

# 海洋微生物降解油污物的若干生态学问题\*

陈皓文

(中国科学院海洋研究所)

海洋的油污染源来自海上采油和船舰活动及河流和沿海石油工业排放,工矿及各种陆空交通工具等排逸至大气的石油烃,它们最终都汇集到海洋。大量文献报导,海洋油污造成了可观的经济损失,给海洋生态系统带来深远的影响。因此,海洋石油污染已引起人们的极大关注。

入海石油烃的变化与裂解烃的微生物(即解烃菌或石油烃利用微生物)作用分不开。微生物的解烃作用往往比油的风蚀和物理化学作用快。解烃菌广布世界各海域,它们的活动降解了石油烃,使污染得以减轻或消除。从微生物生态学角度探讨海洋环境如何影响石油烃的微生物降解过程和活动规律是必要的。本文试图说明海洋环境若干生态因子与微生物降解石油烃的一些关系。

## 一、影响微生物解烃的三个理化因子

### (一) 原油、炼制油组分对烃降解的影响

Walker 等<sup>[1]</sup>比较了两种原油(南路易斯安娜原油——SLCO 及科威特原油——KCO)和两种炼制油(2号及6号燃油)被巴尔的摩港(简称巴港,下同)油污区水、沉积物细菌的降解过程,结果列于表1。

表1说明油的组分及含量明显影响降解程度。不同的油有不同的降解敏感性。原油

表1 四种油在同一条件下培养解烃菌7周后成分含量变化表\*

成分	培养前油种类	在不同油中所占比例(%)			
		SLCO	KCO	2号	6号
饱和烃		47	24	23	15
芳烃		37	49	56	39
树脂		15	20	21	24
沥青		1	7	0	22
培养后剩下总%		22	49	45	89

\* 据 Colwell 等<sup>[2]</sup>的资料整理

常比炼制油更易被降解。

一种假丝酵母对委内瑞拉原油(VZCO)和阿拉伯原油(ABCO)的降解情况表明,原油的组分影响降解百分率<sup>[3]</sup>。大量实验也证明,石油及其制品的分子结构是左右微生物降解的最重要因子。烷烃常比芳烃或萘化物、直链烷比支链烷、短链烃比长链烃更易被较多微生物侵蚀。海洋细菌对萘和脂肪烃的降解常比苯、芳烃更易。若以混合烃作培养基,可看到它们的降解有一定顺序。在无营养限制时,微生物依次降解十六烷、萘、姥鲛烷、苯并蒽<sup>[4]</sup>。

混合烃基质限制着油污河口和海洋的微

\* 本文得到郭方、刘安国、吴宝铃、廖先贵等同志的热忱指导,谨致谢意。

## 承接广告启事

本刊承接国内外广告业务,主要刊登环境监测仪器、试剂、标准样品、化学分析仪器设备、环境治理工程设备、综合利用产品、环境和其它科技书刊等内容,愿登广告者请与本刊编辑部(北京市934信箱,电话:北京277066转12分机)或科学出版社期刊室(北京朝内大街137号电话:442640)联系。

生物群落数量变化。Cobet 等<sup>[5]</sup>比较了癸烷和三甲苯对旧金山海滨细菌的影响。从 2 号燃油和 SLCO 对沿海沼泽地某些细菌群的限制作用看,那些有油样品中重要的细菌生理类群不如无油对照样品的多。因此从它们在原油和炼制油上的类群及数量变化,可以看出油对重要菌群的影响。

一个值得注意的问题是油污浓缩重金属<sup>[6,7,8]</sup>。油常比别的介质易浓缩汞、镉、铬、有机氯农药等。过高水平的重金属盐浓度能引起生态失调<sup>[9,10]</sup>,浓缩了汞等物质的油可抑制一些微生物的酶活性并影响降解。但许多污染海区恰恰存在耐汞等重金属的解烃菌<sup>[6]</sup>,它们在环境生态学上发挥着有意义的作用。

