

降解得快^[3]。此顺序也与文献报道的土壤六六六中各异构体顺序相同^[4]。底泥中六六六在上游非工业污染区,各异构体比例与水中一致,即 $\alpha > \beta > \gamma \geq \delta$; 而在天化及其下游,各异构体的比例则与工业原体的相近 ($\alpha > \gamma > \beta > \delta$)。

枯水期河水中六六六各异构体的比例,除采样点(14)以上诸取样点为 $\alpha \geq \beta > \gamma \geq \delta$ 外,其余各点均为 $\alpha > \gamma > \beta > \delta$; 而底泥中六六六各异构体的比例,在大部分取样点均为 $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ 。

至于 DDT 的降解产物,无论在河水或底泥中,丰水期还是枯水期,所测得的 DDD 含量均大于 DDE 的含量,说明在蓟运河的特定自然条件下,DDD 是比 DDE 更为主要和更稳定的降解产物。

小 结

1. 采样河段河水中有机氯农药含量均低

于地面水污染标准,底泥中有机氯农药含量除天化及其下游外,也都很低。

2. 主要污染源是天化的农药废水和污泥。

3. 可以认为,目前农田中农药的施用量不会对蓟运河造成污染。

4. 注意到天化附近河水及底泥中有机氯农药含量,1980年5月份(枯水期)较1979年10月份(丰水期)有较大幅度的增加,建议对蓟运河天化附近的有机氯农药污染继续进行调查研究和监测。

参 考 文 献

- [1] 日本分析化学会关东支部编,公害分析指针,共立出版株式会社,9页,1972年。
- [2] 徐圣煦编著,农药化学,正中书局印行,9页,1969年。
- [3] 龚坤元,国外科学,第二集,科学出版社,93页,1978年。
- [4] Tatsukawa, R. et al., *Environmental Toxicology of Pesticides*, F. Matsumura et al. Eds. (Academic Press, 1972), p. 229.

胶州湾潮间带和沿岸区的耐汞菌

I. 耐汞菌的数量分布

陈 皓 文

(中国科学院海洋研究所)

在受污染的特定海洋环境有较大数量的耐汞菌(Mercury-Tolerant Bacteria, 本文简称MTB)。耐汞菌大量出现是它们对汞污染适应、选择、忍耐以至对抗的群体生态反应。耐汞菌数量变化与汞污染关系密切,这方面的研究国外多有报道^[5,6,10,11]。但关于潮间带和沿岸区的报道尚不多。本文试图就胶州湾潮间带和沿岸区耐汞菌的数量分布作调查研究,以估计其生态意义。

一、调查和实验

(一) 采样站位

5个定点调查站址如前文所述^{[1]*}。其余10站概况列于表1中,采样站位详见图1。

* 本文的站址序号由湾内到湾外,自北至南排列。文中1、3、5、7、13号为文献[1]中I、II、III、IV、V号站,其它站位也有变化,10站前为湾内,11—15站为湾外。

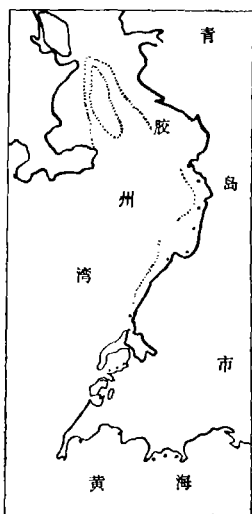


图1 采样站位示意图

表1 十个不定期站位概况

站位号	地 名	概 况 描 述
2	粮油制桶厂后海滩	污脏、沉积物表层孳生大量蓝绿藻、工厂排污
4	沧口海水浴场	比13站脏、海砂有些发黑、磷肥厂排污等
6	水清沟入海口段	收纳化工、发电、造纸、轻工等排污和生活废弃物
8	昌乐路沟下游	收纳印染、车辆制造、电镀、电器仪表、金属切削、塑料制品和生活污水，COD高、悬浮物多、混浊、有高汞史
9	大港五区	海轮停泊、货物装卸、浮油多
10	大港三区	大船较少
11	养殖所码头	尚干净
12	二中后海滩	工业、民用生活污物和肥料压力，水质肥沉积物乌黑
14	感光材料厂出水口附近	尚干净
15	湛山湾	水较干净，中细砂底质为主

