

表 2 海洋生物受到的辐射剂量率
(微拉德/小时)*

辐射的	浮游植物	浮游动物	软体动物	甲壳动物	鱼
来源	离海底 20 米		在海底上 20 米内		
天然本底	2.8—8.2	3.3—16	9.5—32	10—38	4.8—21
降落尘	0.26—25	1.4—150	0.10—8.0	0.36—0.46	0.14—1.8
温茨凯工厂排污口	200—2,100	530—6,900	52—3,400	43—3,400	37—3,300

* 引自 Preston, 1975。

2. 对海洋生物的影响 从已有的调查和研究资料来看,要使海洋生物受到辐射损伤,一般要几千伦琴到几万伦琴的辐射剂量,这比从核工厂排污所受到的辐射剂量高的多(表 2)。

一般鱼类对辐射的敏感性要比无脊椎动物和海藻高,而鱼的早期胚胎发育时期对辐射的敏感性又高于成体。但据市川龙资(1974)用牙鲆 *Paralichthys Olivacens* 和星点东方鲀 *Fugu niphobles* 的卵进行浸泡试验,发现要使卵的孵化率降低,海水³H 的浓度要高达 1—10 居里/升(累计辐射剂量 2,160—15,600 拉德)。每天用 0.5—10 伦琴的 γ 射线照射哥伦比亚的大鳞大麻哈鱼 *Oncorhynchus tshawytscha* 的卵和幼鱼,在鱼卵孵化后 190 天,将鱼进行标记,然后释放。经 3—4 年后,有些鱼从太平洋回游到试验池。经检查,受低剂量照射的鱼与对照组并无差异。上述资料表明,核

工厂向海洋排废并未引起海洋生物发生可察觉的影响。不过,由于对生态系的影响的研究尚未深入开展,因此低水平放射性污染是否对生态系有不利的影晌尚难判断。

1979 年 3 月,美国由于个别设备失控和操作人员疏忽造成三里岛核电站严重事故,引起了不少人对建设核电站的疑虑和反对。但值得考虑的是,1979 年底,在美国有些人示威游行要求关闭核电站,而在英国政府当局却宣布打算建造第一个类似三里岛的核电站。事实上,完美无缺的事物是不存在的。核电站问世至今才二十多年,存在一些有待解决的问题也是不足为怪。就目前它所表现出的优越性已远超过火力发电。用火力发电也存在颇难克服的污染弊病。如,一座大型烧煤电站,不仅每天排出数百吨的二氧化硫,大量的一氧化碳、氧化氮、尘粒等污物,而且煤中还含有放射性物质镭,据估计,对居民造成的附加辐射剂量约同运行的核电站相当。

总之,核能是一种有发展前景的能源。合理兴建与利用无疑将大大造福于人类。但是,伴随核能利用事业的发展,如何消除和减少对海洋环境的污染,这也是摆在海洋环境科学工作者和原子能事业工作者面前的重要课题。已有的实践表明,只要选址得当,并把质量关,又有科学的排废标准,切实加强企业管理,认真进行排废监测,那么,在沿海建设核工厂(包括核电站和核燃料后处理厂等),并向海洋排放一定数量的废物,对公众身体健康和海洋生物资源的影响是微小的。

海洋石油污染的微生物降解

张景镛

(中国科学院海洋研究所)

关于海洋的石油污染问题,已愈来愈引起人们的注意。然而,目前作为消除海洋油污主要手段的物理、化学方法,都具有很大的缺陷。

科学家们发现,在海洋中(海水和海底沉

积物中),存在着一类能氧化、降解、利用原油及其产物的微生物,这类微生物在海洋油污自净过程中起着重要的作用。因而,人们期望能利用微生物来协助消除局部海区的石油污染。为此,近十余年来,世界上不少沿海国家

