

育肥期间牡蛎体内重金属含量 及浓度的变化

陆超华 杨美兰

(中国水产科学研究院南海水产研究所)

提 要 在自然条件下,对近江牡蛎 *Ostrea rivularis* Gould 在育肥期间体内重金属的含量及浓度的变化以及其主要影响因素进行了调查研究。牡蛎体内的重金属含量随体重的增加而增加,而重金属浓度则随生长率的增长而降低。环境介质(饵料食物和表层沉积物)中重金属含量的波动是影响牡蛎体内重金属含量的主要因素之一。

关键词 牡蛎,重金属,育肥期

贻贝、牡蛎和蛤等双壳类软体动物,已被广泛地用作海洋和河口环境重金属及有机污染的生物指示种(Phillips 1976, Bryant & Hummerstone 1978, Goldberg et al. 1978, Martin et al. 1984, Thomson et al. 1984)。生物的自然生长和繁殖周期,会引起其软组织重量的变化(Beukema & De Bruin 1977, Zandee et al. 1980, Nichols & Thompson 1982)。在3—6个月内的生长季节,成年的某些贝类其软组织重量会增加2倍或2倍以上(Davis & Wilson 1983)。指示生物体重的变化会由于稀释或浓缩其体内总的重金属负荷量而显著地影响其体内重金属的浓度值(Phillips 1976, Simpson 1979, Strong & Luoma 1981, Lobel & Wright 1982, Popham & D. Auria 1983)。影响程度随生物的生长率的变化、饵料食物的可供量和质量的变化以及生物对整个环境介质的适应性的变化而变化(Cain & Luoma 1986)。

近江牡蛎 *Ostrea rivularis* Gould 广泛分布于我国沿海,一般栖息于低潮线附近,尤以河口附近数量最多(蔡英亚等1982),是经济养殖的主要品种之一,又常被用作指示生物来监测沿海、河口水域的污染状况。

本文研究了珠江口河口近江牡蛎在育肥期间,其体内的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 6种重金属的含量及浓度的变化以及主要影响因素。

一、材料和方法

(一) 样品的采集与处理

1986年9月,将从珠江口伶仃洋西南部唐家湾(22°19'N, 113°36'E)采来的3—4龄近江

• 本所环保室全体同志参加了本研究。

牡蛎投放于交椅湾东北角的沙井蚝场(22°44'N, 113°43'E)的4个潮下带滩涂观察点进行“地播式”育肥(采集水域和研究观察水域位置如图1所示)。投放前随机抽取15只牡蛎以测定其体内重金属的本底值。在育肥期间(1986年9月至1987年2月),约每隔一个月采一次样,每个观察点随机取15只牡蛎。采样后立即开壳剥离整体软组织装于洁净的玻璃瓶中,于-10℃下保存至分析。此外,同时采集环境水体、表层沉积物样品。

(二) 样品测定

1. 牡蛎体内重金属的测定 样品在室温自然解冻后,经捣碎混匀,然后称取10.0g匀浆,测定 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 和 Ni 的浓度。样品采用全国海岸带污染调查推荐使用的海样生物体重金属分析方法(王化泉等,1980),在 WFD-y₂型原子吸收分光光度计上进行测定。在所用仪器上,该分析方法对 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 的最低检出限分别为 0.06×10^{-6} 、 0.3×10^{-6} 、 0.004×10^{-6} 、 0.002×10^{-6} 、 0.06×10^{-6} 、 0.04×10^{-6} 。用同一样品测定10个平行样的方法,进行了本方法的精密度试验,测知 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 的变更系数分别为 2.5、5.6、7.8、4.0、8.5、10%。报道数据为4个观察点的平均值。

