

海洋环境质量评价的生物学指标*

范振刚 张素萍 于启城

(中国科学院海洋研究所)

海洋,一望无际,广漠无垠;波涛汹涌,怒吼咆哮,自古以来就引人入胜。著名唐代诗人白居易曾以“海漫漫,直下无底旁无边”的诗句来描述海洋广袤深沉的气势。因此很久以来,为探索海洋的奥秘不少勇敢的人付出了惊人的代价;海洋也以她富饶的资源为人类的生产实践和科学试验提供了广阔的场所,海洋对人类的生存、世界的发展不断作出贡献。

但是随着现代工业的高速发展,尤其是霸权主义国家为霸占世界和获取利益,生产处于严重的竞争状态,任意向海洋排放有毒物质,对海洋生物与水产资源产生危害,干扰了海洋环境的自调系统,破坏了海洋生态系统的平衡,造成海洋污染。

近十几年,临海国家人民受海洋污染危害的情况日趋加重,如闻名世界的日本水俣病就是沿海居民长期食用含汞水产品而引起的。海洋污染的加剧引起了不少国家的重视,开始进行海洋污染对海洋生物的影响及其之间相互关系的调查研究,积极地探索海洋环境监测与其质量评价的生物学指标,已取得大量研究成果。

目前,生物学指标一般分为:①指示生物(Indicator Organism),②生物群落结构(Structure of the Community),③生物测试(Bioassay)和④残毒分析(Assay of the Residual Toxicant)。各个指标都各具特点但又关系密切和相互补充。

本文仅就第①和②两个方面结合具体工作予以叙述。

一、指示生物

指示生物的研究,首先是从淡水水域开始

的。1853年德国植物学家 Cohn 提出了“生物的水质分析体系”。尔后, Kolkwitz and Marrson (1902, 1908, 1909) 发表了适用于评价水质的动、植物名录,第一次提出了“污水生物体系”(Saprobic System)的概念。Liebmann (1947)认为,在污水生物体系中选择的指示生物应该是能在一切地方和一切水域都能使用,因此特别注意地研究了属于世界性分布的原生动物,对污水生物体系作了进一步的修正与补充。直到1977年,德国生态学家 Anger 明确指出:指示生物的概念是建立在生命周期较长、比较固定地生活于某一环境的生物在一个较长时间内反映环境条件的基础上,尤其是许多水生生物与有机污染有着密切的关系,因而能有效地指示人为环境的改变。

海洋污染生物学指标的研究,是1916年由 Welhem 第一次用无脊椎动物作为海洋环境质量评价的指示生物开始的。但这一概念普遍地应用于海洋污染的调查研究还是近一、二十年的事情,其发展速度很快,研究报告发表不少。中国科学院海洋研究所吴宝铃等(1964)对受有机废水污染的青岛栈桥湾(黄海)、大连老虎滩(渤海)和浙江大陈岛(东海)进行了详细的调查研究。调查表明:

重污染区:溶解氧为零或是低于1.7毫克/升。硫化氢含量可高达28.2毫克/升。该区无生物出现。

污染区:①山东某海湾的溶解氧为3毫克/升。pH为7.6。氯度15.87‰。硫化氢含量为18.7毫克/升。指示生物为多毛类的小头虫 *Capitella capitata* (Fabricius), 栖息密度127200个/米², 占该区各类动物个体数的70—

* 本文承李冠国先生审阅,谨致谢意。

90%。生物量为1068克/米²。②辽宁某海湾污染区小头虫的密度为75900个/米²。生物量为352克/米²。③浙江某海湾污染区各环境因子指标与山东某海湾近似。但是小头虫的栖息数量低于山东某海湾,密度为33600个/米²。生物量52克/米²。

