

施氯防除贻贝堵塞管道的研究*

娄康后 徐尔栋 苏娟娟

(中国科学院海洋研究所)

世界沿海各国的一些工厂多以海水作为冷却水,其输水管道往往由于贻贝的附着生长和脱落而造成堵塞。在我国,这种情况随着贻贝养殖事业的不断发展,管道堵塞的威胁也日趋严重,因此,迫切需要研究其有效合理的防除方法。

目前国际上广泛应用的防除办法是施氯,即在贻贝可能进入管道的季节,长期连续施氯,维持剩余氯在 0.5—1 ppm 范围^[3,6,10,11]。在英国大致从 4 月施到 11 月^[3]。

但是,近年来有文献报道,认为长期广泛地施氯,将对沿岸水域初级生产力产生严重的影响^[2,4,9],对鱼虾等动物幼体及其资源也有损害^[5,7,8]。另外,水中的氯能与有机物生成有机氯化物,有些有毒,有些能致癌。因此,为长远计,应该通过对贻贝本身生态学方面的了解来寻找更好的防除方法。目前,则应采取措施将用氯量合理地降到最低而又能使它最大限度地发挥作用。

本试验针对国际上普遍采用的 0.5—1.0 ppm 施氯范围,在室内观测它对人工培养而即将变态的贻贝 (*Mytilus edulis* L.) 后期面盘幼虫和壳长 1.0—2.5 厘米的稚贝的影响。前者是开始具有附着变态成长的可能性,后者则因如此大小的贻贝即使脱落,也能通过冷凝器的铜管,不致于造成堵塞。通过试验,希望能得到一种用氯量小,又能保证防除效果的实用方案。

一、流动海水施氯试验装置

我们以 6 伏电瓶作电源,用铂片 (5 × 5 毫米,厚 0.1 毫米) 作阳极,钛片 (30 × 90 毫米,厚 0.1 毫米) 作阴极来电解饱和食盐水 (NaCl 310 克/升)。作为阳极的铂片密封于一玻璃管的顶端,玻璃管从倒扣的塑料杯底部插入塑料杯内,其中产生的氯气由恒压流动海水抽气泵将氯气混入海水中,海水来自水位保持不变的高位水箱,水流稳定。加氯的海水储存于另一水位恒定的水箱中,一方面保持施氯浓度稳定在 1 ppm,另一方面又作为稀释成 0.5 ppm 含氯海水之用。余氯浓度用碘量法测定。一般控制可变电阻箱来保持电流稳定不变 (我们使用的电流约为 170 毫安),海水中含氯浓度也是稳定的。每天以适量浓盐酸中和电解液底层的氢氧化钠,便可连续产生氯。