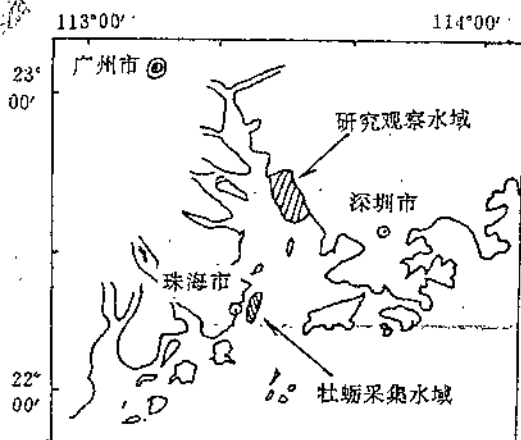


图1 牡蛎采集和研究观察水域位置示意图

Fig. 1 Sampling location

2. 表层沉积物和水样的重金属测定 沉积物样品于烘箱中在110℃烘干,磨碎过80目尼龙筛后,用 HNO₃和 H₂O₂消化处理(吴景阳等,1982),在 WFD-y₂型原子吸收分光光度计上测定 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 的浓度。

水样的重金属测定按《海洋污染调查监测暂行规范》进行。

(三) 数据处理

牡蛎的重金属含量由其重金属浓度乘其总软组织重量而得。牡蛎的重金属含量和浓度与牡蛎软组织重量、表层沉积物和饵料食物的重金属浓度之间的相关关系以及牡蛎体内重金属之间的相互关系,用线性回归相关技术分析。在分析牡蛎的重金属含量和浓度与牡蛎软组织重量的关系之前,牡蛎的重金属含量和浓度数据先用常用对数处理。

二、结 果

(一) 育肥期间牡蛎体内的重金属含量变化

图2为育肥牡蛎软组织中的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 含量随时间的变化曲线。育肥期间,牡蛎体内的 Pb 含量相对变化不大;Cr、Ni 含量有随育肥时间的增长而明显升高的趋势;

