



海洋环境质量生物学指标的研究

——潮间带生物群落结构

范 振 刚

(中国科学院海洋研究所)

在海洋环境监测和对其质量的综合评价研究中,除了使用常规的理化方法外,生物学指标的研究是一个不可忽视和极为重要的方面,因为水域中各种理化性质的任何变化都必然会影响到水生生物。目前,在国内外水域污染调查和研究污染对水生生物的影响中,生物学监测是越来越受到重视,并已成为一个很活跃的研究领域。1902、1908和1909年, Kolkwitz 和 Marsson 发表了用于评价水质的“指示生物”的动物和植物种类目录,建立了污水生物体系 (Saprobic system), 它是以生物出现的种类作为指标将受污染的水域环境划分为:(1)寡污水生物段;(2) β -中污水生物段;(3) α -中污水生物段和(4)多污水生物段。污水生物体系是“指示生物”研究范围,属于生物学指标之一。实践证明“指示生物”是具有一定的局限性,不少研究者已采取否定态度,但亦仍有不少人在继续从事这方面的研究,而大多数生态学家和环境保护工作者则越来越重视从生物群落结构与功能、生物测试 (Bioassay) 以及残毒分析的研究来进行环境质量的监测与评价。

从生态学观点出发,生物在自然界中是保持着一定的平衡,种与种之间是相互依存、相互制约的辩证关系。群落组成中的生物种数与数量亦有一定的比例。但是,当水域环境中受纳污染物质和由于污染物质的日益积累而引起质量变坏时,环境中的生物就必然

受到影响,可以促使生物栖息数量的大量减少和死亡,可以影响生物的繁殖发育和生长,以致使群落结构发生变化,导致原生态系统平衡的破坏。

水生生物对环境因子的变化,尤其是对不同类型污染物质进入环境后的反应是不同的。潮间带由于环境条件特殊,一般陆源污染物质首先进入这一区域,因此生活在这里的水生生物是比较容易受到直接的影响。调查与试验证明,潮间带生物中的某些种类,如多毛类小头虫 *Capitella capitata* (Fabricius)、原生动物和底栖硅藻等对环境质量的变化反应极为敏感,并能迅速地反应出受纳有毒工业废水和生活污水后水域质量的状况,因此已被确认为评价水域环境污染的生物学指标之一。另外,水域环境中污染物质数量的积累和对环境质量引起破坏的程度是随时间的延长而不断加重。潮间带生物,特别是营底内生活的种类,由于生命周期较长,一般是在一年或一年以上,所以能反映出一定时期内各个环境因子变化的情况,成为可靠的“水质变化的连续监测者”,在综合评价某一环境质量时提供有力的生物学依据。因此,潮间带生物及其群落结构在海洋环境监测、质量的综合评价以及研究污染物质与生物之间关系时,确实具有特别重要的意义,并已越来越受到环境保护工作者与污染生态学家们的重视,进行了大量的调查研究工作。

著者根据 50—70 年代对 C 地潮间带生态学调查所获得的材料,参考了 30—40 年代有关该地区的生物学资料,对 C 地潮间带生物群落结构及其优势种或重要经济种的数量变化,以及与环境因子之间的关系进行了比较研究,从潮间带生物群落组成及其变化为评价 C 地潮间带环境质量提供了科学依据。

一、C 地自然环境、自然生态本底调查的历史材料及主要排污情况

C 地位于 J 湾东岸,是 Q 市的主要工业区。潮间带滩涂平坦宽阔,从高潮线至低潮线距离约为 1.5 公里。高潮带的底质为带有小砾石块的粗砂或较稀的粘泥。中潮带底质为软泥或含有少量沙的沙质软泥。低潮带含沙量逐渐增多,为沙质泥或局部区域为较纯之沙质滩涂。附近有大小河流七条,河水把大量的有机物质携带进入潮间带滩涂,因此营养盐类十分丰富。由于环境质量良好,栖息着种类极为繁多的动、植物。其中有不少种类,如软体动物的蛤仔 *Venerupis* (*Amygdala*) *philippinarum* (*Adams et Reeve*)、长竹蛏 *Solen gouldi* *Conrad*、毛蚶 *Arca* (*Anadara*) *subcrenata* *Lischke*、四角蛤蜊 *Macra quadrangularis* *Deshayes*、日本镜蛤 *Dosinia* (*Phacosoma*) *japonica* (*Reeve*)、泥螺 *Bullacta exarata* (*Philippi*)、褶牡蛎 *Ostrea plicatula* *Gmelin* 以及甲壳类动物的螯蛄虾 *Upogebia major* (*de Haan*)、日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus* *de Haan*、虾蛄 *Oratosquilla oratoria* (*de Haan*) 等都是资源比较丰富、具有重要经济意义可供捕捞、养殖和在生态学研究上具有意义的种类。据调查 C 地附近可供养殖的滩涂面积就有三万余亩,为发展滩涂养殖事业具备了优良的自然环境和资源条件。

