

防污漆表面微型污损性附着生物的研究*

陆青田 王秋 熊学云 黄韬森

(青岛油漆厂) (山东海洋学院) (海军油料研究室) (中国科学院海洋研究所)

防污漆浸入海中以后,早期都有微型污损性附着生物首先附着。主要是细菌和硅藻等微生物。这些微生物和油漆中的成分相互作用,在海水和防污漆之间形成微生物粘膜。这层粘膜构成一种特殊的生态系,对大型生物幼虫的附着和油漆中毒物的渗出都有着密切的关系。

Hilen (1923) 最早报告了微生物粘膜是由细菌组成,并有原生动物钟形虫和其它纤毛虫存在于粘膜中^[7]。Angst (1923) 观察船体上的粘膜时,除记录了细菌的种类外还指出:在有毒的防污漆表面不能抑制细菌的生长。所有防污漆上都有粘膜存在,而且是由革氏负反应杆菌所组成^[2]。ZoBell (1939 a. b.) 研究过防污漆上的微生物粘膜,他认为粘膜中的微生物对研究污损性附着的真正原因和防除都有相当重要的意义,并指出:在几天之内形成的粘膜是有利于大型生物幼虫附着的^[13,14]。Bishop (1974) 曾用电子显微镜研究防污漆上的粘膜,并作了综述。他认为防污漆表面微型污着生物具有抗毒性质^[3]。总之,微生物粘膜曾受到广泛的注意,目前仍在继续调查研究中。但迄今对粘膜的性质和作用仍然缺乏确切的说明。

我国在长期研制防污漆的过程中,很早就注意到防污漆上的粘膜,而且了解到不同树脂的防污漆上粘膜的性质和形态也不同。本文是对防污漆表面微型污着生物的调查研究。由于防污漆表面微生物粘膜的广泛性和稳定性,因而对粘膜的研究有助于对附着机理的认识和防污新途径的探讨。

一、方法与观察结果

防污漆港湾挂板试验是将油漆涂于板上,待干后悬挂于青岛港湾里的浮筏上,定期检查。动态挂板是将油漆涂于模拟小船上,定期进行时速为7—10海里的圆周航行。

除挂板试验方法外,还有实船防污漆上的微生物粘膜考察。这里重点是叙述港湾的油漆挂板上的粘膜。

取样时用宽约为10—15毫米、厚约1毫米适当长度的不锈钢片刮取粘膜。刮取前将试验样板或模拟小船在海中充分冲洗,将浮泥及非附着生物尽可能洗去,然后刮取样品。刮取时注意不要破坏漆膜。样品置于标本瓶中,稍加海水,即带回实验室作活体镜检,一

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第460号。参加工作的还有青岛油漆厂傅建招、仲伟春、林显厚,青岛化工研究所丁志平,山东海洋学院黄美君、黄世玫等同志。