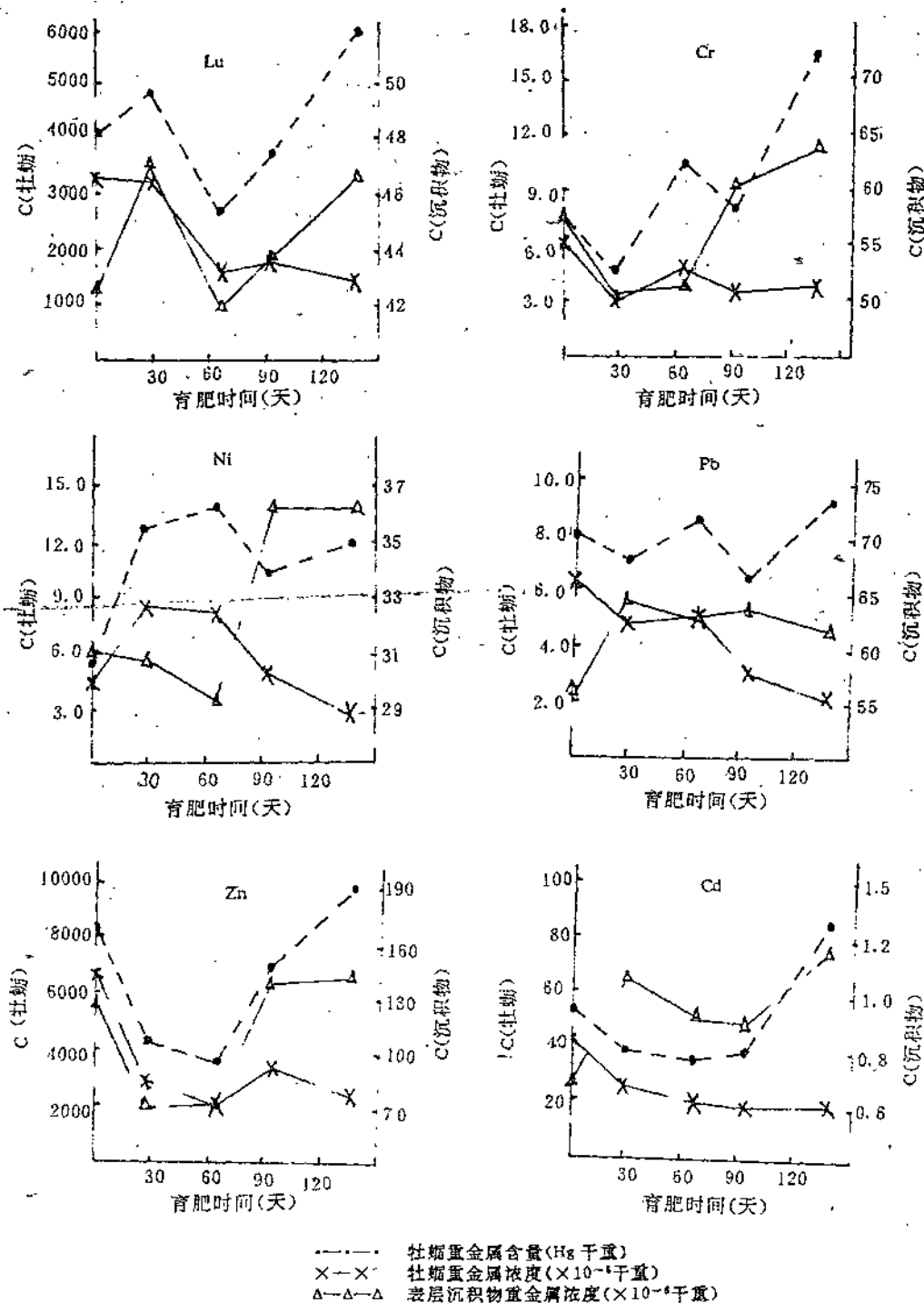


图2 育肥期间牡蛎、表层沉积物的重金属变化曲线

Fig. 2 Change of heavy metals in oysters and surface sediments during the fattening period

Zn、Cd 含量在育肥期的前半期是下降的,而在后半期则迅速升高;Cu 含量的变化是不规则的,但总的趋势是升高的。尽管牡蛎在育肥期间,其软组织中的6种重金属含量的变化各不相同,但总的来说,牡蛎经育肥后,其软组织中的重金属含量均有不同程度的增加。育肥结束时,牡蛎软组织中的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 含量分别为育肥前本底值的1.48、1.16、1.20、1.60、2.07、2.27倍。

(二) 育肥期间牡蛎体内重金属浓度的变化

育肥期间,牡蛎软组织中的 Cu、Pb、Zn、Cd 浓

度有随育肥时间的增长而逐渐下降的趋势;Ni 浓度在育肥期的前三分之一时间内是增加的,之后迅速降低;Cr 的浓度是先下降,后上升而相对保持不变(见图2)。牡蛎经育肥后,其软组织中的重金属浓度均有所降低,其中 Pb 和 Zn 降低得最多。育肥结束时,牡蛎软组织中的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 浓度分别为育肥前本底值的0.440、0.344、0.356、0.476、0.613、0.672倍。

(三) 牡蛎体内重金属与体重的关系

1. 重金属浓度与体重的关系 随着育肥时间的增长,牡蛎的体重(指整体软组织重量,下同)不断增加(见图3)。牡蛎软组织中的重金属浓度随体重的增加而降低。对牡蛎软组织中重金属浓度与体重进行一元线性相关分析,结果表明金属浓度取常用对数后与牡蛎体重呈一定程度的负相关(见表1),其中 Cu、Pb、Ni 呈显著的负相关($p < 0.01$ 或以下)。

表1 牡蛎体内重金属浓度与体重的关系

Table 1 Relationships between heavy metal concentrations and body weight of Oysters

重 金 属 统计 参 数	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
r	-0.632	-0.798	-0.383	-0.354	-0.380	-0.812
n	16	16	16	16	16	16
p	<0.01	<0.001	>0.10	>0.10	>0.10	<0.001