(二) 样品采集

方法详见前文^[1]。在微生物采样时，平行采集化学分析用样品，现场测定温度和pH值等。

(三) 好气异养菌和耐汞菌数量的计数

1. 海洋好气异养菌：在海水肉汁琼脂平皿上计算海洋好气异养菌菌落形成单位数

(CFU) (简称AA，下同)^[1]。

2. 海洋好气异养耐汞菌：在上述培养基中添加不同定量的 Hg^{2+} ($HgCl_2$ 形式) 收集耐汞菌，一般均以含 10ppm Hg^{2+} 的培养基上的 MTB 的 CFU (即 MT) 作调查区内耐汞菌数量估计的依据。

3. 淡水和半咸水琼脂培养基上的耐汞菌：淡水培养基基本成分如前述^[1]。半咸水培养基成分如下：A. 蛋白胨 5 克；氯化铵 2 克；磷酸铁 0.1 克；磷酸二氢钾 0.3 克；磷酸氢二钾 2 克；陈海水 1000 毫升。B. 蒸馏水 1000 毫升。两份 A 液和一份 B 液相混，琼脂 2%，pH7.4。以上两培养基按需添加 Hg^{2+} 。

上述培养基上各加稀释样品 0.1 毫升涂布，于 24℃ 培养 14 日，三次检查菌量，换算成每毫升表水或每克湿沉积物表层样中的 MTB 数(即 MT)。从含汞平皿上挑取耐汞菌菌落，纯化，保存备用。

(四) 样品中汞含量等参数的测定*

汞含量用 YYG-77 冷原子荧光测汞仪测定。COD 用碱性高锰酸钾法测定^[3]。

(五) 数据处理

对部分数据作方差分析和一元回归分析^[2]，以说明耐汞菌数的地理学差异和季节分布、耐汞菌等与样品汞含量等参数的关系。

二、结果和讨论

(一) 耐汞菌数量及其变化

1. 定点站耐汞菌数

表 2 列出了五个定点站上 MT、MT/AA 的年平均数，它们基本上代表着该区 MTB 的数量范围。在水中是 $3.37 \times 10^3 - 6.16 \times 10^6$ ，平均为 1.77×10^6 ；在沉积物中是 $2.17 \times 10^5 - 3.14 \times 10^7$ ，平均为 1.45×10^7 。按大小排列，则水中是 7 站 > 3 站 > 5 站 > 1 站 > 13 站；沉积物中是 5 站 > 3 站 > 1 站 > 7 站 > 13 站，沉积物中的 MT 比水中的高。这吻合于

* 汞主要由本所郑舜琴、张淑美、庞学忠测定；COD 等由青岛化工厂赵敦瑾等测定，在此一并致谢。

表 2 五个定点站上MT、MT/AA 的比较

站号	沉 积 物		水	
	MT	MT/AA	MT	MT/AA
1	9.17×10^6	0.0242	5.74×10^5	0.0090
3	2.24×10^7	0.0049	1.45×10^6	0.0755
5	3.14×10^7	0.0098	6.42×10^5	0.0728
7	9.15×10^6	0.0106	6.16×10^6	0.1382
13	2.17×10^5	0.0001	3.37×10^3	0.0055
平均	1.45×10^7	0.0099	1.77×10^6	0.0602

Nelson 等的估计^[7], MT/AA 范围在水中是 0.0055—0.1381, 平均 0.0602; 沉积物中是 0.0001—0.0242, 平均 0.0099. 按大小排, 则水中是 7 站> 3 站> 5 站> 1 站> 13 站; 沉积物中是 1 站> 7 站> 5 站> 3 站> 13 站.

