的抑制程度。在一定的粘土浓度下,隐藻的浓度越高,粘土对浮游动物所造成的负面影响就越低;相反,隐藻浓度越低,粘土的影

第一作者简介:白雪梅,女,1972年10月生,硕士学位,现从事海洋生态学研究。

收稿日期:1999-01-27

响则越大。如悬浮粘土浓度为 50mg/L 的固定条件下,隐藻浓度为 20000 个/mL 时,枝角类种群增长率下降 11%;隐藻浓度为 5000 个/mL 时,下降 80%;隐藻浓度为 2000 个/mL 时种群停止生长。这说明悬浮粘土对枝角类的影响与水中浮游植物的生物量呈负相关。而在粘土含量较高的水体,由于粘土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粘土作为一个物理屏障,阻碍了水中的气体交换,也影响了浮游植物进行光合作用的效率。因此,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^[2],而浮游植物生物量的降低进一步加剧了悬浮粘土对浮游动物的抑制作用。

1.1.2 对摄食率的影响

Kirk 研究了水中的无机颗粒对浮游动物摄食率的影响作用。结果表明,悬浮于水中的粗粘土大大降低了枝角类的摄食率。C = 50mg/L 时,摄食率下降 13% ~ 83%。对轮虫则无影响^[3]。

Kirk 对水蚤进一步的研究发现,悬浮物对枝角类摄食率的抑制作用也与粘土颗粒的浓度、粒径及饵料生物的浓度有关,其次还与枝角类的体长呈负相关^[4]。同等条件下,体长为 1.16mm 的枝角类,在悬浮物作用下,摄食率降低了 68%;体长为 1.73mm 的枝角类,其生长率则只降低了 49%,这说明悬浮物对枝角类幼体的摄食率影响尤为显著。与悬浮物对枝角类生长率的影响相似,悬浮物对其摄食率的影响也与浮游植物的生物量成负相关。当悬浮物浓度为 50mg/L 时,隐藻浓度为 20000 个/mL 时,摄食率下降 27%;隐藻浓度为 5000 个/mL 时,摄食率则下降 60% ~ 70%。

悬浮粘土之所以对枝角类的生长、摄食有明显的抑制作用,这主要是因为枝角类的摄食对饵料粒径无选择性而致。粒径为 0.5 ~ 2 μ m 的颗粒,包括粘土等无机颗粒,均为枝角类的摄食对象。自然情况下,水中无机颗粒的范围从 0.1 ~ 30 μ m,但大型颗粒均随水柱迅速下沉,悬浮于水中最为常见的颗粒粒径为 2 μ m,而这些颗粒均可被枝角类吞食。当枝角类吞食大量的粘土颗粒之后,它对饵料生物利用率自然降低,从而也降低了它用于个体增长、存活及繁殖等所需能量的摄入,因而导致了其摄食、生长的大幅度降低。

1.1.3 对丰度、生产量及群落结构的影响

Hart 对浮游动物的研究发现,当透明度低时,水蚤的种类很少,且其生物量与透明度呈正相关^[5]。1987 年, Hart 对五种枝角类在透明度不同的年份进行了研究,1981 - 1982 年水体透明度为 25cm 时与透明度为 35cm 的 1982 - 1983 年相比,浮游动物生物量及种群密度下降了 58% ~ 75%。而有的水蚤在 1981 - 1982 年透明度低时则完全消失^[6]。生产量在 1981 - 1982 年为 6486mg/(m²·y),而 1982 - 1983 年透明度增加了 10cm 后,生产量增加到 10617mg/(m²·y),平均增加了 1.6 倍。

另外, Kirk 的研究结果显示,悬浮物的存在可以改变浮游动物的群落结构,当水中无悬浮物时,枝角类为优势种;当水中悬浮物浓度升高时,优势种则为轮虫^[1]。

1.2 悬浮物对鱼类的影响

悬浮物对鱼类的影响分为三类即致死效应、亚致死效应及行为影响。这些影响主要表现为直接杀死鱼类个体;降低其生长率及其对疾病的抵抗力;干扰其产卵、降低孵化率和仔鱼成活率;改变其洄游习性;降低其饵料生物的丰度;降低其捕食效率等^[7,8]。

如 1949 年 Cordone 的研究结果显示,当水中悬浮泥沙浓度为 3×10^{-3} 时,持续 10d,鱼的鳃被阻塞、鳃组织被破坏^[9]。在 1936 年的一次洪水中,浑浊度达到了 6×10^{-3} ,持续 15d,鱼大量死亡,牡蛎养殖场被破坏;1981 年,国外学者对蓝鳃鱼 (*Lepomis macrochirus*) 的研究发现,浑浊度大大降低了蓝鳃鱼的摄食率^[10];Biesson 研究了硬头鲮 (*Salmo gairdneri*) 在浑水水域所表现出的回避反应,当水体的浑浊度达到 70NTU (比浊法浊度单位) 时,硬头鲮在 5min 内,迅速表现出回避反应^[11];Sigler 研究了悬浮物对银大麻哈鱼 (*Oncorhynchus kisutch*) 及鲟鱼的种群密度的影响,结果发现,向浑水水域投放 300 条鱼,2 ~ 3d 后,只剩下 27 ~ 32 条,其余的全部迁出该区域^[12]。

