

造船材料译丛第十三辑

海生物附着机理

造船材料译丛编辑室



前 言

船底防污已有 2000 多年的历史。这期间人们曾尝试过许多防污方法,但至今用得最普遍的是防污涂料法。防污涂料法约有 100 年的历史,这期间虽有很大进展,但可以说至今仍处在经验性状态,对毒料在防除污损方面的生理作用尚未完全了解;其防污效果仅 2~3 年,不能充分满足各方面的要求,在实践中人们越来越感到从生物学的角度来研究船底防污的必要性。这方面的研究始于本世纪 20 年代,到 60 年代有了较大的发展,目前正向微观方向发展;其范围包括海洋污损生物的分类、分布及变化规律、主要污损生物的生活史、其在各阶段中的生物学、生化学特点等。其中,以藤壶附着机理和粘膜的研究较为突出。这是从一种独特的迄今未曾尝试过的角度来解决防污问题;据报导,这种新途径可望产生一种新型的有效寿命可达 10 年的“第二代”防污涂料。

本文集汇编了有关藤壶附着机理、激素对污损生物的影响以及微生物在粘膜中的作用等方面的论文共 16 篇,可供从事海船防污工作或研究的人员以及其他有关人员参考。

由于我们水平有限,加之时间极为仓促,谬误之处肯定不少,希读者批评指正。

本文集的选题以及校对过程中,承蒙中国科学院南海海洋研究所 418 组的同志们的大力协助,特此表示深切的感谢。

编 者

目 录

前 言

船底污损及生物学研究	1
海洋污损及其防除	11
Balanus Balanoides(L.) 金星幼虫的第一触角附着器官的构造	20
藤壶幼虫的附着——第一触角附着圆盘表面结构的扫描电子显微镜观察	45
藤壶胶——第二代防污漆的关键	49
藤壶 Balanus Balanoides 的金星幼虫胶器官的研究	63
Balanus hameri 和 Balanus Crenatus 两种藤壶胶的生化成分	72
藤壶金星幼虫胶组成的组织化学	78
藤壶 Balanus 在金星幼虫期和 变态期中所分泌的胶的生源学和生化研究	83
藤壶 Balanus Eburneus 金星幼虫在变态前后所形成的 液态胶和固态胶的组织化学分析	93
Balanus Balanoides 和 Elminius modestus 金星幼虫 在成虫藤壶和其它海洋动物抽提物诱导下的附着情况	106
蜕皮甾酮激素对 Balanus Eburneus Gould 金星幼虫的影响	113
保幼激素类似物对蔓足类甲壳纲动物变态的影响	117
海洋污损中微生物的作用	120
微型污损中形成粘膜的海洋细菌的作用	130
防污涂料上微生物污损的电镜研究	139

DU27/119

船底污损及生物学研究

船底污损历史悠久，可追溯到纪元前五世纪[1]。在这2000年来，人们曾尝试过许多防污方法，至今在船底防污中用得最普遍而最广泛的是防污涂料法。防污涂料约有100年的历史，这一个世纪中在施用防污涂料方面虽然有了很大进展，但可以说至今仍处于经验性的状态。目前，防污涂料的防污效果约达2~3年，不能充分满足各方面的要求。人们从实践中越来越感到开展生物学基础研究的必要性。

船底污损本来是个复杂的生物学现象。但与之相关的生物学研究却开始得很晚，大约从本世纪20年代才开始[2][3][4]，到了六十年代有了些较大的进展，目前生物学基础研究正向微观方向发展。在这方面研究得较多的有美国和英国，还有日本，苏联和一些欧洲国家。其研究范围包括海洋附着生物的分类、分布及变化规律；主要污损生物的生活史，其在各阶段中的生物学、生化学特点等。其中，以藤壶附着机理和粘膜的研究较为突出。

一、藤壶附着机理的研究

藤壶是最普遍而最重要的污损生物之一，因而成为研究生物附着方面的主要对象之一。

关于藤壶附着现象的研究已有一百多年的历史。早在1854年，达尔文就观察了藤壶的附着现象。1928年，Visser指出金星幼虫靠触角附着。后来，由许多人做了较详细的研究[5—11]。这些研究指出，藤壶的受精卵在雌体内生长到无节幼虫，然后进入水中自由浮游，经过6期蜕皮而成金星幼虫，金星幼虫也是自由浮游，经过2—5天就附着于浸海物体表面上，变态成固着成虫。故对藤壶附着机理的研究主要涉及的是金星幼虫阶段。

1. 金星幼虫的附着行为

藤壶幼虫到了金星幼虫阶段，附着器官触角，以及分泌胶的粘腺已充分发育。(一般认为)金星幼虫达到物体表面的过程，是随意浮游过程。一旦到了物体表面之后，用两个触角行走。行走时，先用一个触角附着(临时附着)，用另一个触角不断地进行试探，附着之后，先附着之触角脱离物体表面，反复进行这样的过程，使幼虫向前进。在这一过程中，幼虫还从物体表面游开。在行走的最后阶段，金星幼虫用两个触角附着于物体表面，就地旋转，在触角表面上出现胶，最终停止运动，弯曲触角，虫体倒在物体表面上，完成幼虫的最后附着(永久附着)。附着之后马上变态，蜕皮。就在几个小时内虫体和物体之间形成一种Ca质保护层。约8个小时内产生根本变化。藤壶即使死了，Ca质仍然固着于物体表面上。这种附着很牢固，曾发现经过几千年的藤壶化石仍牢固地附着在其它壳体上[12]。

根据对金星幼虫附着行为的上述观察，我们可以联想到如下几方面的问题：

- (1) 金星幼虫触角的临时附着和永久附着是怎样实现的？
- (2) 在附着过程中胶所起的作用是什么？
- (3) 胶的物质，化学特性是什么？胶是怎样产生的？

(4) 作为附着器官的触角具有什么样的有利于附着的特殊结构?

(5) 触角的试探行为意味着什么? 其中有什么机理起作用?

(6) 附着行为受哪些因素的影响?