### (二) 营养及有关成分的影响

这里把 N、P、Fe 等养分和 C、O 等有关元素结合起来谈。海水同别的生境比,营养浓度一般较低。营养、特别是 N、P 盐,其浓度影响着解烃速率和程度。如北卡罗林纳沿岸沉积物细菌降解 SLCO 和混合烃时,  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{PO}_4^+$  浓度明显影响细菌生长和解烃。模拟现场实验表明,适当加入 N、P 盐,生物降解便成倍增加。在大洋区,Fe 的浓度较低。当把螯合铁加入新泽西近岸清洁水中,则刺激解烃。铁的补充对表水解烃菌生长和活动是必要的。

为保持有效 N、P 盐等在水中缓慢释放,近年来采用了很多措施<sup>[11,12]</sup>。许多海区的水存在临界浓度的碳源,若低于此,则不足以维持或不能有效维持微生物生存。适当调节 N、P、C 比率是促进海洋石油烃降解的重要一环。

据估计,1 加仑原油的完全氧化需耗尽由空气饱和的 320,000 加仑水中的全部溶解氧<sup>[13]</sup>。在高油浓度区或当油沉入深海时,解烃活动往往缓慢,氧气的限制是个重要原因。水体的含氧量可因其他污染而降低。进入沙柱的有限氧气交换将使生物降解速率变慢。在底质中,汽油污染的地下水,氧气可成为生

物降解的限制因子。氧气的供应与营养的补足常互相协同,影响降解。试图不通气而只加营养以刺激降解未获成功。

### (三) 温度的作用

温度不仅直接影响解烃菌生长繁殖,且因油污理化性质的改变而产生间接影响。就世界范围而论,热带和温带海域比寒带和极地海域的微生物种群数量丰富,解烃活跃。

Atlas 等<sup>[14]</sup>发现拉里坦湾解烃菌的最高数量出现在水温最高的七月。无疑,高水温促进解烃菌增加,但解烃菌的增加也会在寒冷季节发生,如切萨皮克湾(简称切湾,下同)除在 6、7 月间出现高数量解烃菌外,还在 12—2 月间出现。冬季,在该湾的水和沉积物中未见大量嗜冷菌。这可能暗示此时该湾的解烃菌对温度有广泛的适应范围。Colwell 等的实验也表明,温度并非限制因子。在寒冷的极地海中仍有各类土著解烃菌群,它们对低温有某种嗜好或适应,至少有一定耐力。但低温这一基本环境因子将会减低石油烃的挥发,增高挥发烃的水溶性,从而对某些解烃菌有毒或抑制降解。人们常设法提高温度促进微生物解烃。试图改变大洋温度是不现实的,但在局部范围或受控系统内还是可能的。

## 二、某些地理因子对海洋生物解烃的影响

### (一) 在浅海和深海中发生的烃降解

世界大洋大部分水温低于 5℃,而深海水温则低于 4℃,大洋中解烃过程缓慢与此密切相关。此外,深海环境的压力和营养对此也有重要影响。深海沉积物的微生物常比浅海的解烃活度小。Schwarz 等<sup>[15]</sup>的实验证实,深海的油变化较小,这与高压、低温、稀营养等有密切关系。而近岸水和沉积物长期经受陆地影响,微生物的活动条件较好,它们常有较强降解活动。但也有例外,如以某深海站和东湾(属切湾)河口的两份沉积物细菌作 SLCO 的降解比较,发现前者的降解能力更

大。

## (二) 污染与未污染环境的比较

当向无油环境的水样中加油时,常显著限制土著微生物群落生长,而向油污环境水样中加油时,又常能促进已存在其中的细菌生长。这说明油对不同环境的微生物群有不同作用。油输入未污染区,可能改变原来的生态平衡甚或导致生态失调。油输入油污区,刺激并促进解烃菌群,使遭受破坏的生境更趋恶化。