从三种培养基上得出的培养情况列于表 3, 证明潮间带大量的微生物和 MTB 也适于淡水和半咸水环境. 含 10ppm Hg²⁺ 培养基上的 MT 在淡水培养基上最少, 海水肉脰培养基上最多. 只有半咸水培养基上 MTB 能耐 50ppm Hg²⁺, 说明汞在半咸水和海水里比在淡水里可能形成更多的 HgCl⁻¹/HgCl₄⁻² 络合物, 其毒性低于 Hg²⁺^[4]. 这还表明潮间带的 MTB 主要来自陆水, 它们有广泛的盐度适应性.

MT、MT/AA 等逐月和季节变异画在图 2—3 中, 图 2—3 描绘出 MT 的主峰月在春末和夏季月份, 这可能与大量生源物质及温度增高有关. 这在沉积物 5 站和水的 7 站较为明显. 图 2 还表明沉积物 MT 有明显的季

节变化, 其主峰在夏, 次峰在春, 低谷常在冬. 水中的次序则为春> 夏> 秋> 冬(图 3).

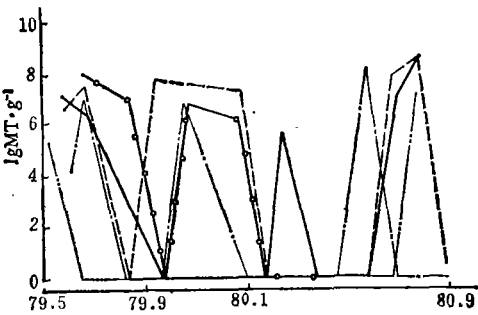


图 2 五个定点站沉积物表层 MT 的逐月变化 (当 MT 为 0 时, 纵坐标作 lg1 处理)

1 站 —○— 7 站 - · - · -
3 站 ——— 13 站 ·····
5 站 - - - - -

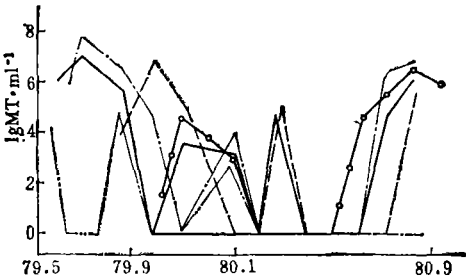


图 3 五个定点站水中 MT 的逐月变化 (当 MT 为 0 时, 纵坐标均作 lg1 处理)

1 站 —○— 7 站 - · - · -
3 站 ——— 13 站 ·····
5 站 - - - - -

不同站位与样品影响到 MT/AA 及其季节变化分布上的差异. 表 4 表明的站位对 MT/AA 的影响, 即地理学差异是显著的. 这

表 3 7 号站在不同培养基上 MT、MT/AA、AA 的比较*

培养基中汞(ppm) 培养基种类		0		5		10		50	
		AA	MT	MT/AA	MT	MT/AA	MT	MT/AA	
海肉脰		3.93×10 ⁷	2.35×10 ⁶	0.0598	3.75×10 ⁶	0.0954	0	0	
半咸水		1.69×10 ⁷	1.45×10 ⁶	0.0855	7.5×10 ⁵	0.0444	5×10 ⁴	0.0029	
淡 水		1.82×10 ⁷	1.35×10 ⁶	0.0742	3×10 ⁵	0.0165	0	0	

* 水样, 1981. 6. 11.