本文在工作过程中得到海军有关负责同志的热情鼓励 and 大力支持,谨表示衷心的感谢。

生物种类的鉴定得到中国科学院海洋研究所郭玉洁同志、厦门大学教授金德祥、山东海洋学院副教授郑柏林以及芦澄清同志的协助,谨此致谢。

本刊编辑部收到稿件日期:1978年1月10日。

般不超过两小时。如果不能及时镜检,可将标本保存于 5—10°C 的冰箱中,但不超过两天。活体镜检后将标本用 10% 甲醛固定保存。

活体镜检是将标本置于玻璃载片上,加少许过滤海水,然后加盖片并轻轻挤压使粘膜展开。用相差显微镜检查并作显微照相。

防污漆的成膜物是松香、酚醛、过氯乙烯及其它聚合树脂。毒料是氧化亚铜、氧化汞、有机砷、有机锡等。再加颜料、填充料、溶剂等经研磨而成油漆。

在我们试验的所有防污漆上都有微生物粘膜形成。粘膜在涂层上产生的时间不一致,由 20 天左右到半年以上。影响粘膜产生的因素是季节、海区和油漆中的成份。例如有机砷防污漆自 1972 年 8 月 3 日挂板,至 1973 年 5 月检查时仍然没有肉眼可见的粘膜产生,时间长达 9 个多月。但到 1973 年 9 月检查时有粘膜出现(图版 I:1,2)。防污漆上典型的微生物粘膜是有光发亮,并有一定的韧性(图版 I:3)。我们对 50 种不同防污漆表面粘膜的微生物组成进行观察,发现它们共同的特性是由均匀颗粒、细菌、硅藻、原生动物、小型线虫及藻类组成(图版 II:1—6)。细菌的形态以杆菌和球菌为优势种,弧菌和螺菌较少,有时可以看到链球菌。硅藻则以舟形藻(*Navicula*)为优势种,其次为菱形藻(*Nitzschia*)、卵形藻(*Cocconeis*)、直链藻(*Melosira*)、弯杆藻(*Achnanthes*)等。小形藻类以根枝藻(*Rhizoclonium* sp.)、丝藻(*Ulothrix* sp.)、粘球藻(*Gloeocapsa* sp.)等为优势种。原生动物有变形虫、鞭毛虫、钟形虫及其它纤毛虫为优势种,还有常见的优势种类小型线虫,而很少见到轮虫。以上微型生物的附着是有顺序性的。细菌首先附着,硅藻次之。原生动物和小型线虫在粘膜中出现较晚。一般情况下,细菌和硅藻附着后即可形成肉眼可见的粘膜。

防污漆上微生物粘膜有分层现象:细菌层和硅藻层。细菌层呈乳白色半透明状,以细菌和均匀颗粒为主,细菌有运动的和不运动的两种,此外也有小型硅藻。细菌层韧性强,紧贴于漆膜。硅藻层在细菌层之上,黄绿色,以大型硅藻为主,韧性较小。这种分层现象是普遍存在的,但有时也有分层不明显的情况,尤其是粘膜中含有大量泥沙时,不仅分层不明显,而且还会引起颜色和韧性的变化。

细菌层有很强的附着力,在时速为 7—10 海里的动态样板上仍大部分保留,并带有部分小型硅藻。但硅藻层却大部分被冲刷掉,保留部分较少(图版 I:4,5)。

粘膜在防污漆上的存留时间,我们观察到最长的达五年半以上。这是 1969 年 6 月 12 日挂板的,1974 年 12 月 7 日检查时粘膜仍然完整如新(图版 I:6)。我们对防污漆上的粘膜作过连续三年的观察,1971 年 10 月 23 日挂板,1972 年 10 月 20 日检查,粘膜中以均匀颗粒、细菌和硅藻为优势种。到 1973 年 9 月 17 日检查时,粘膜仍然以均匀颗粒、细菌和硅藻为优势种。这证明两年时间粘膜的种类组成是稳定的。

在东海区厦门港湾检查过四种防污漆的粘膜,与青岛港湾的结果基本一致。粘膜内以球菌为优势种,不运动。硅藻以舟形藻(*Navicula corymbosa*)为优势种,舟形藻(*Navicula mollis*)和弯杆藻(*Achnanthes longipes*)次之。

在南海区湛江港湾检查过三种防污漆膜,情形基本上也与青岛港湾一致。其种类组成以小球菌、短杆菌和硅藻为优势种,也有小型线虫。在硅藻种类中,直链藻(*Melosira* sp.)较多。

二、讨 论

一般物体浸于海中,在几小时内就会有细菌在其表面附着并以很快的几何级数繁殖,在 48 小时内每平方英寸可达 450 多万个^[12]。这些细菌是附殖菌 (Periphyta)^[15]。它们分泌多醣,固着于固体表面^[6]。硅藻附着后以同样方式繁殖。细菌和硅藻之间有着密切的关系:细菌产生的维生素 B₁₂ 和 CO₂ 为硅藻所需要^[4];硅藻产生多种氨基酸又是细菌生长所必需的^[9]。它们一起在固体表面形成粘膜,并共同生活于其中。