很多人就这些问题曾进行过研究, 曾提出过各种可能的解释, 但看法很不一致, 尚未完全解决, 尚待进一步进行研究。

2. 群居现象

金星幼虫在物体表面上行走的过程中, 用触角不断地进行试探。现已证实, 金星幼虫在寻找永久附着场所时是鉴别物体表面的化学、物理特性的。

发现藤壶群居而形成的柱有的高达 1—2 英尺, 重达几磅[13]。关于藤壶的群居, 第一次由 Knight-Jones 和 Stevenson[14] 叙述了 *Elminius modestus* 金星幼虫的附着群居。在试验中发现金星幼虫在已附着藤壶的试板和没有附着藤壶的试板上的附着比例平均达 3:1。还发现 *B. Balanoides* 较易附着于同种藤壶上[15]。他们指出金星幼虫可能对丹宁化蛋白质有识别能力[16,17]。

Crisp 和 Meadows[18,19] 发现藤壶抽提物对群居有促进作用, 并指出该物质是非渗析性的, 耐水煮沸, 能用硫酸氨沉淀。只有在幼虫与之接触时才起作用, 在溶液状态下是不起作用的。

Gabbott 和 Larman[20][21] 认为金星幼虫对定居素的识别在藤壶群居中起重要作用。*B. Balanoides* 抽提物中可能有粘朊或粘多糖——蛋白质混合物, 核酸——蛋白质混合物具有刺激定居的作用。定居活性与煮沸抽提物(*B. Balanoides*, *Elminius modestus*, *B. Hameri*)中存在的酸性蛋白质或蛋白质——碳水化合物的复合物有关, 其酸值为 pH 4.0~6.0。

Nott[22] 认为从藤壶成虫壳分泌的物质可能进入触角上的感毛里, 刺激感突而引起幼虫的群居。Nott 和 Foster[23] 用扫描电子显微镜观察触角结构后指出一个轴感器和两种辐感器可能与化学感觉有关, 可能通过酶起作用。

但是, 并不是所有的藤壶都是群居的, 如 *B. pacificus* 在存在同种藤壶时其附着无明显增加[24]。另外, 长期共存生活影响附着识别能力; 如, 英国沿海岸的 *E. Modestus* 对 *B. Balanoides* 和 *Emodestus* 无识别能力[21]。

试验中得知定居素有一定的临界致死浓度(见表 1)。

表 1 定居素的临界浓度 (毫克蛋白质/毫升)

种	临界浓度		
		Larman[21]	Crip & Meadows[18]
<i>B. balanoides</i>		3.10×10^{-6}	8×10^{-3}
<i>Elminius modestus</i>		7.5×10^{-3}	$4 \sim 8 \times 10^{-2}$
<i>B. hameri</i>		3.0×10^{-2}	
备 註		經煮沸处理	未經煮沸处理

Gibson 和 Nott[25] 研究触角第 4 节的结构指出其有感觉行为。第四节长在第三节的后侧, 由 5 个末梢刚毛和 4 个亚末梢刚毛组成。分别具有机械、化学感觉的作用。

除了物体表面的物理、化学性能对金星幼虫的附着行为有直接影响之外, 其它还有很多因素影响附着。如, 粘膜、光、流速等。

关于水流对藤壶附着的定量研究。首先是由 Smith[26] 用旋转圆盘试验进行的。他指出 *B. Amphitrite* 不附着的最低水流速度是 0.9~1.3 节, 后来 Crip[27] 用各种玻璃管研究指出, 水流, 在动力学上对幼虫附着的主要因素是速度梯度, 或者说剪切速度。水流对幼虫的附着有一定的刺激作用, 如: *B. Balanoides* 和 *Elminius modestus* 幼虫达最大附着量时的水流剪切速度分别为 60~80 厘米/秒和 50 厘米/秒。(梯度 100 厘米/秒相当于离表面 1 厘米处层流速度 1 米/秒)。但 *B. Balanoides* 在水流剪切速度大于 400 厘米/秒, *E. Modestus* 在大于 400~700 厘米/秒时就不能附着了。从计算得出当离物体表面距离等于金星幼虫高的一半处的水流等于金星幼虫的浮游速度 (*B. Balanoides* 约为 4.8 厘米/秒) 时附着最大。速度梯度对金星幼虫附着的影响见图 1。(略)

关于光的影响, Crisp[28] 曾做过研究。他指出金星幼虫在附着过程中首先对光排列, 尔后在生长过程中受水流的影响而改变排列。但水流对附着及变态无明显的影响。

3. 藤壶胶

对于藤壶分泌胶的现象, 在几百年前就已知道, 但对其性能及分泌过程直至最近才有了较详细的研究。不仅由于以防污为目的的附着机理的研究, 而且也由于水中用胶粘剂(如补牙等)的研究而使对胶的研究得到了很大的重视。藤壶胶的研究大致包括对胶的化学成份及性能, 胶的水份及分泌, 胶的固化机理等几方面的组织学、组织化学、生化学、生理学方面的研究。

(1) 化学成份及性能

Knight-Jones 和 Crisp[16] 指出 *B. Balanoides*, *B. Crenatus* 和 *Elminius modestus* 三种藤壶的胶可能是由醌-丹宁化蛋白质组成。Hillman 和 Nace[12] 对 *B. elurheus* 进行组织化学研究, 指出胶中主要成份是蛋白质, 还存在微量脂肪类, 没有测出酚氨酸。Saroyan[30] 指出 *B. Crenatus* 胶的 80% 以上是蛋白质, 并肯定了酚氨酸的存在。Cook[31] 指出 *B. Crenatus* 胶是由蛋白质组成, 含有少量的脂肪类, 脂肪类含量为 27.4%, 主要是烃、甘油三酸酯和三种脂肪酸。Walker[32] 指出 *B. Hameri*(85.88%), *B. Crenatus*(84.43%) 的胶几乎完全是蛋白质, 还有钙、硫、磷等。用组织化学方法没有测出脂肪类[33]。但是, Cardwell 于 1968 年指出 *B. Nubilius* 的胶是碳水化合物, 元素分析中几乎没有氮[32]。Nigrelli 指出[34, 35] 胶的主要成分是球蛋白, 也含有还原糖。Saroyan[30] 等人认为金星幼虫胶和成虫胶是一样的物质, 但 Cheung[78] 指出二种液态胶都是骨胶原物质, 然而成虫胶中含有酪氨酸, 但金星幼虫胶中就没有酪氨酸。对于藤壶胶所进行的氨基酸分析和元素分析结果示于表 2 和 3。Cheung[78] 认为不存在硫酸盐化作用的因光异色现象, 因而可以排除掉有些人提出的胶是酸性粘多糖的看法。O'tnesse[37] 指出 *B. Nublius* 固态胶的主要成份是碳酸钙, 具有方解石结构[表 4], 蛋白质含量仅为 44%, 去除 CaCO_3 之后蛋白质含量为 99.4%。Alan[38] 指出在 *B. Ebureneus* 胶中存在已糖胺。O'tnesse 认为已糖胺的存在表明多糖-蛋白质络合物存在的可能性。

表 2 藤壺胶的元素分析结果

成分元素	作者	Soroyan	Walker	Carderell
C		44.8—59.9	44.9	45.99
H		5.7—6.45	6.45	6.36
N		13.1—13.3	13.51	
O				46.35
S			2.04	
备 註			B. Crenatus	