流动海水施氯试验装置见图 1。

二、幼虫试验

幼虫材料 系即将变态附着的室内人工培养的后期面盘幼虫¹⁾,壳长 240—265 微

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 606 号。

本刊编辑部收到稿件日期: 1979 年 7 月 13 日。

1) 实验用幼虫系我所贝类实验生态组供给,谨致谢意。

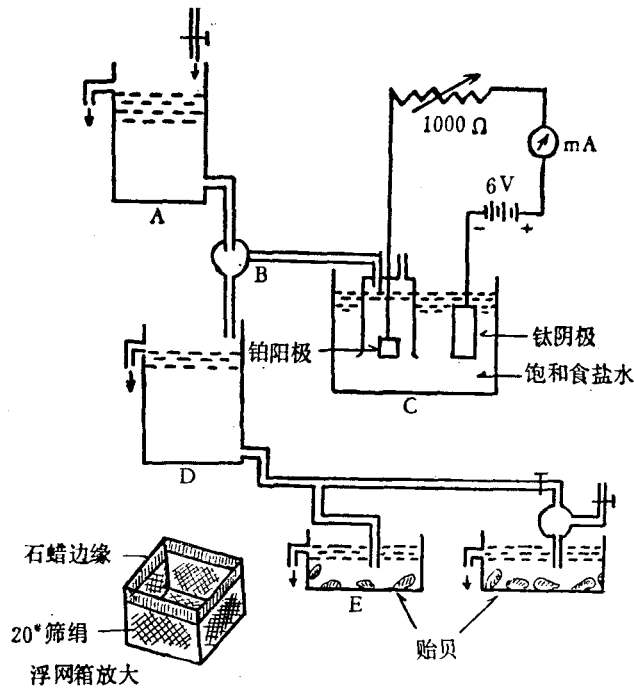


图1 流动海水施氯试验装置示意图

A. 高位恒压水箱; D. 含氯海水恒压储存箱;
 B. 玻璃抽气水泵; E. 玻璃实验缸。
 C. 电解槽;

表1 后期盘幼虫对 1ppm 施氯浓度与不同处理时间的反应

(每网箱内幼虫个数: 30个 温度: 18.5—21°C)

| 幼虫反应情况 检查间隔时间 | 处理时间 | 2 小时 | 4 小时 | 8 小时 | 12 小时 | 16 小时 | 对照 |
|------------------|------|-----------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 0 | | 全部闭壳, 内部不断颤动 | 全部闭壳, 内部间断颤动 | 全部闭壳, 内部动不明显 | 全部闭壳, 内部动不明显, 少数缓慢 | 全部闭壳, 内部颤动, 有些不大动 | 正常游动 |
| 4 小时 | | 1个游动, 其他闭壳, 内部不断颤动 | 全部闭壳, 内部微动 | 全部闭壳, 内部时动时停 | 全部闭壳, 内部颤动 | 全部闭壳, 内部有的颤动, 有的不动 | 1个附着, 其他游动 |
| 24 小时 | | 4个游动, 1个附着, 其他闭壳内部动 | 1个游动, 1个爬行, 其他闭壳内部颤动 | 全部闭壳, 内部动 | 1个伸出足爬行, 其他闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部颤动 | 2个附着, 16个游动, 其他开壳活动 |
| 二天 | | 3个游动, 3个附着, 其他闭壳内部动 | 1个游动, 1个附着, 1个爬行, 其他闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部动 | 13个游动, 3个附着, 其他开小口或闭壳 |
| 三天 | | 2个游动, 5个闭壳, 内部动, 其他附着 | 1个游动, 5个附着, 其他闭壳, 内部动 | 1个附着, 其他闭壳, 内部动 | 同上 | 同上 | 8个游动, 其他附着 |
| 五天 | | 4个闭壳, 内部动, 其余附着 | 12个附着, 7个闭壳, 内部动, 其余未找到 | 21个附着, 其他闭壳, 内部动 | 10个附着, 其他闭壳, 内部动 | 7个附着, 其他闭壳, 内部动 | 1个游动, 6个爬行, 其他附着 |

表 2 后期面盘幼虫对 0.5 ppm 施氯浓度与不同处理时间的反应

(每网箱内幼虫个数: 30 个 温度: 18.5—21°C)