另外,每年迴游产卵的中国对虾 *Penaeus orientalis* *Kishinouye* 有一部分就在该地河口附近产卵和觅食,每年 6—8 月在潮间带滩涂表面的水沼或溪流中经常可见到体长为 2—3

厘米的中国对虾的幼虾,还有某些经济鱼类,如:鲻鱼 *Mugil cephalus* *Linnaeus*、梭鱼 *Mugil so-iuy* *Basilewsky* 和矛刺尾鲷虎鱼 *Acanthogobius hasta* (*temminck & Schlegel*) 等亦经常到河口附近觅食和产卵,群众利用潮水的涨落进行滩涂定置网具作业,每次网获物可达 5—6 千斤鱼虾(一次潮水)。

关于 C 地自然生态本底调查最早是从三十年代开始的。1935—1936 年张玺等曾进行过《J 湾生物调查》,其中包括 C 地潮间带生物;1947 年刘金铠也做过《Q 附近海滨动物之分布》的调查研究,以后 1950 年,张玺、高哲生都分别进行过《J 湾动物分布初步调查》和《J 湾无脊椎动物分布概况》的调查研究。上述调查研究限于当时历史条件和调查时间与次数短少等原因,缺少定量取样,只对当时出现的生物种类作了一般报导,对当时出现数量大、习见的种类亦只作了简单的估计,并以“最丰富”、“极多”、“特多”、“有”等数量形容词作了描述。如 1935—1936 年调查指出:海仙人掌 *Cavernularia habereri* *Moroff* 数量“最丰富”。螯蛄虾“极多”,日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus* *de Haan* “最多”。

1958 年以后,国家为大力发展浅海和滩涂有益生物的养殖,潮间带自然生态学的本底调查研究得到了迅速发展。中国科学院海洋研究所于 1958、1963—1964、1971、1974—1975 年分别进行了有关 C 地生态学和个体生态学的调查研究工作,积累了大量的有意义的生态学材料,为评价 C 地潮间带环境质量积累了丰富、可靠的本底资料。

随着我国社会主义经济建设的迅速发展,1958 年以后,在 C 地附近相继新建和扩建了不少冶炼、印染、化工、造纸等工厂,而且主要集中在临海一带。由于“四人帮”干扰和破坏,生产过程中含有毒物质的废水,未加处理即顺河流排放入海,而且数量逐年增多,其中主要是制碱废水、造纸废水和印染废水等,废水中的有毒物质使环境受到一定程度的污

染,海洋生物与水产资源亦都受到不同程度的影响。

二、养殖滩涂、经济生物和群落结构的变化

(1) 养殖滩涂与经济生物

据调查 1958 年 C 地潮间带已进行养殖的滩涂面积为一千多亩。至 1971 年调查时,已有约为 1958 年的 1/3 受到污染。在受纳污染物质被污染的滩涂范围内,具有很浓的酚的味道,水色呈乳白或红褐色,滩涂间隙水和沉积物内都测出了酚、铜、铅、硫化物等污染物质,其含量亦都不同程度的超过了国家规定标准,据分析 pH 为 8.9。在滩涂表面也积累了 3—5 厘米厚的污染物质。

1958 年调查时出现的蛤仔、四角蛤蜊、长竹蛏、褶牡蛎、泥螺、毛蚶六种经济软体动物,至 1963—1964 年时,泥螺即消失,而至 1971 年调查就只剩下蛤仔一种了。

每年繁殖季节,对虾、鲢鱼、梭鱼等都喜到附近的河口产卵和觅食,而由于水质被污染后,经常出现大量经济鱼类中毒死亡的现象。据 1971 年调查,一年内曾先后出现四次大量鱼类中毒死亡,损失经济鱼类 5—6 万斤。滩涂定置网具内经济鱼类产量亦从 1958 年的 30—40% 下降到 1—2%;海蜇、毛虾绝迹。

(2) 生物群落结构、生物种数比例及优势种的变化

据 1963—1964 年调查,C 地潮间带共出现生物 151 种,其中动物 141 种,藻类 10 种(见表 1),并在各个潮带组成了不同的生物群落(见表 2)。上述出现的生物,动物是以甲壳类占优势,有 52 种,占出现动物种数的 36%,其次是多毛类 41 种,软体动物 40 种,各占 28%,棘皮动物 3 种,占 2%,其他类别占 6%。藻类是以褐藻占优势,有 5 种,占出现藻类的 50%,其次是红藻 3 种,占 30%,绿藻 2 种,占 20%。