防污漆上粘膜由乳白色半透明状逐渐变为黄绿色,是由于粘膜内种类组成的变化所致。以后在膜内出现钟形虫及其它纤毛虫等,它们生活于膜内而与膜的形成无关。

粘膜有明显的季节变化并受温度影响。一般情况下每平方厘米重几百微克,而在夏季可达 4000 微克,膜的干物质重约为总重量的 30%^[11]。很多研究者认为这层粘膜对以后大型生物附着的密切关系是它促进了幼虫的附着^[5, 10, 12]。

防污漆表面的粘膜与其它一般物体表面的粘膜是不完全相同的。防污漆上粘膜在形成过程中除细菌和硅藻外还有涂料成分参与作用。除毒料外,还有其它颜料和填充料都可以由于漆膜的粉化进入粘膜、构成粘膜中的均匀颗粒。而涂料中有的成分与海水接触也可以产生粘膜,例如松香与海水接触后可以产生皂化膜。此外,防污漆中高分子成膜物的性质也与细菌有密切关系。这些聚合物往往由于细菌的趋化性而成为细菌的吸引者^[1],而细菌对这些聚合物也有生物降解作用。

氧化亚铜、氧化汞、有机砷、有机锡都是抑制细菌生长和繁殖的因素,但在一定时间以后,细菌和其它微生物都可以产生抗毒性。在防污漆粘膜中微生物在形态上没有明显的变化,但它们的生理特性是否改变还有待于进一步的研究。

Horbund 和 Freiburger (1970) 指出,粘膜有细菌膜和硅藻膜。他们认为细菌膜的存在有助于硅藻的附着,并认为大型生物幼虫附着是优先选择带有硅藻的膜^[8]。

在我们的观察中,可以证明防污漆表面微生物粘膜是由均匀颗粒、细菌、硅藻所组成,并有分层现象,而其它原生动物和小型线虫生活于其中。在动态挂板时,硅藻层可以被冲刷掉而保留大部分的细菌层。在静止状态时,硅藻和其它微生物又迅速恢复。粘膜的这种性质给细菌提供较为稳定的生活条件,使其能够长期生活和适应有毒表面的特殊环境。

防污漆粘膜的稳定性与早期细菌层的产生有很大关系。在连续观察中证明粘膜的组成是稳定的,有的粘膜在防污漆上保留五年以上,在有毒的粘膜环境中微型生物群落生活得很好,延续的时间很长,而大型生物的幼虫和孢子却不能生活和固着。这里有两种可能性:防污漆粘膜是有毒的,因而幼虫和孢子不能固着、也不能生活,而粘膜中其它微生物都已具有抗毒性。另一种可能性是这些微生物在涂料成分的影响下,改变了它们的生理特性,特别是细菌的生理特性,从而使本身也具有一定的排斥幼虫或孢子的能力。这种情况在生态系中是有重要意义的。

防污漆表面微生物粘膜长期存留,有的已保留五年半以上。其中微型生物生存得很好,而大型生物的幼虫或孢子不能附着和发育,这种现象说明微生物粘膜不一定都能促进

大型生物附着,也不一定在粘膜中所有的生物种类都有利于幼虫或孢子附着。我们认为微生物粘膜是一个复杂而又可以控制的生态系。

三、结 论

1. 防污漆是以松香、酚醛、过氯乙烯及其它聚合树脂为成膜物,以氧化亚铜、氧化汞、有机砷、有机锡等为毒料再加其它颜料和填充料、溶剂等研磨而成。

2. 防污漆挂板试验分别在青岛港湾、厦门港湾和湛江港湾进行。自 1972 年到 1976 年调查了它们表面的微型污损性附着生物。

3. 观察的 50 种以上防污漆先后都产生微生物粘膜,是由均匀颗粒、细菌、硅藻、原生动物及小型线虫等组成的。

4. 防污漆上微生物粘膜是由涂料成分和细菌、硅藻等微生物相互作用而产生的。

5. 微生物粘膜的形成时间由二十天到半年以上不等。粘膜有分层现象,即乳白色半透明状细菌层和黄绿色硅藻层。在时速为 7—10 海里的动态挂板中硅藻层大部分被冲刷掉,细菌层大部分留存。细菌层的附着力强。