表 1 石油烃利用菌在不同海域的海水和沉积物中的数量分布

海 域	石 油 烃 利 用 菌 的 数 量		异 养 菌 的 数 量		计 数 方 法
	海 水	沉 积 物	海 水	沉 积 物	
美国路易斯安那的 Barataria湾		在192份样品中,发现180 个含有 10^1-10^9 个/ml			最小稀释度法
美国拉里坦湾	20—3,400个/l				滤膜培养后直接 镜检观察
美国切萨皮克湾	$5.0 \times 10^0-5.0 \times 10^4$ 个/l	$3.0 \times 10^3-3.0 \times 10^5$ 个/g	$5.0 \times 10^1-5.6 \times 10^5$ 个/l	$7.0 \times 10^3-1.3 \times 10^6$ 个/g	平皿计数
大西洋西北部的哈利法克 斯港至百慕大群岛	11个5米深的表层水样中 除1个未见外,含有 $6.6 \times 10^3-7.3 \times 10^4$ 个/l		$1.4 \times 10^5-2.0 \times 10^6$ 个/l		MPN法
西德赫尔戈兰岛周围的北 海海域	$2.3 \times 10^3-2.4 \times 10^5$ 个/l	$5.75 \times 10^4-2.3 \times 10^9$ 个/l (平均 1.61×10^6 个/l)	$2.2 \times 10^5-8.2 \times 10^6$ 个/l	$9.63 \times 10^6-3.9 \times 10^{10}$ 个/l (平均 4.0×10^8 个/l)	平皿计数
英国布里斯托尔湾	12—3200个/100ml				
日本濑户内海	10^0-10^4 个/ml (平均 6.6×10^2 个/ml)	10^3-10^5 个/g (平均 5.0×10^4 个/g)	10^2-10^5 个/ml (平均 3.0×10^4 个/ml)	10^4-10^6 个/g (平均 8.9×10^5 个/g)	十倍稀释法
北太平洋西部和印度洋东 部	$4.0 \times 10^0-9.3 \times 10^2$ 个/100 ml (平均 9.6×10^1 个/100ml)	9×10^8 个/g	$9.3 \times 10^2-1.1 \times 10^4$ 个/100 ml (平均 4.5×10^3 个/100ml)	1.5×10^3 个/g	MPN法
马六甲海峡和孟加拉湾	$3.0 \times 10^1-2.1 \times 10^3$ 个/100 ml (平均 4.6×10^1 个/100ml)	4×10^0 个/g	$4.3 \times 10^3-4.3 \times 10^4$ 个/100 ml (平均 2.3×10^4 个/100ml)	9.3×10^2 个/g	
南中国海	$9.0 \times 10^1-1.5 \times 10^2$ 个/100 ml (平均 1.2×10^2 个/100ml)	$3-4 \times 10^0$ 个/g	$4.0 \times 10^2-9.3 \times 10^4$ 个/100 ml (平均 2.0×10^4 个/100ml)	$2.8 \times 10^1-2.1 \times 10^2$ 个/g	
智利麦哲伦海峡		$2.7 \times 10^1-1.6 \times 10^5$ 个/g			MPN法

都积极开展有关海洋微生物降解石油的研究。

本文试图对当前国外有关海洋石油烃类利用菌研究的几个问题作一简述。

一、关于海洋石油烃类利用菌的生态学研究

在海洋石油烃类利用菌的生态研究中,大体可以包括这样两部分工作:一是以某一特定海域的自然生态调查研究为基础的石油烃微生物降解潜力的评价;一是以实验生态研究为主要内容的加速海洋石油烃微生物降解的研究。

1. 海洋中石油烃微生物降解潜力的评价

调查发现,原油中的各种组分在适宜的条件下,都可以被微生物所利用或降解。迄今已证实,有70个属约200多种微生物能同化一种或几种碳原子由1个到40个的石油烃类。这些石油烃利用菌广泛地分布在海洋中,尤其是在沿岸的港湾、河口的表层海水和表层沉积物中(表1)。

调查发现,某个海域中海洋石油烃利用菌的数量分布,是与海上石油污染的程度(即海水或沉积物中石油烃的含量)有一定的相关性。在远离海岸的大洋以及未污染海域的水样中,往往只能发现很少数量的烃利用菌;但在油污的近岸港湾区,则可发现数量较高的烃利用菌。因此,可以把样品中石油烃利用菌的高数量,作为存在石油污染的可靠指标。P. McKenzie(1976)提出,可以把每100ml水样中低于4个烃利用菌这一水平,看作是未被石油烃污染的海水的自然背景值。

海洋中石油烃利用菌的数量受环境因素(如温度,季节,氮磷营养,溶解氧,石油含量、组分及存在形态等)的影响极大。低水温被认为,一方面它直接影响细菌的生长繁殖,另一方面它使得石油中挥发性有毒物质的挥发速度降低,从而抑制了石油烃利用菌的增殖和降解速度。通常认为,在营养贫乏的天然海水

中,氮和磷是石油生物降解的严格限制因子。当添加一定量的氮、磷营养盐时,往往能促使石油烃利用菌的富集,进而加快石油降解的速度。

因此,对海洋中石油烃微生物降解潜力的评价中,必须在调查掌握某特定海域里石油烃利用菌的丰度(abundance)——即数量分布的同时,调查了解这一海域与石油烃微生物降解有关的环境参数,这是至关重要的。另外,还必须分析这一海域中石油烃利用菌的种类分布特征,及其与环境因子的相互关系,并通过必要的室内和现场的模拟实验,以探明它们对原油各组分的降解能力和速度,最后运用生态系的模型和系统分析,就可以比较全面地、相对客观地对这一海域石油烃的微生物降解潜力做出评价。