表 1 C 地潮间带主要类群生物(种数)变化

类 别	调查年代					
	1935 1936	1947	1950	1957	1963 1964	1974 1975
腔肠动物	1		3		2	绝迹
多毛类	4	1	9	12	41	3
腕足类	1	2	1	1	1	绝迹
软体动物	14	11	20	18	40	11
甲壳类	12	6	11	28	52	12
棘皮动物	1	2	4	2	3	1
原索动物	1		6	2	2	1
藻类					10	2

注 ① 1957 年调查次数少,出现种数也少。

② 1935—1936, 1947, 1950 年调查,限于当时调查方法、范围、时间以及分类鉴定不充分的原因,所列种数只作参考。

③ 1963—1964, 1974—1975 年调查,连续进行一年,材料较完整。

表 2 C 地潮间带各潮带生物群落主要优势种

潮带	底质	生物群落优势种	垂直高度(米)
高潮带	混有小砾石块之粗砂及软泥	园球鼓窗蟹 <i>Scopimera globosa</i> 中国绿螂 <i>Glaucomya chinensis</i> 双齿围沙蚕 <i>Perinereis aihuiensis</i>	3.35
中潮带	泥砂泥	兰 蛤 <i>Aloides sp.</i> 日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i> 泥 螺 <i>Bullacta exarata</i> 大螯蛄虾 <i>Upogebia major</i> 蛤 仔 <i>Venerupis philippinarum</i> 四角蛤蜊 <i>Macra quadrangularis</i>	1.35
低潮带	泥沙沙	滩栖蛇尾 <i>Amphipura vadicola</i> 海仙人掌 <i>Cavernularia haberceri</i> 蛤 仔 <i>Venerupis philippinarum</i> 长竹蛏 <i>Solen gouldi</i>	-0.40

表3 C地潮间带14种优势种或经济种数量变化

种 类	调查年代			1957	1963—64	1974
	数量	* 1935 36	* 1947 1950			
海仙人掌 <i>Cavernularia habererii</i> (Moroff)	最丰富	最多	产量 极丰富	2—3个/米 ² 73.2克/米 ²	绝 迹	绝 迹
双齿围沙蚕 <i>Perinereis aibuhitensis</i> Grube				100个/米 ² 18克/米 ²	16—80个/米 ² 3.58—10.74克/米 ²	仅采到二个定 性标本
海豆芽 <i>Lingula anatina</i> Brugiere			产量 甚多	2—4个/米 ² 0.04—6.80克/米 ²	绝 迹	绝 迹
中国绿螂 <i>Glaucomys chinensis</i> (Gray)				4—2623个/米 ² 0.18—1004克/米 ²	4—1781个/米 ² 0.90—287.53克/米 ²	8—72个/米 ² 4—38克/米 ²
兰 蛤 <i>Aloidis</i> sp.				2588个/米 ² 49.2克/米 ²	6—47603个/米 ² 0.42—485.87克/米 ²	绝 迹
蛤 仔 <i>Veneripis philippinarum</i>		最多	有	2—32个/米 ² 0.14—58.40克/米 ²	8—532个/米 ² 1.66—46.26克/米 ²	4—28个/米 ² 0.04—19.52克/米 ²
四角始蜊 <i>Macra quadrangularis</i> Deshayes			有	3—24个/米 ² 25.1—290克/米 ²	4—10个/米 ² 5.08—8.62克/米 ²	4个/米 ² 1.35克/米 ²
长竹蛏 <i>Solen gouldi</i> Conrad		甚多	有	2—176个/米 ² 0.30—68克/米 ²	2—4个/米 ² 0.60—3.52克/米 ²	绝 迹
泥 螺 <i>Bullacta exarata</i> (Philippi)			产量 最丰富	2—48个/米 ² 0.40—9.24克/米 ²	绝 迹	绝 迹
日本美人虾 <i>Callinassa japonica</i> Ortmann				2—28个/米 ² 0.54—10.40克/米 ²	绝 迹	绝 迹
大螯蛄虾 <i>Upogebia major</i> (de Huan)	极 多	甚多	有	2—78个/米 ² 0.40—90.20克/米 ²	只采到一个 定性标本	绝 迹
日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i> de Huan		最多	有	4—14个/米 ² 0.86—19克/米 ²	10—60个/米 ² 1.96—17.38克/米 ²	绝 迹
虾 蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i> de Huan	极 多	特多	有	仅有定性标本	绝 迹	绝 迹
滩栖蛇尾 <i>Amphurus vadicola</i> Mutsumoto			有	2—950个/米 ² 0.06—10.40克/米 ²	绝 迹	绝 迹