国外学者通过大量的实验,将水中悬浮物对鱼类的影响分为如下 14 个等级^[13,14]:①吐食率增加;②紧急反应、惊恐反应;③回避反应;④摄食率降低;⑤回归习性被破坏;⑥有机体处于病理状态;⑦中等程度的生境恶化;⑧生理应激及组织改变;⑨生长率下降;⑩0 ~ 20% 的死亡率;⑪20 ~ 40% 的死亡率;⑫

40~60%的死亡率;③60~80%的死亡率;④80~100%的死亡率。

为了更好地衡量底泥悬浮物对鱼类的影响,国外学者提出了一个污染强度指数(应激指数),即以底泥悬浮物的浓度与其在水中持续的时间的自然对数来表示。依据此指数^[15-17],研究了不同应激指数下,不同鱼类的摄食、生长及鱼苗的孵化和成活等所受到的影响。现将部分实验结果举例如下:

(1)对鳟摄食率的影响

底泥悬浮物的浓度 C(mg/L)	持续时间 D(h)	应激指数 Ln^{CD}	影响摄食率
14	1	2.6	减低
100	1	4.6	减低 45%
250	1	5.5	减低 90%
300	1	5.7	减低 100%

(2)对北极茴鱼生长率的影响

底泥悬浮物的浓度 C(mg/L)	持续时间 D(h)	应激指数 Ln^{CD}	影响生长率
100	1008	11.5	下降 6%
300	1008	12.6	下降 10%
1000	1008	13.8	下降 33%

(3)对鳟孵化率的影响

底泥悬浮物的浓度 C(mg/L)	持续时间 D(h)	应激指数 Ln^{CD}	影响孵化率
7	1152	9.	下降 17%
21	1152	10.0:	下降 62%
47	1152	10.9.	下降 100%

(4)对鳟鱼苗成活率的影响

底泥悬浮物的浓度 C(mg/L)	持续时间 D(h)	应激指数 Ln^{CD}	影响鱼苗成活率
200	24	8.5	95%
200	1008	10.4	92%

(5)对鳟鱼生理状态的影响

底泥悬浮物的浓度 (mg/L)	持续时间 D(h)	应激指数 Ln^{CD}	影 响
500	9	8.4	生理性病态
171	96	9.7	组织被破坏
270	312	11.3	鳃组织严重破坏

通过上述实验结果发现,底泥悬浮物对鱼类的影响极为广泛。方差分析表明:应激指数与底泥悬浮物对有机体影响程度的相关系数为 0.64,而浓度作为一个单独的因子,相关系数为 0.14。因此,应激指数能较有效地说明底泥悬浮物对有机体的影响程度^[18]。

2 悬浮物沉积后对水生生物的掩埋作用

大量实验表明,底泥悬浮物沉降后,对水中的底栖生物、鱼卵及鱼苗等有不可估量的影响。Wagener 报道了阿拉斯加河进行河底沙砾挖掘后,挖掘区及其下游 6.44km 处,底层有机体全部死亡^[19];Camebell 报道了帕德河挖掘金矿后,在淤积期间,24.14~32.17km 处,底栖生物量、鱼类饵料生物量几乎为零^[20]。

另外,由于底泥悬浮物沉降后,泥沙对鱼卵的覆盖作用,使孵化率大幅度下降;同时,大量的泥沙沉降后,掩埋了水底的石砾、碎石及水底其它不规则的类似物,从而破坏了鱼苗天然的庇护场所,而庇护场所是鱼苗借以躲避敌害、提高成活率的有效保证。因此,底泥悬浮物的沉降,一方面破坏了鱼类的产卵场所,另一方面破坏了鱼苗的庇护场所,从而降低了鱼类的种群密度。

针对底泥悬浮物对水体中有机生物的巨大影响,美国俄亥俄州卫生局及英国的相关部门都提出了一系列控制底泥悬浮物的措施:①在河床上不允许任何砾矿挖掘活动。②在临近河流及河流支流中不允许砾矿挖掘。③在每年的5月1日到11月1日,不允许增加水的自然浊度。④不允许使水体产生淤泥或沙砾沉积^[7]。