正常水域:溶解氧为6毫克/升。底质沉积物中不含有硫化氢。无小头虫分布。

与日本(北森良之介,1960,1963)和加利福尼亚(Reish,1956—1963)沿岸污染区生物出现种类比较,指示生物皆系小头虫。而我国(黄、东海)污染区生物群落组成与日本西岸更为近似,两地除以小头虫作为主要指示生物外,其他组成种类也近相同,如多鳃齿吻沙蚕 *Nephtys polybranchia southern*、疏鳃才女虫 *Polydora (Carzizia) paucibranchista okuda*、长吻沙蚕 *Glycera chirori Izuka* 以及软体动物的蛤仔 *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve)。与太平洋东岸加利福尼亚沿岸污染区小头虫群落的共有种仅有疏鳃才女虫。

Reish曾有试验证明,溶解氧为1.2—1.6毫克/升时,小头虫因不能摄食而死亡;溶解氧在2.9毫克/升时,小头虫能生活,但不进行繁殖发育;溶解氧3.4毫克/升,小头虫正常生活,并完成生活史;溶解氧4毫克/升时,小头虫的栖息数量显著减少。孙道元等试验也证明,在清洁水域中进行小头虫培养,结果是3—4天就全部死亡。

山东某海湾污染区溶解氧是3毫克/升左右,所以可采到各个时期的小头虫。

著者进行山东另一海湾环境调查时(1977—1979),在受重金属污染的沙质潮间带,曾发现日本刺沙蚕身体表面沾有明显的污染物质,并且出现畸变。以后大量的调查和进一步的毒性试验,其结果均表明该生物对环境因子改变的反应极为敏感,能及时地反应出环境质量的状态。因此我们认为日本刺沙蚕应被认为是有效的指示生物之一。

指示生物的建立,对环境监测与质量评价

起了一定的作用。然而随着研究工作的深入,使人们越来越感到它具有一定的局限性,需要进一步探索新的指标予以补充。但是亦有一些学者(如:欧洲和北美的生物学家)对指示生物概念一直是不予以接受,甚至采取否定态度。我们认为事物的发展总是从单一到综合,由简单到复杂。对指示生物在环境质量评价中的作用应该予以肯定,但是必须指出尚需继续探索与发展。

据报道,目前,除继续指示生物的探索研究外,不少生态学家,尤其是北美和欧洲的生态学家则重视生物群落结构的研究,用以评价环境质量。

二、群落结构

栖息于自然界的生物,种与种之间有着相互依存、相互制约的辩证关系,并且在一定环境中,某些种类以一定的数量比例构成群落。正常情况下,生态系统中环境与生物、生物与生物之间不间断地进行着物质循环和能量流动,以维持自然界的平衡。一旦环境发生改变或者是环境中引进了某种有害物质,其数量超过了环境的自净能力,就造成污染,对生物产生危害,进而引起群落结构上的改变,破坏了生态系统的平衡。

底栖生物具有以下生态学特点:①不同生物对同一污染物质的敏感性不同。有的种类忍受能力很强,有的种类则很敏感,能迅速予以反应。②生命周期一般是一年或一年以上,并以吞食沉积物中的有机物为营养,因此,与底质的关系密切。③大多数种类营底内固着、作管、营巢生活。在底表面缓慢爬行,活动范围小,对环境条件的改变没有或者几乎没有回避的能力。因此底栖生物及其群落结构作为生物学指标被广泛地用于评价环境质量,并越来越受到重视。

国外学者也对生物群落结构的特点予以叙述。Stoneburner(1976)指出:硅藻和大型无脊椎动物群落被用于评价生活和工业废水对接纳水体的影响,其理由是许多种类对污染物质

十分敏感并能迅速反应, 它们着生于水底成为良好的水质连续监测系统。

为了便于群落结构的对比, 往往将其通过数学公式予以运算, 然后用数值表达出来。其中最简单的是生物指数 (Biotic Index), 它是群落结构中组成种数的一种简化反映。如 Beck-津田氏生物指数, 是采集一定面积的生物, 将其按敏感种和忍污种分成 A、B 两大类, 然后以 $2A + B$ 表示生物指数来评价水体污染的程度。生物指数范围一般是 0—40。津田松苗