表 4 五个定点站上 MT/AA、AA 季节分布方差分析

样 品	项 目	F 值	显 著 性
水	MT/AA	1.58	$*(\alpha = 0.25)$
沉积物		2.94	$*(\alpha = 0.25)$
水	AA	1.96	$*(\alpha = 0.25)$
沉积物		0.61	不显著

* 表示差异显著

表 5 五个定点站上水 MT/沉积物 MT 的比较

站号	水 MT/沉积物 MT
1	0.0625
3	0.0617
5	0.0204
7	0.6732
13	0.0155

表 6 MT 在五个定点站上出现频率比较

站 号	1		3		5		7		13	
样品	水	沉积物	水	沉积物	水	沉积物	水	沉积物	水	沉积物
采样次数	11	12	13	12	11	14	13	12	15	12
MT 出现次数	6	4	8	5	5	7	7	4	3	2
各站 MT 出现次数/采样次数×%	54.6	33.3	61.5	41.7	45.5	50.0	53.9	33.3	20.0	16.7
五站 MT 出现次数/ 采样平均次数×%	46.0 (水)					35.5 (沉积物)				

表 7 不定期站上 MTB 的比较

站号	样品	MT	MT/AA	采样日
2	沉积物	1.72×10^8	0.2147	79.6.22
4	沉积物	4×10^8	0.1429	79.6.22
6	沉积物	1.83×10^7	0.0764	81.3.21
12	沉积物	$<1 \times 10^5$	<0.0025	79.6.4
6	水	9.92×10^5	0.2332	81.3.21
6	水	9×10^5	0.2606	81.5.20
8	水	1.38×10^5	0.0157	81.5.20
8	水	6.98×10^5	0.0191	81.5.29
9	水	2.19×10^8	4380	79.10.10
10	水	0	0	80.3.16
11	水	5×10^4	0.0039	79.10.10
12	水	7×10^5	0.0368	79.6.4
14	水	1×10^5	0.0035	79.10.10
15	水	0	0	81.3.22

种地理学差异还表现在水 MT/沉积物 MT 的比率差异上(表 5),这一比率的增大,反映了两种介质中 MTB 数量差距的缩小及环境汞污染的加重^[6]。表 6 则说明水和沉积物这两种介质对 MTB 出现频率有不同的影响:在水中的 MTB 出现频率大于沉积物。这与汞污染物随水的流动和陆地排污有关。

2. 不定期站上的耐汞菌数

表 7 列举了 9 个不定期站上 MT 等数据,它们呈现出湾内多于湾外、污染区的高于清洁区、沉积物高于水的趋势,其中以湾内 2 站最高(沉积物)。水中以 9 站最多,水中以湾外的 15 站、沉积物以湾外的 12 站最少(参见表 8)。

(二) MT、MT/AA 与环境理化参数的关系

1. MT、MT/AA 与样品汞含量的关系

表 8 列出了 18 个样品 MT、MT/AA 与 Hg 含量间的关系,由表 8 绘出的图 4 表达了 MT 与 Hg 的直线回归,若以 W 代表水样,则 MT(W)—Hg(W) 间的回归方程为:

$MT(W) = 8.838 \times 10^4 + 1.5141 \times 10^5 \times Hg(W)$ 。回归截距 $a = 8.838 \times 10^4$,其物理意义可理解为相当于汞污染消除后水体的水中耐汞菌的一般数,湾外的 11、13、14、15 等站的 MT 均低于此值。MT/AA(W)—Hg(W) 间也有正相关存在。耐汞菌与汞的相关性说明在一定条件下,MT、MT/AA 的提高也部分地反映特定环境汞污染的加重^[6]。