表 3 藤壺胶的氨基酸分析结果

氨基酸	作者	Walker [32]	Cook [31]	Saryan [30]	Chevng []	O'tnesse [37]
天冬氨酸		82.80	101	54—80	79	236.9
苏氨酸		62.26	151	38—66	66	39.4
丝氨酸		76.90	151	40—57	80	90.2
谷氨酸		86.33	71	64—91	81	85.4
脯氨酸		60.55	66	33—49	86	70.2
甘氨酸		85.90	101	39—63	69	164.3
丙氨酸		64.66	66	29—46	59	73.9
结氨酸		21.86	50	37—54	64	50.4
胱氨酸		72.82	—	—	9	0.51
蛋氨酸		6.74	痕量	2—3	6	7.0
异白氨酸		53.41	33	29—40	50	27.1
白氨酸		81.10	87	44—62	104	50.4
酪氨酸		53.79	59	5—39	59	12.6
苯基丙氨酸		39.84	84	28—38	40	27.6
赖氨酸		67.91	61	55—57	51	32.7
组氨酸		21.61	27	7	23	4.6
精氨酸		61.34	79	53—69	66	21.6
羧基脯氨酸			—	—		痕量
备 註		B. Crenatus	B. Crenatus	B. Crenatus		B. Nublius

表 4 藤壶固态胶的 X 射线衍射结构[37]

文 石 (CaCO ₃)	方解石 d(A°)	固 态 胶 d(A°)	壳 d(A°)
4.212	3.860	3.890	3.883
3.396	3.035	3.056	3.043
3.273	2.845	2.857	2.857
2.871	2.495	2.502	2.504
2.730	2.285	2.292	2.271
2.700	2.095	2.098	2.098
2.481	1.927	1.933	1.933
2.429	1.913	1.922	1.920
2.372	1.875	1.881	1.882

(2) 胶的形成、分泌及固化

很多研究指出胶是由粘腺形成，通过胶导管分泌。Bernard 和 Lane[7] 指出金星幼虫胶是由位于复眼周围的一对粘腺分泌。但他在触角内未能找出导管及其开口，认为胶是从触角基部的孔挤出的。Walker[39] 发现金星幼虫(*B. Balanoides*) 粘腺是由 α 、 β 两种细胞组成。在粘腺中可以找到所有与胶相同的成分，认为胶是由粘腺产生而通过导管分泌。Walley[10] 指出金星幼虫(*B. Balanoides*) 的一对肾状粘腺位于壳内复眼后，每一粘腺是由长的分泌细胞的致密物质组成。各有汇集导管。各粘腺细胞长约为 70 微米，具有直径为 8—10 微米的核。细胞质具有充满分泌物质的液泡。导管与卵形囊相连，管壁外具有环状肌外层。囊逐渐变细而进入触角，在触角第三节附着圆盘附近分支而开口于外。随着生长，粘腺细胞逐渐变成圆柱状并移到背甲表皮之下。附着时，粘腺通过汇集导管把胶分泌到肌囊里，然后在神经控制下肌囊蠕动收缩，把胶排到触角中的导管。附着之后，肌囊破坏，在金星幼虫的汇集导管周围形成成虫粘腺。

Nott 和 Foster[11] 指出在胶的分泌过程中，在导管末端可能有阀门机理。

Walker[33] 研究了三种藤壶(*B. Balanoides*, *B. Hameri*, *E. Modestus*) 的粘腺，指出 *B. Balanoides* 和 *E. Modestus* 的粘腺中有汇集导管和合成分泌物导管。*B. Hameri* 就没有汇集导管，分泌方式也与前两种藤壶不同。三种藤壶粘腺的最后分泌物是蛋白质性质的物质。

在胶的固化机理方面，Walker[39] 指出粘腺中的 α 细胞内有蛋白质、酚、多酚氧化酶，在 β 细胞内物质只对蛋白质呈阳性反应，它们在细胞内由致密层分隔着的，但分泌后混合在一起。认为 β 细胞内的物质可能是形成胶的开始阶段所需要的。指出在粘腺中蛋白质、酚、多酚氧化酶的混合表明产生一种丹宁化过程。用电子显微镜观察发现金星幼虫胶不是均匀物质，而是分成区域的，由此认为丹宁化过程可能是从周围环境中需要一些物质。Cheung[40] 指出胶不在导管内聚合，他们所试验的各种抑制剂未能抑制胶的聚合，由此认为胶的聚合过程不需要海水中的任何催化剂。Saroyan[30] 指出了一种自由基反应机理的可能性。

Nigrell[34、35、41] 研究藤壶胶的生源，在藤壶的壳和组织中第一次发现芳基硫酸酯酶(A. Sase. A, B, C) 并指出 A Sase 的活性可能与外骨骼和胶固化机理过程相关的硫化粘多糖和酚基化合物的形成有关。

4. 藤壶附着机理

Saroyan[9] 等人认为金星幼虫触角弯曲就似乎完成了永久附着。直到这一阶段还没有发现

胶的分泌, 并且它们在触角圆盘上没有找到胶导管, 由此提出一种吸盘机械附着机理。这种机理就是金星幼虫首先用触角圆盘象吸杯一样附着于物体表面, 尔后分泌出胶来加固此机械附着。经计算指出一对吸盘的附着力达 $7.5 \text{ 克} \cdot \text{厘米}/\text{秒}^2$, 能耐 3.6 节水流冲击。

Nott 和 Foster[11], Nott[22] 用扫描电子显微镜观察触角圆盘的表面结构, 并用透射电子显微镜研究触角内部的微细结构后指出, 触角圆盘表面没有一个理想的吸杯形状。触角圆盘表面上布满绒毛, 膜突边缘也不连续, 因而难以形成起吸盘作用所需之密封。认为触角圆盘的作用象个粘垫。圆盘表面上的绒毛大大增加圆盘的表面积, 增加留在圆盘表面的粘液的体积, 因而增加与物体接触的面积。当幼虫要离开物体表面而圆盘脱离物体表面时, 可能借助于控制触角第三节运动的环状分布肌, 从圆盘边缘的任一边上拉, 从而圆盘就逐渐从物体表面剥离。

Crisp[42] 指出, 藤壶的生长方式使钙质壳不能坚固地附着于物体表面上, 因此只能通过圆盘用胶来附着。对金星幼虫在行走阶段的临时附着的吸盘附着机理的设想是不合理的, 可能是用胶来附着, 但此胶并不是形成化学联结, 而是一种高粘性物质的 Stefan 现象。

Mesich[43] 指出藤壶附着可分两种形式: 一是金星幼虫触角用胶来进行的初始附着, 二是由形成壳物质沉淀所进行的最后附着。由一种分泌细胞分泌出有机物质, 在 CaCO_3 结晶核的结晶化下马上钙化。主要是形成方解石结构, 其中有少量的磷酸钙。

二、粘膜的形成及作用

在浸海物体表面上首先附着的是细菌、硅藻、原生动物等微生物, 还有一些有机碎片, 它们形成粘膜。所形成的粘膜对船体的界面性能, 大型生物的附着, 防污漆的性能均有影响。