* 一九五〇年以前调查缺少定量取样,这里仍按当时报告中用的“产量甚多”,“最丰富”等词描述。

1974—1975年调查结果表明:生物出现种数显著减少,与1963—1964年比较减少了123种,占80%以上。其中腕足类、腔肠动物、原索动物和藻类绝迹或几乎绝迹。其他类群动物减少的情况是,甲壳类减少了40种,占原有种数的76%,尚存12种;多毛类减少了38种,近90%,尚存3种;软体动物减少了29种,达72%,尚存11种;棘皮动物

只剩下仅分布在低潮带的棘刺锚参。

在生物出现种数大幅度减少的情况下,原有生物群落的组成亦出现了明显的变化,其中尤其是群落优势种和经济种的栖息数量下降显著,绝迹的种数逐渐增多。

目前,除了在低潮带仍出现以蛤仔为优势种的群落外,高、中潮带尚存的生物已显著减少,其中中潮带几乎成为无生物带。

1957年调查时,出现生物中,有14种为生物群落组成的优势种或具有经济价值的种类,它们的生态特点是分布范围广、数量大。1963—1964年调查结果表明,有6种绝迹,占1957年的43%,在绝迹生物中包括腔肠动物海仙人掌,腕足类海豆芽,软体动物泥螺,甲壳类的日本美人虾 *Callinassa japonica* Ortmann 和虾蛄以及棘皮动物的滩栖蛇尾 *Amphiura vadicola* Matsumoto。1974—1975年调查时结果是随着环境质量的继续恶化,绝迹的生物种数增至10种,占66%,尚存的4种生物中,软体动物3种,多毛类1种(见表3)。

上述生物出现种类和绝迹种数的变化状况与国内外其他地区受同类型污染物污染水域中生物群落组成是,以软体动物和多毛类为主要组成这一生态特点相符合。

在尚存的4种优势种生物的数量变化亦极为显著(见表3)。如多毛类双齿围沙蚕 *Perinereis aibuhitensis* Grube 1957年栖息密度为100个/米²,生物量为18克/米²,1963—1964年栖息密度平均减了20—80%,生物量减少情况更为显著,只有3.58—10.74克/米²,1974—1975年调查是14个月的连续调查,结果仅采到二个定性标本,定量取样已采不到,几乎绝迹。软体动物中国绿螂 *Glaucomya chinensis* (Gray) 1957年栖息密度最高可达2623个/米²,生物量为1004克/米²,平均为1621个/米²,391克/米²,1963—1964年下降为4—1781个/米²,生物量为0.90—287.53克/米²,至1974—1975年时,栖息密度只有8—72个/米²,生物量为4—38克/米²,为1963—64年密度的4%,生物量的1%。蛤仔的栖息密度1963—1964年是8—532个/米²,生物量为1.66—46.26克/米²,1974—1975年调查时,栖息密度下降为4—28个/米²,生物量为0.04—19.52克/米²。四角蛤蜊1957年栖息密度为3—24个/米²,生物量为25.1—295克/米²,1963—64年时,密度为4—10个/米²,生物量为5.08—8.62克/米² 1974—1975

年调查结果是栖息密度只有4个/米²,生物量为1.35克/米²。4种优势种生物数量变化或下降与环境质量的关系是极为密切的。

三、讨 论

水域环境受污染及其质量被破坏的程度是与环境容纳有害物质的成份、数量以及污染物质的积累有着密切的关系。但是环境的地理特点,在潮间带特别是由于地形的复杂与变化和受潮汐与海流的影响,有害物质进入环境后,除了被净化外,其分布往往是不均匀的,尤其是表现在潮间带滩涂上,因此即是同一环境的滩涂也会出现受污染程度的明显差异。

C地潮间带的高、中、低三个潮带受污染程度的比较是以中潮带的第一、二亚带和高潮带的第二亚带为最严重,亦即为多污水生物段或 α -中污水生物段,高潮带的第一亚带次之,即为 β -中污水生物段,中潮带第三亚带和低潮带最轻,即为寡污水生物段。含有有害物质的工业废水开始进入滩涂时,流速较急,加之高潮带坡度较大,因此工业废水排出后,急速通过高潮带进入中潮带,然后由于坡度变小,流速也逐渐缓慢下来,废水中的有害物质也随之慢慢地沉积于滩涂表面,这一现象是极为明显的。从有害物质在滩涂表面积累的厚度来看,中潮带的第一、二亚带一般是4—5厘米,最厚可达10厘米;高潮带的第二亚带为3—5厘米;高潮带第一亚带为1厘米左右;中潮带的下部和低潮带由于水体交换条件良好,有害物质被稀释和净化的条件充分,因此受污染程度最轻。