未污染环境的解烃菌数量和解烃能力常比污染区低。同一地理位置的清洁海域和油污区,其微生物群往往有不同解油能力。如位于切湾的两个海区,即重油污的巴港和较清洁的东湾,在同一条件下,其水和沉积物菌种对 SLCO 的降解是前者更为有效<sup>[16]</sup>。不同地理位置的未污染区尽管都较干净,但各自特殊的微生物区系对油污的感应却不同。不同地理位置的污染区,其解烃种群和解烃能力也不尽一致。如圣胡安港与阿拉斯加某港都是油污港,其微生物区系就不一样。巴港的微生物区系比圣胡安港降解 SLCO 更为有效。这反映了不同环境的土著微生物经历了不同的发展过程。

## 三、石油烃对海洋微生物向化性的影响

化学生态学的最新领域包括研究以化学信息为媒介的种内种间的相互作用,海洋中的化学通讯包括海洋生物种种行为,如获取食物、避免伤害和逃离敌人、选择栖息地或宿主、群体通讯、性行为等。化学通讯是海洋环境最广和最有力的一种控制因子,其重要一环就是对养分等的向化性,即细菌经本身的化学受体吸引食物源,这是细菌摄取养分的重要途径。石油烃对某些海洋微生物影响的一个后果可能是向化性被抑制。Young 等<sup>[17]</sup>指出,加一定量的苯和甲苯到海水中,某些海洋细菌的向化性受到抑制,而一旦去掉苯和甲苯,这种抑制即被解除。石油干扰的另一

后果则是水溶组分的危害性,因为化学受体与水溶组分常是协调的。轻质油对微生物向化性的影响最大。一些细菌对某类基质感应特别迟钝,反之则趋化性强。向化性受不受石油干扰,主要决定于海洋生物识别和降解石油基质的能力。向化性被抑后,对包括海洋微生物在内的捕食-被捕食关系、海洋食物链及有机质的降解活动产生直接影响。

许多生物还以化学受体为生殖配对处,化学受体可因溢油而遭致瓦解。

不少海洋细菌产生粘液,供其他生物附着,如在河口或沿岸的贝类,其生活史的中间阶段需附着才能完成,一旦化学联络因石油所阻或遭破坏,接着而来的便是对较高等生物群落产生的影响,并加速海洋环境其他物质被微生物分解的过程,所以向化性对海洋生物参与的各种矿化过程及能量转换都很重要。

影响海洋环境油污物的微生物降解作用的因子还有不少,如油污史、石油烃的乳化剂、盐度、波浪与潮汐、光照、微生物与其他生物的相互影响等等。

## 四、海洋解烃微生物的数量和种属

迄今,许多学者对某些海域中的解烃菌数量和种群分布做了研究,现把有关数据列于表 2。表 2 反映出解烃菌数量分布的大体趋势,即油污区,数量多,清洁海域数量少;沉积物中,较高表水中较低。

表 3 列举了一些海域中解烃菌的种群组成。它们以细菌最多,还有酵母、放线菌和丝状真菌<sup>[18]</sup>。

近几年来,人们对海藻与油污物的关系作了一些研究(Walker 等, 1975; Vandermeulen, 1976; Johnson, 1977; Walker, 1978; Nunes, 1979)。对自养菌在解烃中的作用,也应引起注意。