国内近年来也在该领域做了一定的研究工作。1996年,由于盐池疏浚泥沙悬浮物排放导致辽宁省某水产养殖场的菲律宾蛤(*Venerupis philippinarum*)大量死亡,经济损失约900多万元。国内某海洋环境保护研究所于1997年就某盐业集团公司排放的疏浚泥沙对毗邻海域资源所造成的影响进行了研究。其中对菲律宾蛤进行96h泥浆掩埋的试验结果表明:泥浆掩埋厚度低于7cm时菲律宾蛤仔的存活率均较高;当泥浆掩埋厚度达到10cm时,其存活率明显降低。这主要是因为泥沙沉降到一定厚度时,致使贝类的进出水管无法伸到一定的水层,阻碍了其正常的对饵料和溶氧的摄取而最终致死。也曾做过长江口疏浚土悬沙对中华绒螯蟹幼体发育和变态影响的实验,结果表明,水中悬沙含量致使中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)蚤Ⅰ蜕皮变态推迟。当水体中含沙量持续96h达到3g/L时,藻类生长速率降低20%~30%,一旦疏浚作业停止,水体变清,藻类生长恢复正常;同时发现,96h,悬沙对大型蚤(*Daphnia magna*)的半致死浓度为4.16g/L(徐兆礼.长江口疏浚弃土悬沙对两种浮游植物生长的影响.1999)。另外,当培养液中加入7~9mg/L弃土悬沙时,轮虫种群内禀增长率(r_m)显著降低(王金秋.长江口疏浚弃土悬沙对轮虫动物的慢性毒性效应.1999)。

从上述可以看出,水中悬浮物的形成有自然因素如风浪、洪水等,也有人因素如底层石砾挖掘、水利工程方面的挖掘等,所产生的悬浮物对水生生物造成的影响是不容忽视的,国内的科研工作者和有关政府部门应予以足够的重视。

参 考 文 献

- 1 Kirk K L. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifer and cladocerans. *Ecology*, 1990, 71(5):1741~1755
- 2 Grobbelaar J U. Phytoplankton productivity in turbid waters. *J Plank Res*, 1985, 7:653~663
- 3 Kirk K L. Inorganic particles alter comp. Metition in grazing plankton: the role of selective feeding. *Ecology*, 1991, 72(3):915~923
- 4 Kirk K L. Suspended clay reduces *Daphnia* feeding rate: Behavioural mechanisms. *Freshwater Biology*, 1991, 25(2):357~365
- 5 Hart R C. Zooplankton abundance community structure and dynamics in relation to inorganic turbidity, and their implications for a potential fishery in subtropical Lake Le Roux, South Africa. *Freshwater Biology*, 1986, 16:351~371
- 6 Hart R C. Population dynamics and production of five crustacean zooplankters in a subtropical reservoir during years of contrasting turbidity. *Freshwater Biology*, 1987, 18:287~318
- 7 Newcombe C P. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *Nor Am J Fish Manag*, 1991, 11:72~82
- 8 Reynolds J B. Effects of placer mining discharge on health and food habits of Arctic grayling. *Water Resources Bulletin*, 1988, 25:625~635
- 9 Cordane A J. The influences of inorganic sediment on the aquatic life of streams. *Cal Fish Game*, 1949, 47:189~228
- 10 Gardner M B. Effects of turbidity on feeding rates and selectivity of Bluegills. *Tran Am Fish Soc*, 1981, 110:446~450
- 11 Bisson P A. Avoidance of suspended sediment by juvenile Coho Salmon. *Nor Am J Fish Manag*, 1982, 2:371~374
- 12 Sigler J W. Effects of chronic turbidity on density and growth of Steelheads and Coho Salmo. *Tran Am Fish Soc*, 1984, 113:142~150
- 13 Herbert D W. The effect of suspended mineral solids on the survival of trout. *Inter J Air Water Poll*, 1961, 5:56~74
- 14 Lawrence M. Behavioral responses of whitefish and rainbow trout to drilling fluids. *Can Fish Mar Ser Techn Rep*, 1974, 502
- 15 McCabe G D. The effects of suspended silt on feeding and reproduction of *Daphnia pulex*. *Am Mid Nat*, 1983, 110:324~337
- 16 Herbert D W. The growth and survival of fish some suspensions of solids of industrial origin. *Inter J Air Water Poll*, 1963, 7:297~302
- 17 Mcleay D J. Responses of Arctic grayling to acute and prolonged exposure to Yukon Placer mining sediment. *Can J Fish Aquat Sci*, 1983, 44:658~673
- 18 Perriou R K. Direct effects of suspended sediments on aquatic organisms. *Cont Sed*, 1980, 1:501~535
- 19 Wagner S M. Effects of placer mining on the invertebrate communities of interior Alaska Streams. *Freshwater Invertebrate Biology*, 1985, 4:208~214
- 20 Combell H J. The effect of ditation from gold dredging on the survival of rainbow trout and eyed eggs in the Powder river, Oregon. *Oregon State Game Commission, Portland, Fish Bull*, 1954