1. 粘膜的组成

早在 1923 年, Hilen 第一次对粘膜进行了微生物分析, 发现其主要成份是细菌, 还有酵母、真菌。接着 Angst 发现粘膜中存在藻类[44]。后来的许多研究表明粘膜以细菌、硅藻、原生动物为主[45—47]。这些微生物中最先附着的是细菌[45, 48, 49, 50], 而且生长也很快, 在浸海几分钟内 1 厘米平面积上附着数就达几百个[51]。细菌大约 1 小时就坚固附着, 不被流动海水冲刷下来[52]。继细菌之后附着的是硅藻, 大约 8—14 小时就出现[46, 47, 48], 然后是原生动物, 大约 2—8 天就出现[47, 48]。即使是细菌附着, 各种细菌附着也有先后之区别, 如, 杆状菌在 1 小时内出现, Coccoidal 和 Spiral 状菌在 6 小时之后出现, 有柄菌在 24 小时之后出现[50]。

粘膜中微生物的种类及其数量随地区而异。如, 在新西兰[47], 澳大利亚[46, 53], 英格兰[54]以硅藻为主, 在美国加利福尼亚则以细菌为主[45, 48, 49, 55, 56]。粘膜的组成还受光照的影响, 在北纬 40° ~南纬 40° 之间, 硅藻可以成年附着, 但接近两极区就变成以细菌附着为主[53]。附着不随季节而变化。粘膜中微生物之间也有相互作用。如细菌产生的维生素和其它物质会影响硅藻的群集, 而硅藻生成的氧和氨基酸又可促进细菌的附着[44]。发现原生动物的出现使细菌和硅藻附着数急剧下降, 约下降 10—100 倍[47]。粘膜的形成还受附着基质的影响。硅藻粘膜就形成在漆基不溶性涂料上, 而在漆基可溶性涂料上就不形成粘膜[53]。

据估计附着的海洋细菌约有 40—50 种, 大多数是直径为 1 微米的卵圆形球杆菌和长 1 微米的细长杆菌。包括需氧菌和厌氧菌两种, 几乎都是格兰氏阴性[57]。许多细菌是兼性厌氧菌, 可以生长在 +300 毫伏氧化还原电位或高于 pH8, 而且可以在电位低到 -15 毫伏的无游离氧的有机介质中繁殖[58]。细菌附着之后, 以二分裂方式繁殖, 其速度很快, 在 20°C 一个菌落中的细菌数目

每4小时增加1倍[59]。细菌产生一种多糖[66]，这有利于硅藻附着。Corpe[61]总结了细菌附着机理方面的各种观点。

可观察到的与污损有关的硅藻种类达200种，主要是羽纹硅藻[44]，其中又以月形藻属为主[53]。但有时也出现很多圆心硅藻，主要是直链藻属、盒形藻属和中鼓藻属，时间长了之后也有角毛藻属[44]。硅藻一般以间接分裂方式繁殖，普通也夜间进行，个别种类在环境好的条件下能每小时分裂1次。形成群落也快。色素体由叶绿素和藻黄素组成。经光合作用造脂肪、蛋白核以及淀粉等营养物质，成为海洋动物的直接和间接的饵料。

原生动物有 Vorticella 和 Ciliates[44]。

海藻中最多的是 Hormosira、Ectocarpus、Enteromorpha 和 Chaetomorpha[46]。

2. 粘膜对防污漆性能的影响

防污漆中毒料的渗出率受很多因素的影响[62,63]，粘膜也是其因素之一。

海洋细菌特别耐 Cu 和 Hg。约18%的海洋细菌能耐 51ppm Cu[44]。一些格兰氏阴性杆菌能耐 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 500 毫克/升[44]，一种格兰氏阴性杆菌耐 250ppm Cu 和 100ppm Hg[54]。硅藻也有同样的现象。因此，这些细菌和硅藻也能在防污漆表面上形成粘膜[53,54]。Wood 在 Sydney 码头进行试验，发现渗出率低的防污漆的防污作用，比渗出率高得多，还发现性能优良的防污漆的渗出率低于所用毒料的致死浓度。他认为这可能是由于细菌作用于漆基产生的 pH 和 Eh 值的变化的缘故。可见粘膜的影响确实是很大的。但粘膜究竟起什么作用，其作用多大，在这一方面尚无确定的看法。下面将介绍粘膜的几种作用形式。

化学作用：pH 值是影响氧化亚铜在氯缓冲溶液中的溶剂的因素，当 pH 为 3.48~7.08，在 20℃下，氢离子浓度增加 10%，其溶剂度就增加 100%[54]。pH 值变化 0.1（即从 8 变为 8.1），氧化亚铜渗出率就下降 25%[63]。粘膜中的细菌不断产生二氧化碳，二氧化碳又是控制 pH 值的主要因素之一，结果粘膜的 pH 值低于周围海水，其相差值有的高达 2.5 倍[64]。可见粘膜的出现有利于毒料渗出。发现海洋真菌也能降解涂料的某些组份，也有类似毒料渗出的作用[53]。

但是在硅藻粘膜中，二氧化碳白天因光合作用而减少，夜间因呼吸作用而增加，因此对毒料渗出率的化学影响就小。

另外，有人还指出毒料在粘膜中形成微溶性碳酸盐而使毒料失去毒性[65]，这就降低防污漆的防污效果。

物理作用：粘膜中聚集很多的毒料，有的高达饱和海水的 1000 倍，这样高的浓度就降低毒料的渗出速度，因而降低了防污效果[66]。观察表明，粘膜厚度达 2—30 微米，有的厚度高达 500 微米，这就对毒料的扩散起着阻挡层作用[53,62,63]，降低毒料的渗出。有人指出粘膜薄时促进防污效果，而变厚之后因物理阻碍而降低防污效果[52]。确实，有的试验表明刮去粘膜的试样上的毒料渗出率比没有刮去粘膜的试样快[66]。硅藻形成半径达 30 微米的群，硅藻直径大于 7.6 微米，因此增加船的摩擦阻力，由此而导致海水界面厚度的减小，这就增加毒料的渗出率[53,62]。

生物作用：许多微生物是以碳氢化合物作为能量的唯一来源。细菌、酵母、真菌等碳氢化合物的脂肪族、烯烃和有机化合物的环烷上附着，繁殖过程中把碳氢化合物氧化成 CO_2 和水，并伴有有机酸的生成。这种生物降解有助于毒料的渗出，增加防污效果。因此 Saroyan 等人[56]往防污漆中配入生物可降解物质（如，松香、石蜡）以调节毒料渗出率。

总的来说，增加渗出率对防污效果来说是有好处的，但反而缩短防污漆的使用寿命，降低渗出率可能延长使用寿命。因此有人[53]提出要避免粘膜的影响，就要在防污漆中尽可能不用生