2. 关于加速海洋石油烃微生物降解的研究

这里主要介绍属于有关海洋石油烃利用菌的实验生态学方面的研究,其目的是以一定的有效手段控制某些环境因子,其中特别是某些营养盐,以加速石油烃的微生物降解。

前面已谈及,氮、磷是海洋石油烃微生物降解的重要限制因子。当不添加补充的氮和磷时,含1%(V/V)原油的海水,在18天后只有3%的原油被氧化;而当添加 10^{-2} M的氮盐和 3.5×10^{-4} M的磷盐时,同样的含油海水18天后就有70%的原油被氧化。

然而,当在开放性的海水中添加水溶性的氮和磷肥,由于它快速地溶于水而流失,这不仅不能得到促进石油烃微生物降解的效果,反而会使某些海藻突然繁殖起来,以至有可能产生富营养现象。因而选用适宜的营养物质以加速海洋石油烃的微生物降解而又不产生或少产生危害,已成为一项很实际的应用研究课题。R. M. Atlas和R. Bartha(1973)在对亲油的氮盐和磷盐进行筛选时,发现一种石蜡化尿素和一种辛基磷酸盐可达到预期的理想效果。在现场模拟情况下,用这两种亲油的肥料可使石油的微生物降解速度增加10倍,但并不

刺激海藻的大量繁殖，这就避免了富营养的产生。因而他们认为，把亲油肥料和适当的海洋石油烃利用菌配合起来，有可能成为用于消除石油污染的很有潜力的辅助手段。

二、关于石油烃利用菌的遗传学研究

研究发现，在适宜的条件下，烃利用菌几乎能利用、降解原油中所有各类组分；但是就某一株烃利用菌而言，它对石油烃类的利用是有选择性的。通常，一种细菌仅能降解一种或化学性质相近的几种烃。基于原油组分的复杂和多样，而某一株烃利用菌对烃的利用又存在选择性，这就使石油烃利用菌在消除油污的应用中存有一定的局限性。为此，有的学者就提出是否可以用具有降解不同烃类能力的几种烃利用菌在一起进行混合培养来降解原油。但是不同的实验结果是有分歧的。有的实验表明，混合培养下的原油降解速率有时会比纯培养的高些；但也有的实验认为，这种混合培养并不理想，因为不同的石油烃利用菌在混合培养中，往往会产生相互的拮抗作用。因而，科学家们提出一种理想的快速生物降解原油的解决途径，那就是运用现代遗传学的新理论、新技术，选育出能快速降解原油中多类组分的高效石油降解菌。这就促进了有关石油烃利用菌遗传学研究的深入开展。在这一方面，美国通用电气公司 A. M. Chakrabarty 等人的工作，最为突出。

多年来，A. M. Chakrabarty 等人在研究假单胞杆菌(*Pseudomonas*)的遗传调控中发现，操纵这类细菌降解原油一些烃组分的酶的遗传基因，是集中在细菌染色体外的质粒(Plasmid)上。

已经证实，细菌的质粒是由共价闭环双螺旋的DNA分子组成，但它的分子量在 $2-100 \times 10^6$ 道尔顿之间，要比染色体的DNA分子小得多，通常只有染色体DNA的0.5—3.0%。质粒可以独立地复制，稳定地遗传，也能以一

表2 假单胞杆菌中已发现的几种烃降解质粒

菌 株	质 粒	降 解 的 烃 类
<i>P. putida</i> P _p G1	CAM	樟脑(萘酮)
<i>P. putida</i> P _p G6	OCT	正辛烷
<i>P. putida</i> R ₁	SAL	水杨酸盐
<i>P. putida</i> P _p G7	NAH	萘
<i>P. putida</i> arvilla (mt-2)	TOL (XAL)	间-甲苯酸盐 间-二甲苯或 对-二甲苯
<i>P. pseudomonas</i> P _{xy}	XYL	间-二甲苯或 对-二甲苯
<i>P. putida</i> PRS ₁	MDL	扁桃酸盐
<i>P. putida</i> PRS ₁	QUI	奎尼酸盐

表3 假单胞杆菌中几种烃降解质粒的消除和转移

质 粒	用丝裂霉 素C消除	转 移 频 率	
		受 体 (<i>P. putida</i>)	受 体 (<i>P. aeruginosa</i>)
CAM	+	10^{-2}	10^{-4}
OCT	+	10^{-5}	$<10^{-8}$
SAL	+	10^{-2}	10^{-7}
NAH	+	10^{-3}	10^{-8}
XYL	+	10^{-2}	$<10^{-8}$
XAL	+	10^{-2}	10^{-7}
MDL	+	10^{-6}	$<10^{-8}$
QUI	+	10^{-5}	$<10^{-8}$