6. 涂料中的成分可以影响改变粘膜的物理性状,使之能除微型污着生物生存外,不允许大型生物幼虫和孢子附着生长。

7. 防污漆表面粘膜保留五年半以上说明粘膜不一定都能促进幼虫或孢子附着,也不一定粘膜中所有生物都有利于幼虫或孢子附着。粘膜是一个复杂而又可以控制的生态系。

参 考 文 献

- [1] Adler, J., 1969. Chemoreception in bacteria. *Science* 166: 1588.
- [2] Angst, E. C., 1923. The fouling on ship bottoms by bacteria. In: PB-23217. p. 86.
- [3] Bishop, J. H., Silva, S. R. and M. Silva, 1974. A study of microfouling on antifouling coatings using electron microscopy. *Journal of the oil and colour chemists association* 57: 30.
- [4] Carlucci, A. F., 1974. Production and utilization of dissolved vitamins by marine phytoplankton. Effect of the ocean environment of microbial activities. University Park Press, p. 449.
- [5] Corpe, W. A., 1970. Attachment of marine bacteria to solid surfaces. In: Adhesion in biological systems, Ed. Manly, C. S. P. p. 73.
- [6] Corpe, W. A., 1974. Periphytic marine bacteria and the formation of microbial films on solid surfaces. Effect of the ocean environment of microbial activities. University Park Press, p. 397.
- [7] Hilen, J., 1923. Report on a bacteriological study of ocean slime. In: PB-23217. p. 89.
- [8] Horbund, H. M. and A. Freiburger, 1970. Slime films and their role in marine fouling: A review. *Ocean engineering* 1: 931.
- [9] Nobuhiko Tanaka, Masami Nakanishi and Hajime Kadota., 1974. Nutritional interrelation between bacteria and phytoplankton in a pelagic ecosystem. Effect of the ocean environment on microbial activities. University Park Press, p. 495.
- [10] Wood, E. J. F., 1967. Microbiology of oceans and estuaries. In: *Elsevier oceanography series* 3: 206.
- [11] Woods Hole Oceanographic Institution, 1952. Marine fouling and its prevention. p. 259.
- [12] ZoBell, C. E. and E. C. Allen, 1935. The significance of marine bacteria in the fouling of submerged surfaces. *Journal of bacteriology* 29:239.

- [13] ZoBell, C. E., 1939a. The role of bacteria in the fouling of submerged surfaces. *Biological Bulletin* 77: 302.
- [14] ZoBell, C. E., 1939b. Fouling of submerged surfaces and possible preventive procedures: The biological approach to the preparation of antifouling paint. *Paint, oil chemical review* 101: 74.
- [15] ZoBell, C. E., 1972. Substratum as an environmental factor for aquatic bacteria, fungi and blue green algae. *Marine ecology* 1:1251.

STUDIES OF MICROFOULING ORGANISMS ON THE SURFACES OF ANTIFOULING PAINTS*

Lu Qingtian

(Factory of Paint, Qingdao)

Wang Qiu

(Shandong College of Oceanology)