| 幼虫 反应 情况 检查 间隔 时间 | 处理 时间 | | | | | | | 对 照 |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------|-----|
| | 2 小时 | 4 小时 | 8 小时 | 12 小时 | 16 小时 | 24 小时 | | |
| 0 | 无游动者, 23 个开壳, 伸出面盘活动或爬行, 7 个闭壳, 内部动 | 无游动者, 1 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 无游动者, 5 个附着, 其他闭壳, 内部跳动较明显 | 全部闭壳, 内部动, 少数缓慢, 多数不明显 | 全部闭壳, 内部颤动, 有的不动 | 2 个附着, 其他闭壳, 内部活动显著 | 正常游动 | |
| 4 小时 | 4 个游动, 13 个附着, 其余爬行或缓慢移动 | 8 个游动, 3 个爬行, 5 个附着, 其他闭壳, 有时开壳伸出足 | 3 个游动, 2 个爬行, 3 个附着, 其他闭壳, 内部颤动 | 7 个附着, 1 个爬行, 其他闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部颤动 | 全部闭壳, 内部动 | 2 个附着, 其他游动 | |
| 24 小时 | 8 个游动, 9 个附着, 其他开壳活动 | 9 个游动, 8 个附着, 其他时而闭壳时而张开壳 | 8 个游动, 3 个附着, 其他闭壳, 内部颤动 | 5 个附着, 4 个伸出面盘, 其他闭壳, 内部动 | 2 个游动, 5 个附着, 3 个爬行, 其他闭壳, 内部动 | 全部闭壳, 内部动 | 1 个附着, 14 个游动, 2 个爬行, 其他张壳活动 | |
| 二 天 | 8 个游动, 5 个附着, 其他开壳活动 | 11 个游动, 6 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 4 个游动, 5 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 2 个游动, 5 个附着, 1 个爬行, 其他闭壳, 内部动 | 3 个游动, 8 个附着, 5 个爬行, 其他闭壳, 内部动 | 1 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 6 个附着, 24 个游动 | |
| 三 天 | 6 个游动, 5 个附着, 其他开壳活动 | 12 个游动, 6 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 3 个游动, 8 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 2 个游动, 7 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 2 个游动, 9 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 2 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 11 个游动, 5 个闭壳, 其余附着 | |
| 五 天 | 2 个游动, 3 个闭壳, 内部动, 其他附着 | 6 个游动, 4 个闭壳, 内部动, 其他附着 | 2 个游动, 4 个闭壳, 内部动, 其他附着 | 1 个游动, 10 个闭壳, 内部动, 其他附着 | 2 个游动, 1 个爬行, 3 个闭壳, 内部动, 其他附着 | 7 个附着, 其他闭壳, 内部动 | 6 个游动, 2 个爬行, 其他附着 | |

米, 多数在 250 微米左右。

试验方法 用 20# 筛绢 (网孔 76 微米) 制成能漂浮的方形网箱 (1.5 厘米 × 1.5 厘米, 高 1 厘米, 见图 1), 其上端边缘在融化的石蜡中浸沾, 凝固成有石蜡边缘的网箱, 这样的网箱能漂浮在海水中, 放入网箱内的幼虫不会被水流带走。将一定数量 (30 个左右) 的幼虫移入网箱内, 分别漂浮在含余氯浓度为 1 ppm 和 0.5 ppm 的流动海水玻璃缸内, 定期将网箱取出, 检查幼虫活动、附着、死亡等情况。

我们将上述网箱与另一较大网箱 (20# 筛绢, 3 × 3 厘米, 高 1.5 厘米) 和滴入氯水的网箱 (用内径 2 毫米的聚乙烯管, 以每分钟 40 滴的速度将同浓度的氯水滴入) 进行对比, 结果是在试验期间二者均无差异, 证明试验所用网箱内外水流交换是良好的。

经过不同浓度、不同时间的施氯处理后, 将网箱再放入不施氯的流动海水玻璃缸中,

定时检查幼虫的情况。

试验结果 现将观察的结果综合列入表 1 和表 2。

从表 1 和表 2 的结果可看出：

1. 贻贝后期面盘幼虫在海水中余氯浓度为 1 ppm, 长达 16 小时; 0.5 ppm, 长达 24 小时均不能致死。

2. 贻贝后期面盘幼虫在海水中余氯浓度为 1 ppm; 经 2—16 小时不同处理时间, 全部立即闭壳, 无附壁; 0.5 ppm, 经 2—24 小时不同处理时间, 有少量附壁。