表 8 水样含汞量与 MT、MT/AA 的关系

Hg(μg/l)	MT	r(Hg-MT)	MT/AA	r(Hg-MT/AA)	站号	采样日
0.014	0	0.624	0	0.081	13	82.8.27
0.016	5×10³		0.0222		9	82.8.27
0.029	5×10³		0.0172		15	82.8.27
0.032	0		0		11	82.8.27
0.033	3.05×10³		0.1419		1	82.8.27
0.033	3.8×10³		0.0638		2	82.8.27
0.043	2×10⁴		0.0290		14	82.8.27
0.052	1.45×10³		0.2148		4	82.8.27
0.061	1×10⁴		0.1053		10	82.8.27
0.152	1.5×10⁴		0.0278		3	82.8.27
0.435	2.3×10³		0.0208		8	82.8.27
0.53	1×10³		0.3333		7	81.3.21
0.923	3.1×10³		0.1538		6	82.8.27
0.93	3×10³		0.3158		7	81.3.21
1.5	2×10³		0.0071		8	81.5.20
1.5	2.5×10³		0.0450		8	81.5.20
1.83	4.45×10³		0.0434		12	82.8.27
0.037	1.05×10³		0.0598		5	82.8.27

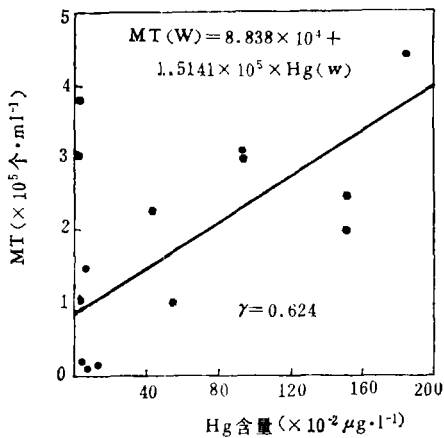


图 4 18 个水样 Hg 含量与 MT 的关系

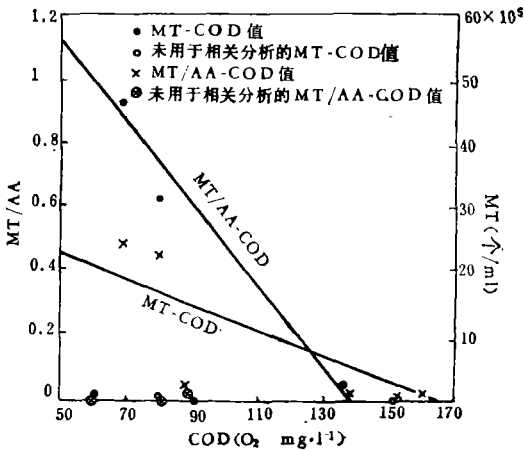


图 5 水样 COD 与 MT、MT/AA 的关系

表 9 COD 与 MTB 的关系*

COD(mg/l)	MT	MT/AA	站号	采样日
68.6	2.5×10⁵	0.9259	6	81.5.20
80.0	2.35×10⁵	0.6267	6	81.5.20
88.0	3.5×10⁵	0.0100	6	81.5.20
136.0	2.5×10³	0.0450	8	81.5.20
152.0	1×10⁵	0.0100	8	81.5.20
160.0	2×10⁵	0.0077	8	81.5.20
160.0	0	0	8	81.5.20

* 水样

2. 耐杀菌与 COD 的关系

表 9 列举 MT、MT/AA 与样品 COD 的关系。根据表 9 的 MT-COD、MT/AA-COD 关系画出了图 5。由此可知水中 MT、MT/AA 与 COD 间有良好的负相关，r 值分别为 -0.83 和 -0.75 (α 均为 0.05)。其相应的回归方程分别为 $MT(W)=32.7362 \times 10^5 - 0.2281 \times 10^5 \times COD(W)$ 和 $MT/AA(W) = 1.1371 - 0.0075 \times COD(W)$ 。截距 a =

表 10 MTB 等与温度的相关性

样品	站号	MT-T	MT/AA-T	AA-T
沉 积 物	1	0.496	0.301	0.891
	3	0.289	0.669	-0.266
	5	0.466	0.318	-0.182
	7	-0.005	-0.049	0.382
	13	0.368	-0.088	-0.327
	平均	0.323	0.230	0.100
水	1	0.471	0.145	-0.037
	3	0.367	0.365	0.035
	5	0.550	0.543	0.690
	7	0.280	0.526	-0.396
	13	0.500	-0.303	0.273
	平均	0.434	0.255	0.113
五站水、沉积物的总平均		0.378	0.243	0.106