物可降解物质。

3. 对大型生物附着的影响

许多研究认为粘膜的形成是海洋动物幼虫(如, 藤壶幼虫)附着之先决条件[44, 61]。实验表明先形成粘膜之样板上的附着生物数比空的样板上的多[57, 67, 68]。当用氯化汞或氯酸杀死粘膜之后, 对尔后的附着无促进作用[46]。另外, 在每星期一次刮去粘膜的样板上没有藤壶附着[44]。有的观察表明细菌粘膜使藤壶的附着量从 0.3 个/英寸² 增加到 5.4 个/英寸² [69]。看来粘膜确实对大型污损生物的附着有影响, 其影响因素可归纳如下:

(1) 机械作用: 海洋中的细菌和有机碎片吸附在浸海物体表面上, 而有机碎片往往是带着一些生物幼虫附着上去, 这就有利于大型污损生物的附着和生长[57]。

(2) 饵料源: 细菌不仅是无脊椎动物的食物来源[67, 68], 还加速甲壳类动物的附着和变态[70, 71]。动物的附着量与细菌的量成比例[67], 但过量了就有反作用[71]。硅藻也是大动物的饵料, 如, 在实验室里培养藤壶幼虫就用硅藻作为饵料。

(3) 使物体表面失去光泽, 减小反射: 大多数污损生物是附着时背光的, 因此使表面失去光泽, 减小反射有利于大生物附着[69]。但要增加附着就必须要有相当大的亮度变化。每一种生物都存在着临界光强度[44]。

(4) 加速 CaCO_3 沉淀: 藤壶等污损生物要形成 CaCO_3 壳[71], 而细菌则通过氨复合物形成沉淀 CaCO_3 [67], 加速 CaCO_3 形成[61]。

(5) 物理作用: 在防污涂料上形成厚的粘膜就阻止毒料的渗出[52], 这有助于大型生物的附着。

(6) 改变 pH 值: 在微小区域中的每一生物过程具有确定的 pH 值和 Eh 值。试验表明牡蛎在 PH 低于 8.5 时虽然成熟, 但不附着, 当 pH 值增加后又重新附着[44]。粘膜中的细菌不断地产生 CO_2 , 改变 pH 值, 这影响大生物的附着。

(7) 间接作用: 硫酸盐还原菌还原硫酸盐所产生的硫化物, 与船体作用形成锈斑, 当锈斑大小达到金星幼虫的触角圆盘的大小时, 就非常适合于幼虫附着。这就间接地加速了大型生物的附着[52]。

但是粘膜并不是大型污损生物附着的必要条件[48, 73]。还有些细菌种类阻碍着大型生物的附着, 这方面正在研究中[52]。

三、新的防污设想

在对污损生物进行研究的基础上人们设想过许多新的防污方法。如:

1. Lindner 等人[74]研究藤壶的附着机理, 提出如下的设想: 涂料中配入一种排斥金星幼虫的物质, 不让幼虫附着上去; 或配入一种干扰胶的固化的物质, 以防止胶的聚合或降低胶接强度; 改变表面状态, 以影响藤壶胶的接触角, 以防止胶在表面上的扩散或胶接; 配入一种刺激神经, 破坏吸盘附着机理, 以防止幼虫的永久附着。他们认为这样可以实现第 2 代防污漆。

2. Crisp[3]指出, 在金星幼虫附着过程中, 藤壶外壳或藤壶提取物吸附层是当与金星幼虫接触时才起刺激附着的作用, 这表明金星幼虫对物体表面的特殊蛋白质有识别能力, 这不需要从物体表面扩散出任何物质。这就暗示一种获取无需从表面渗出毒料的长效防污的可能性。

Nigrelli[41, 34]指出特殊酶的研究将会导出防污的生物学方法。他们发现 A Sase 活性可

能与胶的固化有关, A Sase 受硫化物、硫酸盐、磷酸盐的抑制, 但不受氰化物的抑制。指出这方面的研究可能会导致固化过程抑制剂的发展。还指出, 若是完全了解了藤壶的疾病和寄生物, 则将能用来作为生物学控制方法。在部分藤壶中发现最普遍的寄生物组是 Gregarina (Protozay, Sporozay), fungal parasites, the metacercarial, digenetic trematodes 的幼虫期和一种 parasitic isopod。这方面的重要性有待进一步研究。

Mortlock 在 1968 年指出 [75] 藤壶幼虫中可能存在神经激素机理, 光可能是此过程的重要促进者, 在这方面的研究将会给新防污方法以极有用的资料。

一些人指出控制钙质壳的形成来防污的设想。藤壶幼虫初始附着中 CaCO_3 的沉淀是简单而可逆的过程 [67]。Houghton [74] 也指出壳中 CaCO_3 的沉淀在饱和 CO_2 海水中的可逆性。据发现 [44] 牡蛎在 pH 低于 8.5 时, 虽然可以成熟, 但不能附着, 一旦 pH 值重新增加时, 又重新附着。可见控制 pH 值是防止 CaCO_3 沉淀的一种有效方法。pH 值的控制, 可用特殊涂料来做到, 也可培养选择酸性条件的细菌来做到。这方面的工作尚待进一步研究。

除此之外, 还有激素方面的研究得到了重视。如, 保幼激素, 蜕皮激素等均得到了研究 [76, 77]。

参 考 文 献

- [1] J. R. Saroyan (Naval Engineers) 80, (4). 593—604, 1968.
- [2] D. R. Houghton (Biodeterioration of Materials) 1, 55—61, 1968.
- [3] D. J. Crisp (AD 785898) 88—93, 1972.
- [4] 馬渡静夫 (海洋科学) 6, (1), 13—17, 1974.
- [5] Doochin, H. D. (Bull. mar. Sci. Gulf Caribb). 1, 15—39, 1951.
- [6] Crisp, D. J. (J. Exptl. Biol.) 38, 429—446, 1961.
- [7] Bernard, F. J. and Lane, C. E. (J. Morph.) 110, 19—39, 1962.
- [8] Walker (J. Exp. Mar. Biol. Ecol.) 12, (3), 305—314, 1973.
- [9] Saroyan, J. R. (2nd Int. Cong. on Marine Corr. and Fouling) 1968.
- [10] Walley L. J. (Phil. Trans. R. Soc.) B. 256. (897) 237—280, 1969.
- [11] Nott, J. A. and Foster, B. A. (Phil. Trans. R. Soc.) B. 256. 115—134, 1969.
- [12] Hillman, R. E. and Nace, P. F. (Adhesion in biological systems) 113—121, 1970.
- [13] Barnes, H. (Adhesion in Biol. Systems) 89—111 1970.
- [14] Knight-Jones, E. W. and Stevenson, J. P. (J. Marine Biol. Assoc. U. K.) 29, 281—297, 1950.
- [15] Knight-Jones, E. W. (Nature) London 174, 266, 1955.
- [16] Knight-Jones, E. W. and Crisp, D. J. (Nature) London 171, 1109—1110, 1953.
- [17] Knight-Jones, E. W. (J. exp. Biol.) 30, 584—598, 1953.
- [18] Crisp, D. J. and Meadows, P. S. (Proc. R. Soc.) B, 156, 500—520, 1962.
- [19] Crisp, D. J. and Meadows, P. S. (Proc. R. Soc.) B, 158, 364—387, 1963.
- [20] Gabbott, P. A. and Larman, V. N. (Proc. IV, European Mar. Biol. Symp) 143—153, 1971.
- [21] Larman, V. N. and Gabbott, P. A. (J. Mar. Biol. Ass. U. K.) 55, (1), 183—190, 1975.
- [22] Nott, J. A. (Mar. Biol.) 2, 248—251, 1969.
- [23] Nott, J. A. and Foster, B. A. (Phil. Trans. R. Soc.) B. 256, 115—134, 1969.
- [24] Hurley, A. C. (J. Anim. Ecol.) 42, (3), 599—609, 1973.
- [25] Gibson, P. H. and Nott, J. A. (Proc. IV, European Mar. Biol. Symp.) 1971, 227—236.
- [26] Smith, F. G. W. (Biol. Bull.) 90 51—70, 1946.
- [27] Crisp, D. J. and Barnes, H. (J. Exptl. Biol.) 32, 569—590, 1955.
- [28] Crisp, D. J. (J. Anim. Ecol.) 26, 179—196, 1957.
- [29] Saroyan (Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop.) 9 (2). 122—133, 1970.