Xiong Xueyun

(Laboratory of Oil, Navy)

and

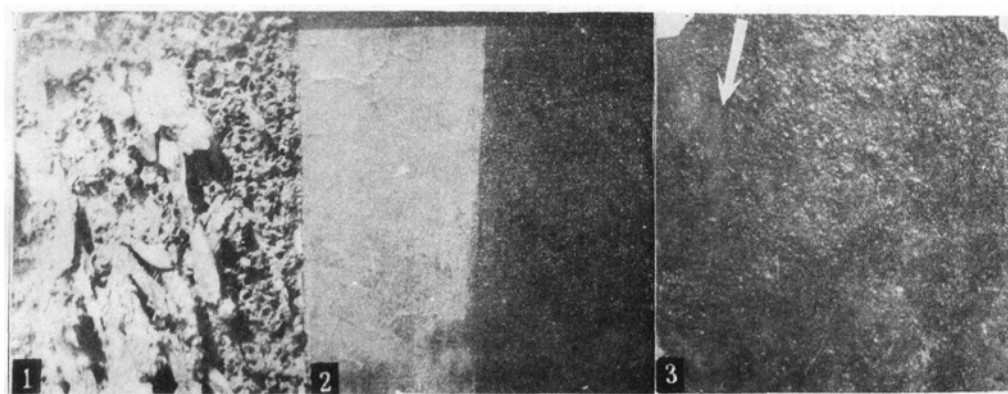
Huang Taoshen

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

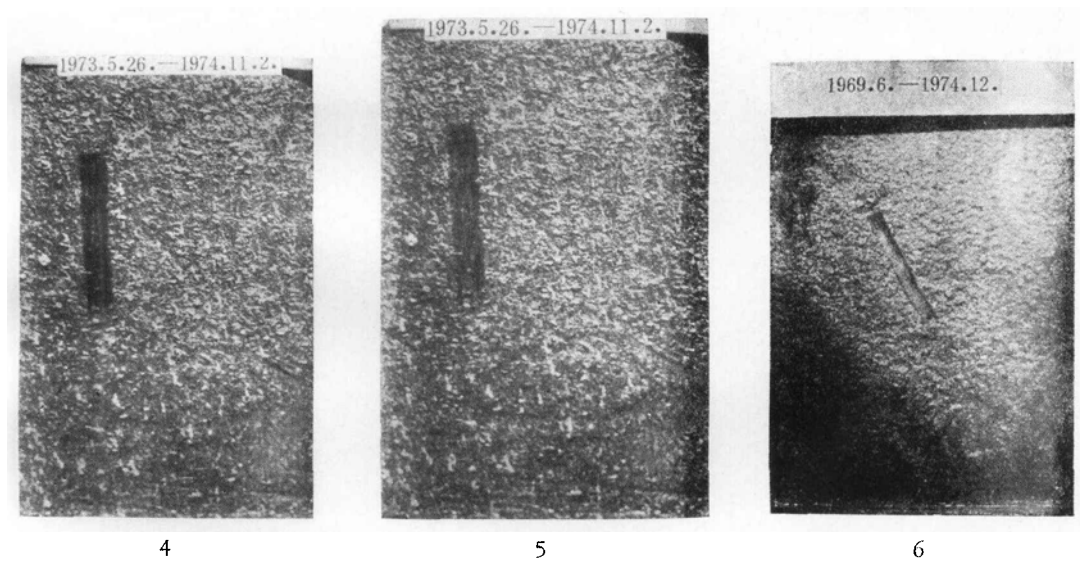
Microfouling organisms were the first to attach to the coating surface of the plate when submerged in the seawater. Fifty antifouling paints under investigation showed microbial slime film on their surfaces. Slime film was composed of bacteria, diatom, protozoa and micro-nematoda. It was obviously formed by their interactions in a period from twenty days to half years. Microbial slime film was further divided into two layers: bacteria layer and diatom layer. Diatom layer was washed out by the current at 7—10 nm/h. while bacteria layer remained there for five more years. Studies on microfouling organisms will help to understand the mechanism of attachment and to find a new approach to the control of marine fouling.

* Contribution No. 460 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.