3. 在正常海水中幼虫附壁后有时脱落、游动或爬行, 附壁后稍受吸管水流冲击即脱落。

三、稚贝试验

试验用稚贝采自青岛大港, 壳长 1—2.5 厘米。

试验时将一定数量(每次放入 20—60 个不等)稚贝分别放入玻璃缸内(长 15 厘米, 宽 10 厘米, 高 16 厘米), 加海水让其重新在玻璃缸壁上附着牢固, 再分别通入含余氯浓度为 1 ppm, 0.5 ppm 及 0 ppm 的流动海水(每小时 60 升流量), 观察稚贝脱落、死亡的时间。为证明温度与施氯致死及施氯脱落的关系, 我们还进行了不同温度下的对比试验。

由于我们的海水供应很不正常, 使试验受到一定的影响。现将自然水温施氯试验获得的两次全致死时间的结果以及控制不同温度、施氯致死及施氯脱落的对比试验结果分别列图表示于下(见图 2—4)。

从图 2—4 可以看出：

1. 在温度 28°C 左右, 海水中余氯浓度 1 ppm 时, 只需 8—17 天即可完全使稚贝致死。
2. 在同一情况下, 稚贝分散脱落的时间则更短, 约 2—4 天。

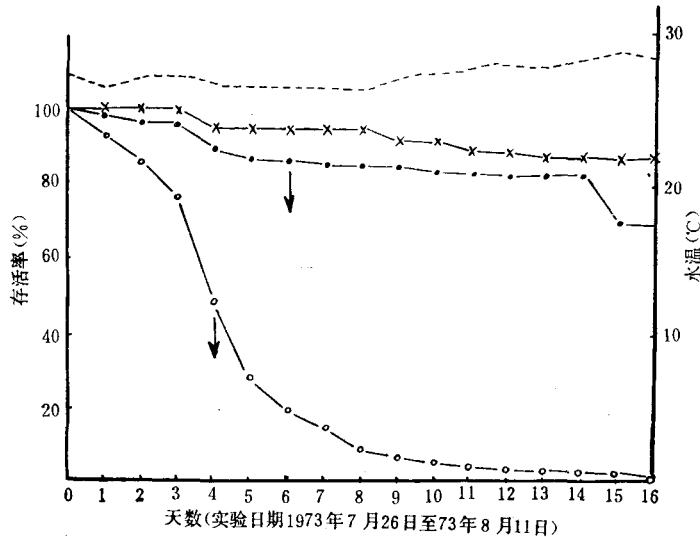


图 2 稚贝对不同施氯浓度的反应

- 余氯 1 ppm
- 余氯 0.5 ppm
- ×—×—×— 余氯 0 ppm (对照)
- — — — — 水温曲线
- ↓ 全部脱落

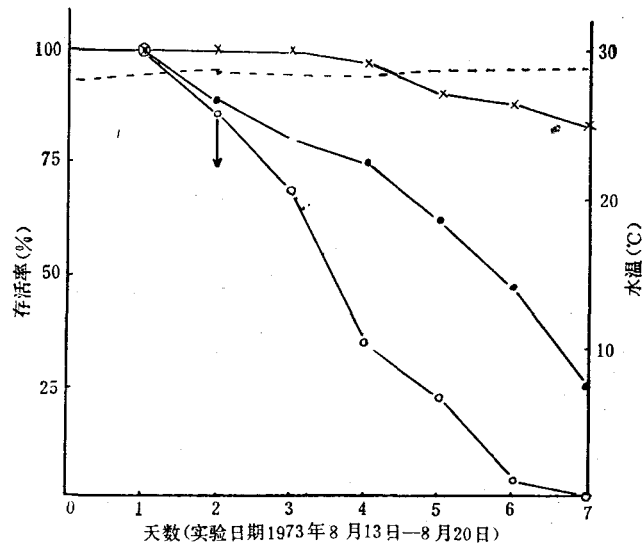


图3 稚贝对不同施氯浓度的反应