- [30] Cook, M. (Adhesion in Biol. Systems) 139—150, 1970.
- [31] Walker, (J. Mar. Biol. Ass. U. K.) 52, 429—435, 1970.
- [32] Walker, (Mar. Biol.) 7, 239—248, 1970.
- [33] Nigrelli, R. F. AD 706320, 1969.
- [34] Nigrelli, R. F. AD 706321, 1970.
- [35] Lacombe. DAD 694315, 1968.
- [36] Otnesse, J. S. (Comp. Biochem. Physiol.) B. 43, 445—449, 1972.
- [37] Alan, F. (Microchemical, J.) 18, 354—357, 1973.
- [38] Walker, G. (Mar. Biol.) 9, 205—212, 1971.
- [39] Cheung, P. J. AD/A 012595, 1974.
- [40] Nigrelli, R. F. AD 725508 1971.
- [41] Crisp, D. J. AD 785898, 691—709,
- [42] Mesich, F. G. AD 771399, 1973.
- [43] Wood, E. J. F. (Microbiol. of Ocean and Estuarres) 236—225, 1967.
- [44] Zobell, C. E. (Biol. Bull.) 77, 302—303, 1939.
- [45] Wood, E. J. F. (Austr. J. Mar. Freshw. Res.) 1, 85—91, 1950.
- [46] Skerman, T. M. (N. Z. J. Sci. Technol. Secion B) 38, 44—57, 1956.
- [47] O'Neill, T. B. and G. L. Wileox (Pac. Sci.) 25, 1—12, 1971.
- [48] Marshall, K. C. R. Stout, R. Mitchell (J. Gen. Microbiol.) 68 337—348, 1971.
- [49] Mar shall, K. C., R. Stout, R. Mitchell. (Can. J. Microbiol.) 17, 1413—1416, 1971.
- [50] Woods Hole Oceanographic Inst, 42, 1952.
- [51] Horbund, H. M. (Ocean Engineering) 1, 631—634, 1970.
- [52] Bishop, J. H. (j. O. C. C. A.) 57, (1), 30—36, 1974.
- [53] Hendey, N. I. (J. Roy. Microsc. Soc.) 71, 1—86, 1951.
- [54] Aleem, A. A. (Hydrobiologia) 11, 40—58, 1957.
- [55] Miller J., J. C. Rapean W. F. Whedon (Biol. Bull.) 94, 143—157, 1948.
- [56] Zobell, C. E. and E. C. Allen (J. Bact.) 29, 239—251, 1935.
- [57] Wood, E. J. F. (Austr. J. Mar. Freshw. Res.) 4, 160—200, 1953.
- [58] Woods Hols Occangraphic Inst, 119, 1952.
- [59] Corpe, W. A. (Development in Ind. Microbiol.) 11, 402—412, 1970.
- [60] Corp, W. A. (Adhesion in Biol. Systems) 73—87, 1970.
- [61] Marson, F. (J. Appl. Chem.) 19, 93—99, 1969.
- [62] Dick, R. J. (P. V. P.) 60, (11), 35—40, 1970.
- [63] Yongue, W. H. and John, Cairns (Hydrobiologia) 38, 453—461, 1971.
- [64] Saroyan (J. Paint. Technol.) 41, (531), 285—303, 1969.
- [65] Woods Hole Oceangr, Inst. 259—361. 1952.
- [66] Mifchell, R. and L. Young AD 747637. 1972.
- [67] Meadows, P. S. and Williams, G. B. (Nature) 198, 610—611, 1963.
- [68] Zobell, C. E. and C. B. Felthan (J. Mar. Res.) 1, 312—328, 1938.
- [69] Meadows, P. S. (J. Exp. Biol.) 41, 499—511, 1964.
- [70] Wilson, D. P. (J. Mar Biol. Assoe. U. K.) 34, 631—543. 1955.
- [71] Bookhout, C. G. (Biol. Bull.) 112, 314—324, 1957.
- [72] Crisp, D. J. and J. S. Ryland (Nature) 185, 119 1960.
- [73] Lindner, E. AD 856070, 1969.
- [74] Houghton, D. R. (Biodeterioration of materials) 1, 55—61, 1968.
- [75] Edgardo, D. Gomez (Science) 179, 813—814, 1973.
- [76] Paul, J. Cheung (J. exp. mar. Biol. Ecol.) 15, 223—223. 1974.
- [77] Cheung, P. J., Nigrelli, R. f. (Zoologica) (N. Y.) 57 (2) 79—95, 1972.