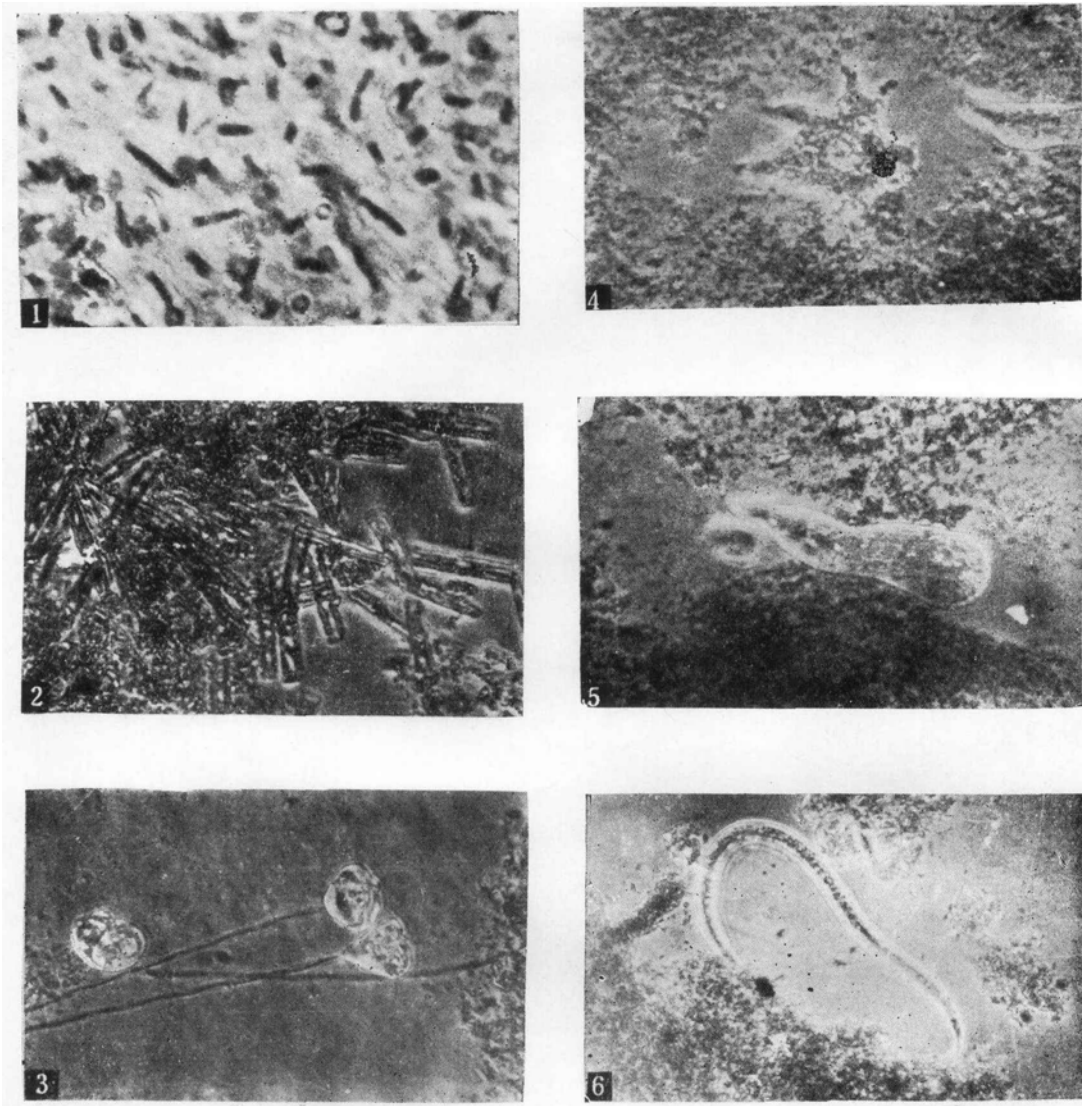
防污涂层上的粘膜

1.空白板； 2.九个月未生产粘膜； 3.典型粘膜。



微生物粘膜

4.航行前； 5.航行后； 6.保持五年以上。



粘膜中的微生物

1. 细菌 1000×； 2. 硅藻 600×； 3. 纤毛虫 600×； 4. 钟形虫 600×； 5. 变形虫 600×； 6. 线虫 200×。