- 余氯 1 ppm
- 余氯 0.5 ppm
- ×—×—×— 余氯 0 ppm (对照)
- — — 水温曲线
- ↓ 全部脱落

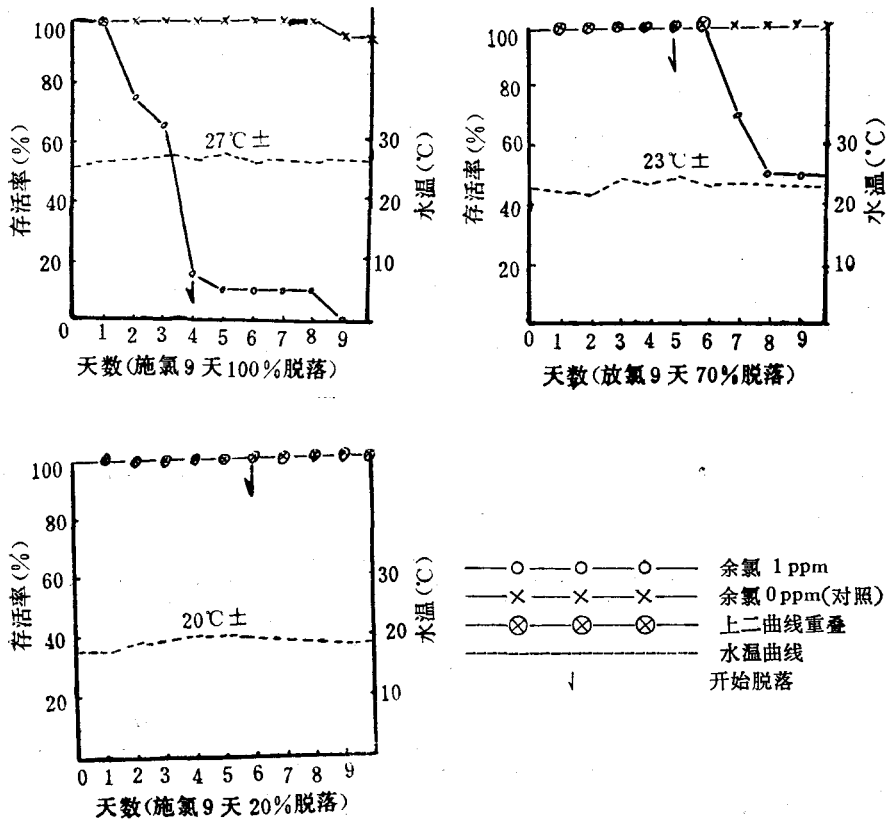


图4 余氯 1 ppm 在不同水温时对稚贝的影响

3. 在水温 28℃ 左右的正常海水中, 稚贝的死亡及脱落远不如上述施氯情况。
4. 从控制不同温度试验看来, 高水温施氯大大缩短了贻贝的脱落与死亡时间。

四、讨论和建议

在幼虫试验中, 1 ppm 的氯在 16 小时内并不能把贻贝幼虫杀死。以 1 米/秒的流速计算, 一条 200—300 米长的管道, 水流经过的时间仅 3—5 分钟, 这样短的时间幼虫不可能被杀死, 因此氯的作用可能是防止它附着。由于 1 ppm 剩余氯可立即使面盘幼虫闭壳不能固着, 而余氯为 0.5 ppm 时则不能使其闭壳不活动。如果把处理后的幼虫放回正常海水中去, 2 小时后即恢复, 有少许可以附着。因此, 如果着眼于对幼虫的作用, 那么余氯浓度不能低于 1 ppm, 而且不能间隙施氯, 必须在整个繁殖季节长期连续处理。

在稚贝试验中, 余氯在 1 ppm, 水温在 28℃ 左右, 8—17 天可使稚贝全部死亡; 而仅需 2—4 天, 即可使其全部脱落; 一般超过 1 米/秒的管道流速的冲力即可把它们冲出。这就为短期连续施氯创造了条件, 即让贻贝长到一定大小, 考虑到管道细小部分的直径, 只要被冲出的贻贝不致堵塞即可, 这就可以大大减少用氯量。