吴国窗编写

海洋的污损及其防除

P. H. 本森, D. L. 布林宁, D. W. 佩林

译自(美)《海洋技术》1973, 10, №1, 30—37

摘 要

本文就海洋污损及其环境影响因子从定性和定量两方面做了讨论。对目前的防污技术水平及其所依据之化学和生物学理论做了考察。比较目前所用各种防污方法的有效性, 并指出了未来对防污的要求, 目前的主要防污方法以及进一步研究之新途径。

前 言

人类自从利用海洋以来, 就一直为海生物污损问题烦恼。公元前五世纪开始就有关于船底处理的记载。防污方法的历史发展可分三个阶段: 1) 发现铜包复船壳能有效防污。2) 金属船壳的出现因电化学腐蚀而使金属铜防污失效。3) 防污漆的发展——至今仍为主要防污方法[1]。

污损之有害作用已众所周知。其有害范围涉及很广, 如, 从增加船体阻力、减少流过管道的水量或堵塞管口, 到大大增加重量, 并直接干扰运动部件。还遇到过干扰声传播[2], 干扰环境传感器, 破坏涂层, 形成浓差电池引起的加速腐蚀等特殊问题[3]。

近四十年来, 曾提出过许多防污方法。例如, 使用同位素的毒料渗出涂料, 电气系统、超声波和定期水下清理等。但仍未找到显著长效的防污方法, 而含毒料的涂料仍为主要防污方法。防污漆的最大寿命为3~5年, 但其在船上的实际使用寿命一般为1~1.5年[64]。

一、影响污损的因素

海洋污损在所有的海洋以及海洋的全深度里都普遍存在, 但是其种类和数量随物理因素和生物学因素而大有不同(见图1)。一般认为, 在近岸区, 因其有大量的污损生物自然种群而使污损强度增大, 或其进入浅水区时, 因其温度较高及生物繁殖率增高也使污损强度增大。

但是, 污损并不限于沿海浅水区, 而且污损群并不一定直接由附近的自然种群产生。资料表明, 任何深度的海底结构物(如深海电缆)均发生污损[3]。最近的生物破坏研究表明, 在6,800英尺深度里经一年浸渍后有轻微的污损生物[4,5]。在这个深度里, 霉菌、细菌和软体动物钻孔生物所引起的生物降解似乎是与海底接触的结构物的主要问题, 但悬挂于2,000英尺深度以下的物体表面几乎没有污损。进一步的研究不可能支持这一些观察结果, 而且生物降解和污损之间的界线往往是不清楚的。

1. 生物学现象(最重要的是有浮游幼虫期的固着生物);

2. 固着生物——给定时间和地区的生物群特性 = 污损生物群落;

3. 污损生物群落内的相互关系。

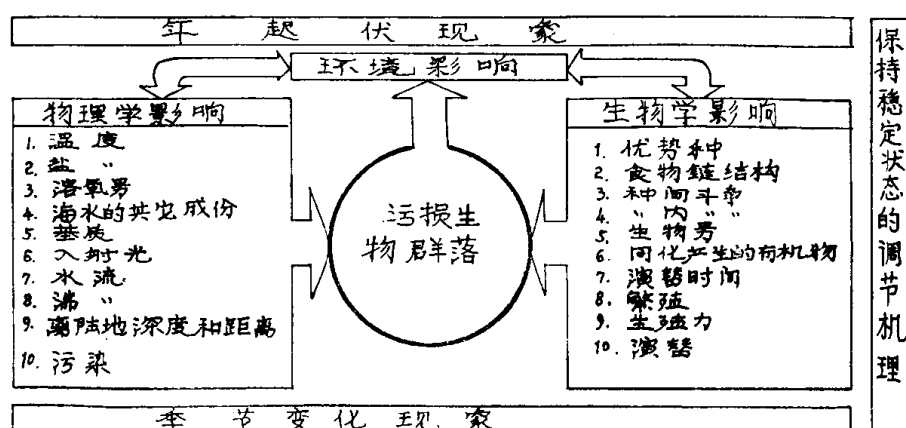


图 1 什么叫污损

自由漂浮于 240 英尺和 940 英尺深的浮标上附着大量的水螅，而且其 1000 英尺长的整条锚链皆由大量的海葵复盖着 [6]。一般抛锚的潜艇，浮在水深 100 英寻 (600 尺) 海区的 200 英尺处，其上有发育很好的污损生物群落，但与同样浸渍时间的浅水处的仪器相比，密度为低。观察者根据物理位置、深度及船体防污措施认为此污损程度是大的 [7]。如果在开阔海洋上污损达到这种程度，那可以设想，大洋底部污损将会更加严重，在那里好象会遇到更为特殊的污损生物。因此虽然污损程度随海水深度而下降，但仍然存在着问题，尤其在将来的深水设备上更是如此。

一般认为热带的污损比温带更严重，因污损生物在热带整年繁殖而且种类繁多。对这一概念曾有过怀疑 [6]，因为有些证据表明热带西太平洋的污损程度与世界上其它地方相比通常是居中或轻微。然而，在研究者之间有一个确定的一致看法，即在不同地理位置之间污损生物种类和污损程度有很大的不同。这些广度的、地区性的区别受地理位置、温度和水团运动的影响。

一个地区所特有的问题可能在别的地区永远不会遇到。例如：苏联漫长的冰冻季节，冰块会损坏船底漆、同时去除掉前一年所附着的污损生物 [9]。还有一致的看法，就是特定的污损生物群附着在一定的浸渍结构上，而类似的结构会被不同种类的生物所污损，例如某一结构从封闭的近海水域移到外海或潜入海洋深处时。抛锚结构物比船只更容易污损。以前的研究指出船舶的污损几乎都在港口内发生；受污损船只的航行越是频繁越有规律，其上所附着的污损生物的种类和数量越是少 [10]。

但是，大油船在港口停留时间很短，也能被海藻严重污损。

既然污损是一种生物学现象，那么要发展一种有效防污系统就必须具备其中所包含的生物因素的基础知识。实际上，所有主要类型的海生物都在污损中出现。据报导，在 17 门无脊椎动物中就有 13 门约 2,000 余种以上。污损群落中有许多浮游动物，但他们不太重要，因为他们是由主要污损生物提供保护而被吸引来的。最主要的是那些直接附着于物体表面上的植物和动物。这些固着生物最讨厌的是他们会分泌一种钙质壳或外骨骼，牢固地粘着于物体表面，能强烈抵抗水流，并且很难取下。

固着生物有一个浮游幼虫阶段，并借此方式而散布于海洋环境。它们大多是滤食性的，依靠水流供应新鲜食物、除去代谢废物，补充氧气；因此，轻微的流速 (即潮汐的涨落) 就能增进污损的生长。

每一种污损生物都适于在一定的环境参数内生存，而这种环境参数又使它的分布限制在一定

的地理范围内。有些生物能耐很大的环境变化和(或)很快驯化,故分布得很广。它们往往通过船只的航行传遍世界各地。例如,苔藓虫 *Watersipora arcuata*, 以前知道是分布在澳大利亚、新西兰和墨西哥西部,但近来(大概是从 1963 年开始)在西加利福尼亚南部出现,而且在圣地亚哥湾已成立主要污损生物[11]。