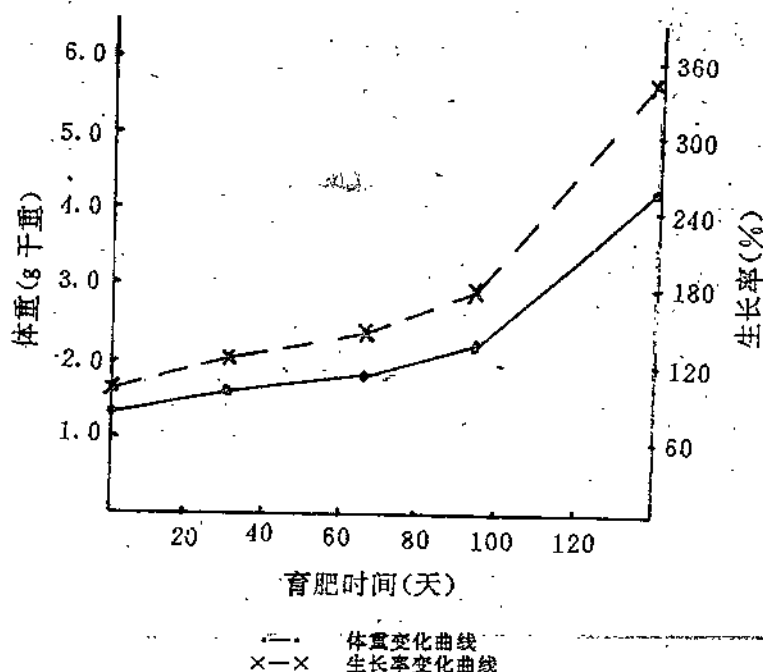


图3 育肥期间牡蛎体重及增长率的变化曲线

Fig. 3 Changes of body weight of oysters and growth rate during the fattening period

2. 重金属含量与体重的关系 牡蛎软组织中的重金属含量随体重的增加而增加, 金属含量取常用对数后与牡蛎体重呈一定程度的正相关关系(见表2), 其中 Cu、Zn、Cd、Cr 呈显著的正相关。

表2 牡蛎体内重金属含量与体重的关系

Table 2 Relationships between heavy metal contents and body weight of Oysters

统计参数 \ 重 金 属	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
γ	0.771	0.408	0.714	0.895	0.823	0.212
n	16	16	16	16	16	16
ρ	<0.001	>0.10	<0.01	<0.001	<0.001	>0.10

(四) 牡蛎体内重金属与环境介质的关系

1. 与表层沉积物重金属浓度的关系 从图2可见, 育肥期间牡蛎软组织中的 Cu、Cr、Zn、Cd 含量变化曲线与表层沉积物相对应的重金属浓度的变化曲线是基本上一致的。进一步对牡蛎软组织中的重金属含量与表层沉积物的重金属浓度进行线性相关分析, 分析结果表明(见表3), 除 Ni 外, 其余的5种重金属均呈一定程度的正相关关系, 其中 Cu、Zn、Cd、Cr 呈显著的正相关关系。

2. 与海水中重金属浓度的关系 由于水体中重金属浓度的时空分布变化很大, 而牡蛎体内重金属变化是环境介质重金属浓度较长时间的综合作用的反映, 不能反映环境介质的瞬间变化。牡蛎体内重金属含量或浓度与海水中的重金属浓度之间不存在简单的相关关系。

表3 牡蛎体内重金属含量与表层沉积物重金属浓度的相互关系

Table 3 Relationships between heavy metal contents in oysters and heavy metal concentrations in surface sediments

统计参数 \ 重 金 属	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
γ	0.776	0.349	0.860	0.641	0.539	-0.491
n	15	15	15	15	15	15
ρ	<0.001	>0.10	<0.001	<0.01	<0.05	<0.10

3. 与饵料食物重金属浓度的关系 海洋生物多数通过3种途径获得金属, 即从海水中吸收, 从摄取的饵料中获得和从含有金属的悬浮微粒中得到。牡蛎属滤食性动物, 虽然它从各个途径得到的重金属比例难以测定, 但有的文章报道从食物中摄取重金属是主要的 (Phillips 1977)。从我们对牡蛎的胃含物的6种重金属的测定结果来看, 牡蛎体内重金属的浓度与其胃含物的重金属浓度是在同一数量级(见表4)。牡蛎体内重金属浓度与其胃

含物的重金属浓度呈显著的正相关关系(见表5)。上述结果表明,牡蛎体内的重金属浓度与饵料食物的重金属浓度是密切相关的。

表4 重金属在环境介质和牡蛎体中的浓度*

Table 4 Heavy metal concentrations in marine environments and oysters

重 金 属 统 计 参 数	Cu	Pb	Zn	-Cd	Cr	Ni
海水	0.3—8.8	1.2—9.1	4.1—37.6	0.20—2.11	1.39—15.7	0.20—13.2
表层沉积物	41.9—47.3	56.0—64.1	70.1—141.8	0.65—1.16	50.7—64.3	29.2—36.6
牡蛎胃含量	845—2258	6.13—11.3	2266—5826	32.6—89.5	2.5—6.3	1.4—5.8
牡蛎软组织	1360—3216	2.2—6.4	2017—6650	18.6—42.4	3.0—6.4	2.9—8.5