从贻贝对不同施氯温度的反应看来, 高温施氯比低温施氯的效果好得多, 可以大大缩短其脱落和死亡的时间。因此, 利用自然界水温高的季节施氯, 即可大大节省时间和用氯量。

我们在 1973 年 8 月 25 日至 9 月 20 日 (水温变化由 28.5℃ 逐渐降至 24℃) 和 10 月 19 日至 12 月 4 日 (水温变化由 19℃ 逐渐降至 7℃) 以及 74 年 10 月 16 日至 11 月 20 日 (水温变化由 19℃ 逐渐降至 10.5℃) 曾分别进行了三次自然水温维持余氯 1 ppm 的试验, 其结果第一次 27 天内 50 个稚贝中仍有 5 个活的, 其余均死亡; 第二次 47 天内 20 个稚贝均未死, 而且最后还不时开壳活动; 第三次 36 天内 20 个稚贝中有 4 个死亡; 对照均正常, 无显著变化。这也说明随着温度的降低, 也降低了施氯效果。

综合以上情况, 我们认为长期连续施氯, 维持余氯 1 ppm 是不适宜的。因为贻贝的产卵季节长, 变态以后的稚贝阶段还可能脱落而流入管内, 施氯的时间几乎是全年的大部分, 既不经济, 又污染环境。应该考虑利用余氯 1 ppm 与高水温的协同作用, 在高温季节短期连续施氯, 使附着的贻贝脱落或死亡, 利用水流将其冲出。应该注意的是: 如果脱落未死的贻贝不被冲出, 则很快又会再附着为患。

至于具体的实施, 应随环境的变迁而灵活安排, 主要应注意以下三个因素: 1. 氯的浓度, 2. 尽量利用全年自然界高水温期, 3. 水流速度。前两个因素上面已经谈到, 后一个因素是与贻贝脱落冲出有关。贻贝接触氯后, 由于环境不适而拉断足丝脱离管壁。施氯所生的次氯酸可以溶解足丝^[4], 而足丝的溶解速度又随温度的升高而加快。因此, 施氯效果能否在短期间充分体现是与温度及管道水流速度有密切关系, 关键是如何充分利用三者的关系。

威海电厂曾采用我们的建议进行现场试验。该厂的冷却海水在 7 月下旬到 9 月中旬期间温度较高, 可达 26—28℃, 管道流速约为 1 米/秒。在此期间维持余氯浓度在 1 ppm 二十天左右, 可获得良好效果。这种安排缩短了每年施氯时间, 减少了施氯用量及其对环境污染的影响。威海电厂对此还是比较满意的。

我们了解到威海地区贻贝的附苗季节较烟台稍晚,盛期在6月中旬至7月中旬,称为春苗。秋苗数量少,附着后由于冬季水温低,生长几乎停止,往往到次年4月末5月初仅1—2毫米,生长到7月尚不能超过冷凝器铜管的直径。因此在这个地区,在7、8月份利用冷却海水的温度高与施氯的协同作用来去除稚贝还是适宜的。

管道施氯后即需经常检查冷凝器前的过滤器。一般施氯3—5天即开始脱落,6—7天逐渐增多,20天左右可作为一次清理段落。

有些管道内由于贻贝附着生长已造成严重堵塞,必须首先加以清理,可考虑用漂白粉溶解足丝^[4]。我们曾在威海电厂用1.5%漂白粉(水温维持在31℃)在管道内先密封浸泡2个多小时,然后使药液在管道内循环2小时,最后把贻贝冲出,效果良好。清除后,每年再在自然高温季节以1ppm的余氯处理,防除贻贝堵塞管道。管道内的情况,如能经常定点检查,对采取合理有效的措施、确定每年施氯次数还是十分必要的。