一些文献报导了解烃菌纯培养时对原油的降解。Walker 等<sup>[32]</sup>对纯培养和混合培养

表 2 一些海区解烃菌的数量分布表

调查海区	样 品	数量[细胞数/升(或克)]	作 者
南加里福尼亚近岸 海岛区及加里福尼亚湾	透光层水	$10^1-10^3$	Zobell 等 (1943) <sup>[18]</sup>
	表层沉积	$10^2-10^5$	Zobell 等 (1943) <sup>[18]</sup>
Barataria 湾(美)	沉积物	$10^1-10^9$ /毫升软泥	Zobell 等 (1966) <sup>[19]</sup>
北海赫尔戈兰岛周围 Kabeltonne 站	沉积物	$5.75 \times 10^4-2.3 \times 10^9$	Gunkel (1973) <sup>[20]</sup>
	水	$2.3 \times 10^3-2.4 \times 10^5$	
黑海	表水	$1.0 \times 10^5-1.0 \times 10^6$	Krasil'nikov 等 (1973)
加拿大东海岸—大 西洋西部百慕大海域	水	$6.6 \times 10^3-7.3 \times 10^4$	Mulkins-Phillips 等(1974) <sup>[21]</sup>
菲律宾太平洋海域	油珠	$10^4$ /平方厘米	关文威等(1974)
	表水	$10^1$	
拉里坦湾	表水	$2 \times 10^1-3.4 \times 10^3$	Atlas 等 (1973) <sup>[14]</sup>
切萨皮克湾	水	$5 \times 10^4$	Walker 等 (1976) <sup>[4]</sup>
	沉积物	$3 \times 10^6$	
新泽西沿岸区	污染水	$1.09 \times 10^4$	Dibble 等 (1976) <sup>[11]</sup>
	清洁水	$7.5 \times 10^2$	
奇特巴克湾	沉积物(两站)	占异养菌数的 0—40.5%, 大都低于 2.0%*	Stewart 等 (1978) <sup>[21]</sup>
阿拉斯加陆架	水	$10^3-10^6$	Roubl 等(1978)
	沉积物	$10^2-10^5$	
安齐奥港(意)	水	$1.1 \times 10^3-1.3 \times 10^3$	Olivieri 等 (1978) <sup>[12]</sup>
麦哲伦海峡	油污沙	$2.1 \times 10^4-3.5 \times 10^6$	Colwell 等(1978) <sup>[22]</sup>
	未油污沙	$7.8 \times 10^2-1.8 \times 10^5$	
濑户内海(日)	近岸三站水	$10^4-10^5$	藤沢浩明等(1977) <sup>[23]</sup>
	沉积物	$10^5-10^7$	
模拟的北极生态系	污染前水	$5 \times 10^4$	Atlas 等 (1978) <sup>[24]</sup>
	污染 30 天后的水	$7 \times 10^6$	
	污染前的沉积物	$3 \times 10^6$	
	污染前的冰上	$1 \times 10^2$	
	污染 30 天的冰上	$3 \times 10^2$	
	污染前的冰下	$1 \times 10^3$	
骏河湾、清水港(日)	水	$2.2 \times 10^3-9.5 \times 10^5$	永井彰等(1978) <sup>[25]</sup>

\* 取样时间是 1976 年,漏油发生在 1970 年。

表3 一些海区所发现的解烃菌

调查海区	主要种属	作者
南加里福尼亚海峡 岛及加里福尼亚湾	假单胞杆菌,小单孢菌,分枝杆菌、放线菌及以前 归为放线菌的一些属	Zobell等(1943) <sup>[18]</sup>
黑海	假单胞杆菌、分枝杆菌	Krasil'nikov等(1973)
奇特巴克湾	假单胞杆菌(II群)、无色杆菌、黄杆菌、微球菌、弧 菌、短杆菌、似不动杆菌的一些属,一些真菌	Stewart等(1978) <sup>[21]</sup>
	假单胞杆菌、弧菌、黄杆菌、微球菌、芽胞杆菌、节 杆菌、棒杆菌、诺卡氏菌、贝内克氏菌、假丝酵母	Cundell等(1973) <sup>[36]</sup>
西北大西洋水和沿岸沉积物	假单胞杆菌,无色杆菌,诺卡氏菌,弧菌,黄杆菌	Mulkins-Phillips等(1974) <sup>[3]</sup>
切萨皮克湾	放线菌、棒形菌、肠杆菌、微球菌、诺卡氏菌、假单胞杆 菌、克氏菌、树脂枝孢霉、青霉菌、木霉、链格孢、球衣菌	Walker等(1973) <sup>[27]</sup> Austin等(1977) <sup>[28]</sup>
	放线菌、枯草杆菌、毛霉亮丝菌,射光杆菌、苯丙酮 莫拉氏菌、不动杆菌	Calomiris等(1976) <sup>[29]</sup>
马赛沿海	不动杆菌,产碱杆菌、极毛杆菌	Petit(1975) <sup>[30]</sup>
北卡罗林纳 Neuse 河口	假单胞杆菌、芽孢杆菌、短杆菌、微球菌、黄杆菌、棒杆菌	Buckly等(1976)
骏河湾、清水港	棒杆菌、微球菌、假单胞杆菌、黄杆菌	永井彰等(1979) <sup>[23]</sup>