*海水的单位为 $\mu\text{g/l}$,其余为 $\times 10^{-4}$ 干重

表5 牡蛎体内重金属浓度与饵料食物重金属浓度的关系

Table 5 Relationships between metal concentrations in oysters and metal concentrations in food

重 金 属 统 计 参 数	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
r	0.743	0.710	0.919	0.822	0.691	0.727
n	9	9	9	9	9	9
p	<0.05	>0.05	<0.001	<0.01	<0.05	<0.05

(五) 牡蛎体内重金属之间相互关系

表6列出了牡蛎软组织中6种重金属浓度之间的相关矩阵。牡蛎软组织中 Cu—Zn—Cd、Pb—Cr—Ni 三者之间有极显著的正相关关系($p < 0.01$)。此外,Pb 与 Cu、Cd 之间也有

表6 牡蛎体内重金属之间的相关矩阵

Table 6 The correlative matrix in concentrations of heavy metals in *Ostrea rivularis*

	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
Cu	1					
Pb	0.555	1				
Zn	0.721	0.386	1			
Cd	0.760	0.639	0.743	1		
Cr	-0.013	0.636	0.012	0.498	1	
Ni	0.316	0.664	-0.049	0.031	0.696	1

显著的正相关关系($p < 0.05, p < 0.02$)。这些关系反映了

1、牡蛎对各种重金属摄取、排放以及环境介质对牡蛎可得到的各种金属的量的关系,因为它们源自于环境因素变化相一致的同一地点;2、在牡蛎体内累积和代谢的过程中,各种金属间存在协同或拮抗作用的关系。Mackay 等(1975)发现牡蛎 *C. commercialis* 体内 Cu—Cd—Zn 有明显的正相关;Frazier(1976)报道牡蛎 *C. virginica* 对 Cu—Cd—Zn 和 Fe—Zn—Cd 三者之间也有显著的正相关。

三、讨 论

育肥期间,牡蛎体内的重金属含量有随育肥时间的增长而增加的趋势,而重金属浓度则随育肥时间的增长而逐渐下降。出现这种现象的原因是由于环境介质对牡蛎有连续可得到的高浓度的重金属,使牡蛎能不断地吸收累积重金属;另一方面,牡蛎在育肥过程中,体重不断增加,而牡蛎累积重金属的速率低于牡蛎体重增长的速率(牡蛎经育肥后,其体内 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 的总负荷量分别为育肥前本底值的 1.48、1.16、1.20、1.60、2.07、2.27 倍,而体重为育肥前的 3.38 倍。),于是牡蛎体内重金属浓度不断受到体重的稀释,结果牡蛎体内重金属浓度随育肥时间的增长而降低。

Thomson(1982)在研究澳大利亚塔斯马尼亚岛养殖的太平洋牡蛎 *Crassostrea gigas* 生长过程中的金属含量变化时,发现牡蛎体重和体内金属(Zn、Cd、Cu、Pb)含量随养殖时间的增长而增加,而牡蛎体内重金属浓度随养殖时间的增长而降低,且牡蛎体内金属含量与体重呈正相关,金属浓度与体重呈负相关。Mackay 等(1975)发现悉尼的石牡蛎 *Crassostrea commercialis* 中的 Zn、Cd、Cu 也有相似的关系。

牡蛎体内重金属含量与表层沉积物重金属浓度呈显著的正相关,说明表层沉积物的重金属变化会显著地影响“地播式”养殖牡蛎体内的重金属。沙井蚝场处于咸淡水交汇区的滩涂地带,底质以粉沙质粘土为主,源源不绝的珠江迳流和每日 2 次的海潮作用使吸附和沉积于表层沉积物上的重金属解吸重新返回水体;加上涨降潮时从表层沉积物表面翻起的富含重金属的悬浮体、粘土泥浆,这势必影响牡蛎对重金属的吸收和代谢。我们观察到,牡蛎的体液和粘膜常含有大量的悬浮微粒和粘土。