C地潮间带生物对有害物质的反应不同,明显的表现在栖息数量的变化上。如腔肠动物的海仙人掌、甲壳类的蛄蛄虾、日本美人虾和棘皮动物滩栖蛇尾等都具有对有害物质极敏感的反应特点,当环境质量稍有恶变时,就很快随之消失。多毛类的双齿围沙蚕、软体动物的长竹蛏又是随着环境中有害物质

的日益积累、质量日趋恶化而数量逐渐减少，至最后绝迹消失。但是还有某些种类、如软体动物蛤仔、四角蛤蜊，当水域环境被污染，质量变坏后，其栖息数量无明显变化，甚至仍能正常生活，表现出对有害物质具有较强的忍受能力，但是生物体内却早已积累了一定数量的有害物质。据分析，栖息于潮间带的蛤仔个体与潮下带生活个体比较，其体内酚的含量较高，为4—5倍。

在生物出现种类与数量大大下降后，生物群落结构完全改变，原来保持相对平衡的生态系统也遭到破坏。目前，只在低潮带仍出现以蛤仔为优势种的生物群落，但组成种类比较简单。

在C地潮间带水域和沉积物环境被污染后的1974—1975年调查时，第一次出现了一种小型的端足目甲壳类动物 (*Crustacea: Amphipoda*)，栖息密度最高可达5427个/米²，生活正常，有明显的繁殖现象。垂直分布范围是高潮带的第一亚带，属 β -中污水生物段，该动物的这一生态特点，为今后探索和研究重金属污染生物学指标提供了一个重要线索。

主要参考文献

- [1] 北森良之介，污染与 *Capitella* 属（多毛类）小头虫属之关系，内海水产研究所研究报告（日），13期：1—80页（1969）。
- [2] 北森良之介，海洋的底栖生物和水质污染，海洋科学（日）2(9—10)：27—32（1970）。
- [3] E. Ф. 古丽亚诺娃，刘瑞玉等，黄海南间带生态学研究，中国科学院海洋生物研究所丛刊 1(2)：1—42（1958）。
- [4] И. Б. 乌沙科夫、吴宝铃，黄海多毛类游走纲生态及动物地理学的研究，海洋科学集刊3：1—33（1963）。
- [5] 张玺，胶州湾海产动物采集团第一期采集报告，国立北平研究院动物学研究所中文报告汇刊 11：1—96（1935）。
- [6] 高哲生，胶州湾无脊椎动物分布概况，学术汇刊，第三号 1—22（1950）。
- [7] 新田忠雄，工场废水研究の問題（日），内海区水产研究所研究报告，3：3—4（1953）。
- [8] 范振刚，青岛潮间带底内蟹类生态及洞穴观察，海洋科学集刊 11（11）：387—406（1976）。
- [9] Borowotzka, M. A., J. Mar. and Freshwater Research, 23(2)：73—84（1972）。
- [10] Gray, J. S. et al., Pollution Bulletin, 2(3)：39—43（1971）。
- [11] Karl Holl, Water Examination, Assessment, Conditioning, Chemistry, Bacteriology, Biology, Part 3, The Biology of Water, p. 355—364.
- [12] Morre, P. G., Mar. Pollution Bull. 2(3)：37—39（1971）。
- [13] Reish, D. T., 公共卫生报告, 70(12)：1168—1174（1955）。
- [14] Smith, J. E., Torrey Canyon Pollution and Marine Life, 196 Cambridge V. P. (1968).

（上接第6页）

4. 加强环境监测站的业务管理、培训环境监测分析人员，以保证监测分析数据的可靠性。

5. 注意引进国外先进的监测技术，适当进口必要的样机和好的监测系统，以利于研制和提高我国环境保护监测水平。

6. 积极迅速开展新技术，例如计算机、激光、遥测遥感等在环境监测中应用的研究，以当前国外先进水平为起点，在不长的时间内赶超世界先进水平，实现我国环境监测的现代化。

主要参考资料

- [1] Environmental Science and Technology, 11 (4), 352 (1977).
- [2] Environmental Science and Technology, 11 (1), 36 (1977).
- [3] Instrument Technology, 23 (10), 54 (1976)
- [4] Stern, A. C., Air Pollution, III Vol. 3rd ed., Academic Press Inc., (1977).
- [5] 社团法人计测管理协会，公害计测技术指导书（日），(1973).