的解烃活动作了研究,指出降解有序贯性。混合培养常能促进降解,而且富有实际意义,须深入探讨。

### 五、我国海洋解烃菌生态调查的一些进展

这方面的研究我国开始得较晚。自七十年代中期以来,对一些海域、海湾、港口及沿海油田的解烃菌生态作了初步调查,如渤海、胶州湾、辽东湾等海域。从结果来看,这些海区的解烃菌生态与世界其他海域如日本濑户内海<sup>[23]</sup>和骏河湾<sup>[25]</sup>、法国马赛沿海<sup>[30]</sup>等的情况有许多相似之处。解烃菌的生态分布与石油开采、船舶往来、潮流、排污等相关。有关工作正在进行之中。

#### 主要参考文献

[1] Walker, J. D. *et al.*, *Can. J. Microbiol.*, **22**, 598 (1976).  
 [2] Colwell, R. R. *et al.*, *Crit. Rev. Microbiol. Sep.* 423 (1977).  
 [3] Mulkins-Phillips, G. J. *et al.*, *Appl. Microbiol.*, **28**, 915 (1974).  
 [4] Walker, J. D. *et al.*, *Proc. Thir. Inter. Biodegrad. Symp.* 197 (1976).

[5] Cobet, A. B. *et al.*, *Microbial Degrad. Oil Pollut.* Publication No. LUS-SG-73-01. (1973).  
 [6] Walker, J. D. *et al.*, *Appl. Microbiol.* **27**, 285 (1974).  
 [7] Walker, J. D. *et al. Environ. Sci. Technol.* **10**, 1145 (1976).  
 [8] Sayler, G. S. *et al.*, *ibid* 1142 (1976).  
 [9] Mills, A. L. *et al.*, *Bull. Environ. Contam Toxicol.*, **18**, 99 (1977).  
 [10] Kurata, A. *et al.*, *La mer*, Tome 16, No. 1, 1 (1978).  
 [11] Dibble, J. T. *et al.*, *Appl. Microbiol.*, **31**, 544 (1976).  
 [12] Olivieri, R. *et al.*, *Mar. Poll. Bull.*, **9**, 217 (1978).  
 [13] Zobell, C. E., API/FWPCA Joint Conf. Prev. Cont. Oil Spills. Amer. Petrol. Inst. Washington, D. C. pp. 317 (1969).  
 [14] Atlas, R. M. *et al.*, *Environ. Pollut.*, **4**, 291 (1973).  
 [15] Schwarz, J. R. *et al.*, *Dev. Ind. Microbiol.* **15**, 239 (1974).  
 [16] 陈皓文译,应用微生物, **4**, 70 (1978).  
 [17] Young, L. Y. *et al.*, *Appl. Microbiol.* **25**, 972 (1973).  
 [18] Zobell, C. E. *et al.*, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* **27**, 1175 (1943).  
 [19] Z. *Allg. Mikrobiol.*, **6**, 143 (1966).  
 [20] Gunkel, W., *Microbial Degrad. Oil Pollut.* Publication No. LUS-SG-73-01 (1973).  
 [21] Stewart, J., E. *et al. J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 581 (1978).  
 [22] Colwell, R. R. *et al.*, *ibid* 573 (1978)  
 [23] 藤沢浩明等,日本水产学会志 **43**, 659 (1977).