污损生物群一般由一种或二种生物占优势叫做群落。群落的组成是由所出现的不同生物之间的复杂相互作用和对栖息处的相互关系所决定。优势种类依赖于不同的地理位置、季节、基质种类和生物因素,它们影响着周围环境,从而影响到别的海洋生物的生长及附着。一种附着生物可以促进在同一群落中的其他生物的附着与生长,或者生长缓慢的种类可以通过生物排斥作用挤出较老的生物。因此,群落的成分随时间产生变化,由此而产生的暂时次序称作生物演替。对海洋环境中的生物演替曾有过很多赞成和反对的论点[12]。但是,有迹象表明,在一个裸露表面上的污损群落的发育过程中存在着一种迅速演替阶段,它可以导致表征该特定基体和地理位置的高峰或平衡状态[13]。浮标上的污损群落往往比船舶上的更成熟,在相对一致的环境下似乎接近生物学稳定状态(最高峰)。他们一般以种类较多为特点,因此是个较复杂的群落结构。

对污损群落的形成所进行的许多研究表明,由细菌、硅藻、有机物和无机物所组成的初始粘膜是演替的重要的第一阶段[14, 15]。虽然粘膜的出现有利于藤壶幼虫[16、17]、水螅幼虫[18]和海蛸幼虫[18]的附着,但发现这并不是必要条件,在某些情况下粘膜可以改变特种生物的附着[20]。无机的和有机的碎片对粘膜形成的作用被忽略了[12]。据表明粘膜使船的阻力每天增加 0.5%,但是拖板试验表明,粘膜脱落以后阻力降低到原来清洁表面的百分之几的范围内[3]。有人曾指出粘膜在物体表面上形成一种浓缩的毒料膜(在饱和海水溶液中 1000 倍),这可以改变防污涂料的作用。粘膜可以因为在海水与物体界面上增加毒性而有助于防污,也可以因为与毒料结合成无毒物质或形成阻止毒料渗出的保护层而抑制防污作用。无论如何,如果粘膜是污损群落发展的先决必要条件,则抑制其形成将是有效防污系统的关键。但是,在自然环境中试验粘膜的重要性实际上是不可能的。

污损生物出现的次序主要受季节温度波动的影响,因为温度影响着繁殖周期、以后的幼虫释放以及海洋生物的生长。污损群落的组成生长和污损程度随季节的变化在温度变化大的地域较为显著[21],而且这些季节变化干预并支配着生物的演替。根据温度的季节变化对繁殖的影响,可列出幼虫附着的四种基本类型[3]。

第一种类型:因温度随季节变化小而不影响繁殖,所以整年有附着(出现在热带)。

第二种类型:一个季节的附着多于其它季节,但整年皆适于繁殖(亚热带)。

第三种类型:附着仅限于某一固定季节。温度随季节的变化显著,只在温度适于产卵的季节里繁殖(温带)。

第四种类型:一年中只在两个相隔的季节里附着。只在两个季节中适宜产卵和附着,通常是春季和秋季(温带)。

这四种类型变化很大,而且往往不象所指出的那样明显。这就是说,第三种类型和第四种类型可以在同样的温带群落中产生;而且有些温带海洋生物是成年繁殖,而少数热带生物却只在一个季节里繁殖。

除温度以外,还有许多因素也影响着季节繁殖情况。光的强度影响光合作用的速度,所以直接影响着海洋植物。植物(首先是硅藻)构成海洋食物网,是滤食性生物的营养物。许多成熟藤壶在他们不得彻底滋养之前是不会放出可使其发育着的胚胎得以释放而成为独立生存的幼虫阶段所

需之“孵化素”的[22]、盐度、混浊度和其它环境参数也影响着繁殖周期。在一个固定的地区里，每一个季节中所出现的物种是不变的。但其相对量可大大不一样。加利福尼亚海岸在隆冬和春季以水螅为多。但到了温暖季节却以藤壶占优势[3]。在气候相似的不同地区之间，这些特征生物在年内的变化次序是相似的。由于年温度变化的不同，北美东海岸污损季节比同纬度的西海岸短得多。对繁殖期的抑制作用一般随纬度的增高而增进。

与其它的自然生物种群一样，海洋污损生物的量也有长周期涨落，主要为生物现象而不是物理学的原因。因此，一个特定种类的缺乏可以促进其它种类数量的增减。

生长和其它生物现象也对污损量有很大影响。污损量与水中存在的幼虫数量、它们的附着、生长速度、繁殖能力与生物增大体积有关。体积增大随种类不同而不同，而且受环境参数的影响。个体生物的生长速度一般随着躯体的增大而变慢。这个现象和对空间、食物的竞争以及其它的控制因素限制了污损体积的增长。污损不局限于一层，往往是后来的生物附着于先有生物之上，堆积成不一定的厚度。

从上述讨论中可以看出，污损这个概念有相当大的可变性，只能极笼统地加以理解。污损不是很确定的实体，它根据不同的地理位置及地区环境状态而在不断变化。地理位置、温度以及水流对地区性差别有很大的影响，而且这些差别将进一步由季节变化和局部条件（如盐度，污染和暴晒等），而变得更为复杂化。至今未曾对所有污损生物进行过真正完整的污损研究，而且因工作量极大，以后也未必去做。

近来，汇编了污损程度的地图，其中列出南北美洲、冰岛和南格陵兰(岛)海岸的生物污损数据。考虑了十组主要污损生物，并以足够数据予示出污损程度[24]。

二、防污方法

在我们能预示出污损的程度、其生物种类及既定污损条件下最有效之控制方法之前，在组成污损群落的单个海生物及群落内互相间的作用方面仍需进行大量的关键性研究。按道理一种防污方法应具有极为普遍的作用。如前所述，目前唯一有效之防污方法是在附着生物生长或永久附着前把它们击退或杀死的毒性涂料。大多数情况下重点放在剧烈毒性式直接杀死。

众所周知，典型的污损生物对各种毒料有着极大的敏感范围。此范围一般与所涉及的生物的复杂程度相关。细菌的抗毒性最强，大多数海藻抗毒性高，藤壶和苔藓虫类一般居中，被囊类生物——其中最高等的生物——抗毒性很差。在主要生物内部，其敏感范围相当广（如水螅的敏感范围从高到低），而亲缘很近的物种之间的敏感性也可有很大的差别。在同一种生物中，敏感性也与其发育阶段有关。污损由幼虫附着开始，一般认为这时对毒料最敏感。这样，一种防污涂料只需影响最耐毒性之幼虫的附着。目前正试图采用纯粹培养的幼虫对生物检定方法进行标准化[25]。

必须针对特定海区进行防污漆设计的这一概念是无根据的，因为一种在极严重污损条件下有效的防污漆必然在任何地方暴露都有效[3]。在试验过的防污方法中，目前最普通而经济的方法是在要加以保护的表面上把毒物放入海水中。把毒物放入海水中的常用方法是把毒物配入油漆中。表1列出了通用的防污漆及毒料。

油漆层由含有一种可溶性毒料的漆基组成，毒料通过扩散从漆基渗出或整个涂料逐渐侵蚀而暴露出新的毒性表面。研究得最多而普遍加以使用的毒料是重金属盐类，主要是Cu、Hg、Zn