(1974) 在叙述生物指数与水质关系时以生物指数划分不同污染带: >30 干净; $29-15$ 较干净; $14-6$ 不干净; $5-0$ 极不净。近几年来这种数学表达式发展很快, 各个国家又根据不同情况建立了各种生物指数和反映群落组成的种数与种间数量关系等生态学特点的多样性指数。主要有以下几种:

(1) Pantle-Buck 氏生物指数

(2) Zelinda-Marvan 生物指数

(3) Beck—津田氏生物指数

(4) Gramam 氏生物指数

(5) $SI = \frac{\sum ni(ni-1)}{N(N-1)}$ (Simpson, 1949)

(6) $H'(S) = - \sum_{i=1}^s \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N}$ (Shannon-Wiener, 1949)

(7) $H(S) = \frac{1}{N} \log \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_s!}$ (Brillouin, 1960)

(8) $NM = \frac{N(S+1)}{2} - \sum Rini$ (Fager, 1972)

著者于 1977—1979 年对该海湾连续进行了五次污染调查¹⁾。调查得知, 1977 年以前该湾沿岸无任何工矿企业; 1977 年 10 月于该湾沿岸建成并投产了一座化工厂。通过调查, 获得了投产前、后大量的环境因子数据与生物群落结构等生态学 and 试验结果。

投产前: 该海湾环境质量良好。栖息于潮间带的各种生物, 构成了不同的生物群落 (见图 1, 图 2A), 与黄海沿岸潮间带生态学特点

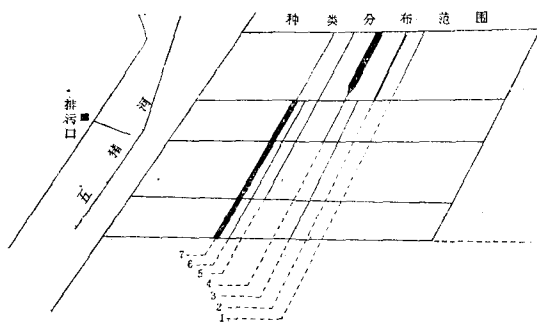


图 1 断面 A 生物垂直分布 (1977.6)

注: 1. 日本沙蚕, 2. 圆球鼓窗蟹, 3. 鸭嘴蛤, 4. 等边浅蛤, 5. 蝶赢蜚属, 6. 橄榄紫蛤, 7. 日本镜蛤。

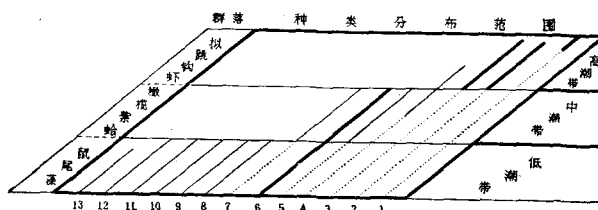


图 2A 断面 B 生物垂直分布 (1977.6)

注: 1. 拟跳钩虾, 2. 新团水虱, 3. 日本刺沙蚕, 4. 日本浪漂水虱, 5. 蛭蛭, 6. 橄榄紫蛤, 7. 等边浅蛤, 8. 微黄玉螺, 9. 海蛭, 10. 锥头虫, 11. 哈氏美人虾, 12. 褐虾, 13. 日本冠鞭蟹。

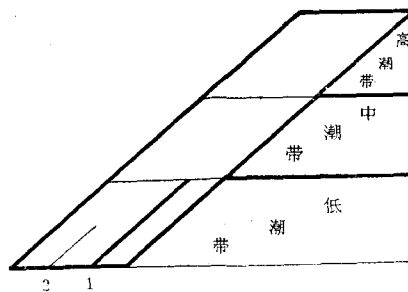


图 2B 断面 B 生物垂直分布 (1977.12)