- [24] Atlas, R. M. *et al.*, *J. Fish. Res. Board Can.* **35**, 585 (1978).
- [25] 永井彰等, 东海大学纪要 海洋学部 第12号 135 (1979).
- [26] Cundell, A. M. *et al.*, API/EPA/USCG Conf. Prev. Cont. Oil Spills, Amer. Petrol. Inst. Washington, D. C. 421 (1973).
- [27] Walker, J. D. *et al.*, API/EPA/USCG Confer. Prev. Cont. Oil Spills, Amer. Petrol. Inst. Washington, D. C. 685 (1973).
- [28] Austin, B. *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol.*, **34** 66 (1977).
- [29] Calomiris, J. J. *et al.*, *J. Appl. Bact.* **41**, 135 (1976).
- [30] J. Le Petit *et al.*, *Ann. Microbiol.*, **126**, 367 (1975).
- [31] Atlas, R. M. *Crit. Rev. Microbiol. Sep.* 371 (1977).
- [32] Walker, J. D. *et al.*, *Appl. Microbiol.*, **31**, 189 (1976).

## 天然水的采样和样品保存

裘 松

(杭州市卫生防疫站)

现代科学的迅速发展,促使环境水体的监测质量不断提高,各种元素的检出限逐渐下降。常用仪器分析对许多元素的检出限都已达到0.1—10 ppb(如阳极溶出、无火焰原子吸收、中子活化等方法)或者更低。目前已知,水质微量分析中几乎处处都有“陷阱”,微量成份极易污染或失少。许多在 $10^{-6}$ (ppm)数量级范围不曾引起人们注意的误差因素,到了 $10^{-9}$ (ppb)数量级甚至可以使分析结果失去意义。因此,水质分析的质量控制问题极为重要。一般将质量控制分为四个方面:(1)有效的采样和保存;(2)可靠的分析方法;(3)实验室分析技术;(4)分析数据处理。四者中间,水质采样往往被认为是最重要的问题,也是实际工作中最薄弱的环节。

最近十年左右时间里,有关采集天然水代表性样品,有效地保存水样,防止贮存期间含量变化的问题,出现了不少研究报导。这些报导显示出天然水采样和保存问题理论和应用的许多新发展和新动向。本文拟就有关文献报导进行选择性的介绍,着重对近年来的新技术和新成果作出简要叙述。

### 采 样

“原处测定”是一种最理想的水质监测方

法。“原处测定”常指以探针形式在水体中直接测出所需要参数。目前在天然水中有效地应用这种技术的仅限于少数几项参数,例如:盐度、色度、温度、电导、pH、DO、 $a_{525}$ 和 $a_{490}$ 等等。虽有用于测定铜、镉、铅和水中其它一些金属离子的测量探针,但最高检出限只在 $10^{-7}$ — $10^{-8}$ M,且易受干扰,故对未污染水体并不适用。而且,由于缺少适当的传感器,用探针来进行原处测定的技术在近期内不大可能有较大的扩展。不需要对样品预先浓缩的阳极溶出分析也被认为有可能用来原处测定,但尚无被推广使用的迹象。因此,绝大多数情况下,水质参数只能在实验室进行分析,必须通过采样步骤,以提供获得可靠数据的代表性样品。

目前,在采集天然水样品时,一般只用瞬时样品和混合样品两种形式。采样通常在水体剖面的各个垂直方向进行。垂直水柱的采样方法基本上可以归纳为如下几种:

1. 将采样瓶(器)浸入水体至所需深度,水面控制瓶(器)盖的启开和关闭。
2. 将吸水管插入水体至所需深度,用泵将样品吸出水面。
3. 用一适当的吸收物质,置于水中一定深度,吸收或浓集所需的元素或化合物。
4. 采取进入容器水量与深度增量互为函