参 考 文 献

- [1] 姜康后、刘健, 1958. 贻贝堵塞管道的防除研究. 海洋与湖沼 1(3): 316—324.
- [2] Carpenter, E. J., B. B. Peck & S. J. Anderson, 1972. Cooling water chlorination & Productivity of entrained phytoplankton. *Mar. Biol.* 16: 37—40.
- [3] Coughlan, J. & J. Whitehouse, 1977. Aspects of chlorine utilization in the United Kingdom. *Chesapeake Sci.* 18(1): 102—111.
- [4] Hamilton, D. H. Jr., D. A. Flemer, C. W. Keefe & J. A. Mihursky, 1970. Power plants: effects of chlorination on estuarine primary production. *Science* 169: 197—198.
- [5] Heinle, D. R. & M. S. Beaven, 1977. Effects of chlorine on the copepod, *Acartia tonsa*. *Chesapeake Sci.* 18(1): 140.
- [6] Holmes, N. 1970. Mussel fouling in chlorinated cooling systems. *Chemistry & Industry* 27—52; 1244—1247.
- [7] Hoss, D. E., L. C. Coston, J. P. Baptist & D. W. Engel, 1975. Effects of temperature, copper & chlorine on fish during simulated entrainment in power-plant condenser cooling systems Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants. International Atomic Energy Agency, Vienna. pp. 519—527.
- [8] Middaugh, D. P., J. A. Couch & A. M. Crane, 1977. Responses of early life history stages of the striped bass, *Morone saxatilis* to chlorination. *Chesapeake Sci.* 18(1): 141—153.
- [9] Morgan, R. P. & R. G. Stross, 1969. Destruction of phytoplankton in the cooling water supply of a steam electric station. *Chesapeake Sci.* 10: 165—171.
- [10] White, G. C. 1972. Handbook of chlorination. Van Nostrand Reinhold Company. pp. 547.
- [11] Woods Hole Oceanographic Institution, 1952. Marine fouling & its prevention. United States Naval Institute Annapolis. pp. X+388.

STUDIES ON ELIMINATION OF MUSSEL GROWTHS IN PIPELINES BY CHLORINATION*

Lou Kanghou Xu Erdong and Su Juanjuan

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The edible black mussel, *Mytilus edulis* L. is the most troublesome among the fouling organisms in conduits supplying sea water for cooling purposes. Chlorination of cooling water has been considered a successful method to prevent and exterminate mussel growths. More and more industrial plants along coastal regions releases immense volumes of chlorinated sea water into the sea. This practice is widely employed throughout the world.

Recently the possible adverse effect of chlorination on biota and environmental ecosystems has been investigated. The conclusions reached by some investigators show that chlorine cannot be used effectively as a biocide for fouling mussels without adverse effect on environmental ecosystems. The purpose of the present study is to find whether low-level chlorination of no more than 1 ppm residual chlorine can be applied in a very short period to eliminate mussel growths. Thus, before we can find some better alternatives to chlorination, this measure can lessen the adverse effect on ecosystems and lower the cost of maintenance.

The effects of 1 ppm and 0.5 ppm residual chlorine on settling stage larvae and young mussels (1—2.5 cm in length) are studied in this experiment. Chlorine was added in running sea water by electrolysis of saturated NaCl solution. The required amount of chlorine added could be easily regulated with in the range from 0.5 to 1 ppm. It was found that at hot season as in July and August, the young mussels detached and died much faster than at cool season, and the action of high temperature and chlorine combined might be synergistic. This phenomenon presented a new approach to the control of mussels. It is considered that the most effective way in mussel control is to chlorinate at 1 ppm residual chlorine level and to maintain the chlorination for some 20 days to the end of June or the beginning of July. When the mussels are still small enough to be flushed through the condensers.

Because of the local peculiarities of each plant, it is impossible to define a standard minimum schedule. The conduit must be inspected periodically, to determine the frequency of chlorination during this period. Minimizing chlorination of a given cooling water supply requires experimentation on site.

* Contribution No. 606 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.