注: 1. 橄榄紫蛤, 2. 日本刺沙蚕。

比较基本相似, 群落内从底栖硅藻到大型无脊椎动物之间的数量比例正常。

投产后: 由于对废水未进行净化处理即顺排污口排放入海, 致使附近的环境因子 (图 2A 断面 B) 引起改变。低潮带滩涂间隙水呈黄褐色, 并测出 0.4—0.8 毫克/升的二硝基重氮酚。

1) 参加调查的单位有: 烟台地区环境保护办公室、威海市环境保护办公室。

据1977年12月调查,该断面高、中潮带已采不到生物(图2B)。低潮带仅采到橄榄紫蛤 *San-
guinolaria olivacea*(Jay)和日本刺沙蚕 *Nean-
thes japonica* Izuka。后者仅采到一个标本,

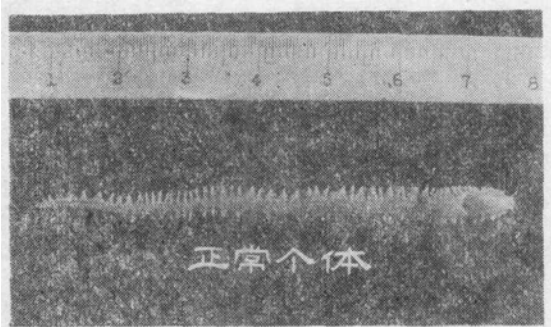


图3 正常个体

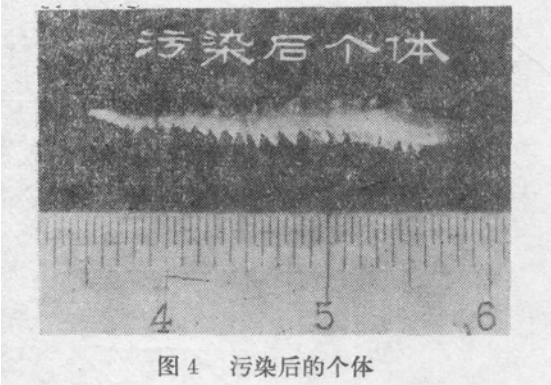


图4 污染后的个体

体长24毫米,宽4毫米,具有62刚节,属成体个体。但与正常个体比较,该个体体前部疣足叶上的刚毛显著减少,越向体后越少,至38体节时,疣足无刚毛,仅有足刺。刚毛上沾有明显的污染物质,疣足出现畸形变化(见图3,4)。

污染造成了生物种类与栖息数量的变化,因而导致了原生物群落组成的破坏。

断面A的环境因子与生物群落组成状况仍属正常。

污染情况的出现引起了有关部门的重视。因为废水中的二硝基重氮酚对人体中枢神经具有危害作用,于是从1978年1月起对废水进行净化处理。在投产至采取措施之前这段时间内已进入环境的毒物,除一部分被稀释净化外,还有一定的数量沉落于海底被沉积物所吸附。1978年6月仅在低潮带沉积物中检出2毫克/公

斤DDNP的变化产物。

净化处理后:随着环境的改善,断面B在高潮带首先恢复出现生物种类。如拟跳钩虾 *Orchestoides* sp.、新团水虱 *Tylos granulatus* (1978年6月),等边浅蛤 *Comphina Veneriformis* (Lamarck) 于1979年6月被发现。但是日本刺沙蚕则完全消失。低潮带于1978年6月亦新出现了一种软体动物寻氏肌蛤 *Musculus senhousei* (Benson),该生物曾被确认为有机废水半污染区的指示生物之一。是否可作为工业废水污染区的指示生物尚需进一步调查研究。