32.7362×10^5 可理解为随着 COD 降低及其他条件适于 MTB 时的最高 MT 水平。而截距 $a = 1.1371$ 则意味着在上述情况中 MT/AA 的可增之值。这两种相关性从反面暗示 MTB 与 O_2 的密切关系^[8]。COD 消耗 O_2 从而阻抑好气 MTB 生长繁殖,减缓汞的好气性甲基化进程,因而影响到环境中汞的迁移^[9]。

3. 耐汞菌等与样品温度的关系

MT、MT/AA、AA 与样品温度 (T) 的相关分析结果列于表 10 中。MT-T 的 r 值 ($\alpha = 0.05$) 在水中只有 5 站的接近于有意义的正相关。MT/AA 与 T 的 r 值 ($\alpha = 0.05$) 仅 3 站的沉积物表达出较好的线性正相关, 5 站的水仍接近于线性关系。

AA-T 的 10 个 r 值有一半为正的, 其中的两个表达出良好的相关性。总的看来, 三对相关分析表明水中比沉积物中相关性好。MT 受温度的影响较大, 它对温度的反应比普通微生物要敏感些。同时也说明包括 MTB 在内的微生物, 其数量分布除受温度影响外, 还受其他环境因子的制约。

三、小 结

1. 本工作表明耐汞菌的出现频率水中比

沉积物中高, 其数量是沉积物中多于水中, 大体范围是 2.17×10^5 — 3.14×10^7 个/克 (沉积物) 和 3.37×10^3 — 6.16×10^6 个/毫升 (水)。沉积物以李村河出海口 (5 站) 的最多, 水以海泊河出海口 (即 7 站) 最多。MT/AA 在水中以海泊河出海口最高, 沉积物以石油化工厂后海滩 (即 1 站) 最高。13 站上无疑总是最低、最少, 湾内高于并多于湾外的。

2. MT、MT/AA 与 Hg 量为正相关。MT、MT/AA 的提高至少部分地意味着特定环境汞污染的加重。把 MT 这个参数结合进汞污染的环境监测中去是有意义的。

3. MT、MT/AA 与 COD 间有负相关。MT、MT/AA 比 AA 受温度影响大, MT 最高数季节在春末和夏季。MT、MT/AA 表现出的季节分布趋势受地理学特异性影响大。

4. 虽然大量出现的耐汞菌能参与汞污染的迁移与净化活动, 但样品中不时出现的超标汞量等表明陆地仍有不适当排污, 这对微生物正常生态活动仍有抑制的可能。

曾呈奎所长和吴超元副所长对本文提出过宝贵意见, 在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈皓文, 环境科学学报, 1(4), 313 (1981).
- [2] 高玉堂, 环境监测常用统计方法, 81, 113 页, 原子能出版社, 1980 年.
- [3] 德格雷蒙公司(韦荫辉等译), 水处理手册, 57 页, 化学工业出版社, 1959 年.
- [4] Babich, H. et al., Can. J. Microbiol., 25(11), 1257(1979).
- [5] Colwell, R. R. et al., Proc. Int. Conf. Transp. Persis. Chem. Aquat. Ecosys., Part III, 1-10, 1974.
- [6] Mills, A. L. et al., Environ. Contam. Toxico., 18(10), 99(1977).
- [7] Nelson, J. D. et al., Prep. 8th Annu. Conf. Mar. Technol. Soci., pp. 302-312, 1972.
- [8] Nelson, J. D. et al., Microbiol. Ecol., 1, 191 (1975).
- [9] Olson, B. H. et al., Water Res. 10, 113 (1976).
- [10] Walker, J. D. et al., Appl. Microbiol., 27(1), 285(1974).