定的频率自发地丢失，或通过适当的处理(如高温、吡啶类物质、丝裂霉素C等)提高丢失的频率。但由于质粒所携带的基因只是操纵细菌的次生代谢，所以当它从细菌细胞中丢失后，细菌虽然失去了某种代谢途径的能力，但仍可存活。一个细菌细胞内质粒的数目可以是1—2个，也有的可有许多个。质粒能插入染色体中，同染色体一起复制，它上面的基因可以和染色体基因发生重组。质粒能通过转化、转导、接合等作用，从一种细菌的细胞转移到另一种细菌的细胞里去，也能携带染色体的DNA片段一起转移；不携带质粒的细菌可以通过转化、转导、接合等方法从带有质粒的细

菌的细胞中获得质粒,但不能自发地产生质粒。同一类群的质粒具有不相容性,即属于同一类群的不同质粒不能在同一细胞中稳定共存;属于不同类群的质粒,则可稳定地共存于同一细胞内。

A. M. Chakrabarty 等人在假单胞杆菌中先后发现了8种携带操纵降解不同石油烃及其衍生物基因的质粒(表2),他们把这类质粒统称为降解质粒(degradative plasmids)。这8种降解质粒都具有上述一般细菌质粒的特性:(1)这些降解质粒都以一定频率从细胞里自发消失,而且都能被丝裂霉素C所消除。(2)这些降解质粒都可以通过接合作用(conjugation)以一定的频率从一个细菌细胞转移到另一些细菌细胞里去(表3)。其中CAM, SAL, XAL, TOL 和 NAH 等质粒,无论是在是否存在性因子或其它转移因子时,都能以较高的频率进行自身转移;而OCT, XYL, MDL 和 QUI等质粒是不能自身转移的,必须有可转移的K因子存在才会被激活而发生转移。

(3)这些降解质粒中,除了CAM和OCT以及SAL和XAL分别属于同一类群而具有不相容性外,其余的都显示出相容性,即可以通过细菌细胞的接合作用把这些降解质粒转移到同一个细菌细胞中去,从而构成一个新型的多质粒细菌细胞。(4)在这种多质粒细胞中,所有被接合的降解质粒都保持它原先的功能,即在那些相应的石油烃及其衍生物的混合基质存在时,降解途径仍然被诱导出来,每种基质都可同时被降解。这就意味着,当用原油作为唯一碳源和能源时,多质粒细菌就会比单质粒的亲本

细菌具有更高的生长速度和更高的降解能力。

经过多年的研究,A. M. Chakrabarty 等人在1975年,把降解脂肪烃辛烷的细菌质粒OCT、降解芳香烃二甲苯的细菌质粒XYL、降解萘烃樟脑的细菌质粒CAM,以及降解多环芳香烃萘的细菌质粒NAH接合到一个细菌细胞中去,结果得到了一个具有四个降解质粒的所谓“超级菌”(Superbacteria)。据称,这种“超级菌”能把原油中约2/3的烃类分解掉,比目前已知的任何自然菌株的降解能力都高。但是,被接合的质粒在这种多质粒的“超级菌”中的稳定性还比较差,它们在细胞复制过程中容易自发的丢失掉。这就有待于进一步采取有效措施,使这些多质粒在“超级菌”的细胞中稳定地保存下去。

A. M. Chakrabarty 等人进一步设想,如果能把这些石油烃的降解质粒连同细菌的固氮基因(nif)一起,通过必要的遗传手段转移到从海洋中分离到的假单胞杆菌细胞中去,并能稳定遗传的话,那么这种新型的细菌将会成为人们同海洋石油污染进行斗争的有力武器。

综上所述,在海洋石油污染的消除中,微生物的降解是一个不可忽视的部分。配合物理的和化学的除油措施,恰当地利用烃利用菌对石油烃类的降解作用来消除局部海域的油污,可能是一种有希望的途径。在这一总课题下,大力开展烃利用菌的自然生态调查和实验生态学的研究,是十分重要的基础工作;而通过遗传学的手段获得高效石油降解菌,并应用于实际(如油船在舱水的除油等),是一个大有希望的新动向。(参考文献略)

研究海洋古温度的重要手段——氧同位素分析法

高 良

(中国科学院海洋研究所)

1946年诺贝尔奖金获得者、化学家尤里(H. C. Urey)在一次有关同位素的演讲中,作了一个水从玻璃杯中蒸发的试验,蒸汽带走较多的轻同位素 O^{16} ,最终在玻璃杯中富集了较

重的同位素 O^{17} 与 O^{18} 。海水比淡水更富集这些重同位素。以后,尤里通过进一步计算表明,在海洋碳酸盐中氧同位素的相对变化,部分地取决于沉淀碳酸盐时的水温。这启发了他,于