该海湾污染前、后潮间带生物群落结构状况的变化已十分明显。我们用前述各多样性指数公式对所获得的材料进行了逐一计算加以比较,结果认为以Shannon-Wiener(1949)的多样性指数公式 $H'(S) = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$ 较为适用。它的特点是,既反应了组成生物群落的种类变化状况又反映了群落中各生物之间的数量关系的改变。

任何时候环境中引进了有害物质,其数量超过了环境的自净能力,就必然引起水质的败坏,造成污染,栖息生物也随之改变,从而引起群落结构的变化。即使这种变化是暂短的,但是要恢复到原来的群落结构,是需要一定的时间过程的。该海湾生物群落,三年来,从本底状况到由于受污染致使生物种类有的绝迹,有的数量锐减,又到环境恢复,群落的组成种类逐渐增加和恢复这一过程,就充分说明了这一点。

三、小 结

目前,国内外通过大量的调查研究工作,对环境质量评价的生物学指标进行了探索、修改与补充,使其受到更加广泛的应用。但是生物学指标的应用在环境保护工作者与生态学家们之间也存在着不同的看法与争论。如环保工作者认为:污染带出现的生物,偶尔也出现于洁净的水域中,而某些净水种也同样会在污染

带个别出现。还认为：指示生物所反映的污染状况同样也会因研究者的看法和污染的类型不同有所差异。生态学研究认为：某些生物的存在与否除受水质影响外，地理、地质、气候以及社会因素等也起着一定的作用。生物在分布上确实存在着不同程度广泛的生态学范围，因而一种生物常常出现于污水生物体系中的不同级别之中。

上述现象，在调查过程中是经常可以见到的。著者认为，任何一种生物对其所生活的环境都有一定的适应能力，对污染物质的反应也是如此。有些种类虽然比较敏感，也不是一触及到有毒物质就立刻死亡。有些种类忍受能力虽较强，不仅只出现在一个污染带，而可能是

同时出现在两个或两个以上的不同污染带，所不同的是数量上有差异。颤蚓类(Tubificidae)在分布上的生态特点就是很明显的一例。因此在确定污染带的指示生物时，须要了解有关该生物的生态学特点。另外，生物学指标用于环境质量评价存在一个由简单到复杂、由单一指标到多种指标的发展过程，所以在讨论生物学指标时，应予以客观的评价，不应脱离它的发展过程。

近年来，生物学指标的研究范围又有新的发展与扩大。国外已开展了水质变化对生物行动习性、生理活动、形态变化以及病理等方面影响的研究，在继续不断地探索新的指标。

(参考文献略)



地球化学方面名词解释(续)

元素的比值

两个元素的含量之比，即叫做该两个元素的比值。元素的比值是地球化学的重要参数之一。V. M. 戈尔德施密特在其巨著《地球化学》一书中曾谈到，在大多数海相陆源泥和页岩中， $Fe:Mn=55:1$ ；而我国东海大陆架沉积物中 $Fe:Mn=60:1$ ，二者比较接近。

元素的陆源指数与自生指数

海洋沉积物中某元素陆源组份的含量与该元素总量的比值，称为“陆源指数”；同理元素自生组份的含量与总量的比值，称为“自生指数”，陆源指数及自生指数均以百分数(%)表示。根据陆源指数和自生指数的大小可以表

示元素“陆源性”和“自生性”的大小和强弱。如东海沉积物中Fe的陆源指数为80，自生指数为20，这意味着80%的Fe是陆源的，20%的Fe为自生的。

元素的粒度控制律

海洋沉积物中大多数元素的含量随着沉积物粒度的变细而增高；个别元素的含量随着沉积物粒度的变细而降低，这种有规律地受粒度控制的现象，称为元素的“粒度控制律”。粒度变细而含量增高者称正粒度控制律，如东海的Fe、Mn、Cu、Ni等即属此种类型；粒度变细而含量降低者称负粒度控制律，东海的 SiO_2 即属此类型。

(赵一阳)