在自然条件下,环境介质和牡蛎体重的变化都会引起牡蛎体内重金属浓度的变化。牡蛎体内重金属浓度的波动,能够反映单一因素或多因素共同作用的变化。由于牡蛎体重变化对其体内重金属浓度的影响是显著的,在利用牡蛎作为指示生物监测金属污染时或研究金属生物的可用性时就必须要考虑这个因素的影响,否则可能会得出错误的结论。

参 考 文 献

- [1] 蔡英亚等,1982,贝类学概论,上海科学技术出版社。
- [2] 王化泉等,1980,共沉淀分离—原子吸收法测定海产动物体中的痕量重金属,环境科学丛刊,9:43—47。
- [3] 吴景阳等,1982,海洋沉积物中铁、锰、锌、铬、铜、镍、钴、铅和镉的原子吸收测定法,海洋学报,

4:43-49.

- [4] Beukema, J. J., De Bruin, W. (1977). Seasonal changes in dry weight and chemical composition of the soft parts of the tellinid bivalve *Macoma balthica* in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 11:42-55
- [5] Bryan, G. S., Hummerstone, L. G. (1978). Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries. *J. mar. biol. Ass. U. K.* 58:401-419
- [6] Davis, J. P., Wilson, J. G. (1983). Seasonal changes in tissue weight and biochemical composition of the bivalve *Nucula trugida* in Dublin Bay with reference to gametogenesis. *Neth. J. Sea Res.* 17:84-95
- [7] Frazier, J. M. (1976). The dynamics of metals in the American oyster, *Crassostrea virginica*. I. Environmental effects. *Chesapeake Sci.* 17:188-197
- [8] Goldberg, E. D., et al. (1978). The mussel watch. *Environ. Conserv.* 5:101-125
- [9] Lobel, P. B., Wright, D. A. (1982). Gonadal and nongonadal zinc concentrations in mussels. *Mar. Pollut. Bull.* 13:320-323
- [10] Mackay, N. J., et al. (1975). Heavy metals in cultivated oysters from the estuaries of New South Wales. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 26:31-46
- [11] Martin, N., Ichikawa, G., Goetzl, J., de los Reyes M., Stephenson, M. D. (1984). Relationships between physiological stress and trace toxic substances in the bay mussel *Mytilus edulis* from San Francisco Bay, California. *Mar. Environ. Res.* 11:91-110
- [12] Nichols, F. H., Thompson, J. K. (1982). Seasonal growth in the bivalve *Macoma balthica* near the southern limit of its range. *Estuaries.* 5:110-120
- [13] Phillips, D. J. H. (1976). The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. effects of environmental variables on uptake of metals. *Mar. Biol.* 38:71-80
- [14] Phillips, D. J. H. (1977). The use of biological indicator organism to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments—a review. *Environ. Pollut.* 13:281-317
- [15] Pophan, J. D., D'Auria, J. M. (1983). Combined effect of body size, season, and location on trace element levels in mussels (*Mytilus edulis*). *Archs environ. Contam. Toxicol.* 12:1-14
- [16] Simpson, R. D. (1979). Uptake and loss of zinc and lead by mussels (*Mytilus edulis*) and relationships with body weight and reproductive cycle. *Mar. Pollut. Bull.* 10:74-78
- [17] Strong, C. R., Luoma, S. N. (1981). Variations in the correlation of body size with concentrations of Cu and Ag in the bivalve *Macoma balthica*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1059-1064
- [18] Thomson, E. A., Luoma, S. N., Johansson, C. E., Cain, D. J. (1984). Comparison of sediments and organisms in identifying sources of biologically available trace metal contamination. *Wat. Res.* 18:755-765
- [19] Thomson, J. D. (1982). Metal concentration changes in growing Pacific Oysters, *Crassostrea gigas*, cultivated in Tasmania, Australia. *Mar. Biol.* 67:135-142
- [20] Zandee, D. I., Kluytmans, J. H., Zurburg, W., Pieters, H. (1980). Seasonal variations in biochemical composition of *Mytilus edulis* with reference to energy, metabolism and gametogenesis. *Neth. J. Sea. Res.* 14:1-29