

**EFFECT OF SEASON, SEX AND REPRODUCTION ON
ZINC CONCENTRATION IN THE SOFT TISSUES OF *Meretrix casta*
(CHEMNITZ) (MOLLUSCA: BIVALVIA) COLLECTED FROM
VELLAR ESTUARY, PORTO NOVO, INDIA**

**EFEECTO DE LA ESTACION, SEXO Y REPRODUCCION EN
LA CONCENTRACION DE ZINC EN LOS TEJIDOS BLANDOS DE
Meretrix casta (CHEMNITZ) (MOLLUSCA: BIVALVIA)
DEL ESTUARIO DE VELLAR, PORTO NOVO, INDIA**

A. Rajan¹
B. Shanthi²
M. Kalyani¹

¹ Centre of Advanced Study in Marine Biology
Porto Novo - 608 502, India

² Ocean Sciences Centre
Memorial University of Newfoundland
St. John's Newfoundland
Canada A1C 5S7

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 2, pp. 37-46.

ABSTRACT

The investigation was undertaken to determine the impact of ecological and biological factors on the bio-accumulation of zinc in *Meretrix casta* collected from Vellar Estuary. The concentration of zinc in water, sediment, whole animal tissues and different soft body parts, such as adductor muscle, foot, mantle, gill, gonad and digestive diverticula of both male and female, were analysed separately. A high concentration of zinc was discernible during the monsoon, whereas it was low during summer. The metal concentration in the sediment was higher than in the water and body tissues. Among the body tissues, gill tissues showed high values followed by the mantle, digestive diverticula, gonad, foot and adductor muscle. A statistical analysis revealed a significant positive correlation between zinc concentration in body tissues and ambient medium. A significant negative relationship was encountered between salinity and zinc concentration in animal body tissues.

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo para determinar el impacto de factores ecológicos y biológicos sobre la bioacumulación de zinc en *Meretrix casta* del estuario de Vellar. La concentración de zinc en el agua, sedimento, tejidos íntegros y diferentes partes blandas, tales como el músculo aductor, pie, manto, branquia, gónada y divertículos digestivos tanto de machos como de hembras, se analizaron por separado. Se detectó una alta concentración de zinc durante el monzón, mientras que la concentración fue baja durante el verano. La concentración de metales en el sedimento fue mayor que en el agua y en los tejidos corporales. Entre los tejidos corporales, los tejidos branquiales mostraron valores altos seguidos por el manto, divertículos digestivos,

gónada, pie y músculo aductor. Un análisis estadístico mostró una correlación positiva significativa entre la concentración de zinc en los tejidos corporales y el medio ambiente. Se encontró una relación negativa significativa entre la salinidad y la concentración de zinc en los tejidos corporales.

INTRODUCTION

High concentrations of heavy metals have been recorded in several filter feeding bivalves in many parts of the world (Vino-gradove, 1963; Bryan, 1973). The ability of these organisms to accumulate these heavy metals in their tissues has led to the concept of using indicator organisms to monitor metal pollution (Phillips, 1977). In India, the concept of pollution monitoring using sentinel organisms like bivalves has yet to gain momentum. Several workers have been using the mussels as indicators of pollution for marine environment. The present study aims to use *Meretrix casta* as an indicator organism for trace metal pollution, particularly zinc, in an estuarine environment, as well as to attempt to investigate the possible effects of ecological and biological factors on the accumulation of zinc in *M. casta*.

MATERIALS AND METHODS

M. casta (Chemnitz) were collected from the mouth of Vellar Estuary (latitude 11° 29' N; longitude 79° 46' E) for a period of one year, from January 1982 to December 1982. In the laboratory, the clams were allowed to remain in filtered habitat water (estuarine water) for a day to purge the gut contents. The males and females (35-45 mm length) were taken separately after noticing the gonadal condition. Tissues as a whole and different organs such as adductor muscle, foot, mantle, gill, gonad and digestive diverticula, were separated by sexes, and tissues of 10-15 animals were pooled together to get enough material. Dried powdered tissues (1 g) were used to measure the concentration of zinc according to the method described by Topping (1973), using an absorption spectrophotometer (Perkin Elmer Model 373). Zinc in water was analysed by the method explained by Brooks *et al.* (1967). Zinc in sediment was determined by following the method of Chester and Hughes (1969). Environmental parameters were determined by standard methods.

INTRODUCCION

Se han registrado altas concentraciones de metales pesados en diversos bivalvos filtradores en muchas partes del mundo (Vino-gradove, 1963; Bryan, 1973). La capacidad de estos organismos de acumular estos metales pesados en sus tejidos ha dado lugar a la idea de usar organismos indicadores con el fin de llevar un control de la contaminación por metales (Phillips, 1977). En la India, el concepto de control de la contaminación usando organismos centinelas, como los bivalvos, todavía no se ha establecido. Varios investigadores han estado usando el mejillón como indicador de contaminación del medio marino. El presente estudio tiene como objetivo el usar *Meretrix casta* como un organismo indicador de contaminación de metales traza, en particular el zinc, en un medio estuarino, así como intentar estudiar los posibles efectos de factores ecológicos y biológicos en la acumulación de zinc en *M. casta*.

MATERIALES Y METODOS

Se colectaron especímenes de *M. casta* (Chemnitz) de la boca del estuario de Vellar (latitud 11° 29' N; longitud 79° 46' E) durante un período de un año, de enero de 1982 a diciembre de 1982. En el laboratorio, las almejas permanecieron en agua filtrada del hábitat (agua estuarina) por un día para purgar el contenido estomacal. Se separaron los machos y las hembras (35-45 mm de longitud) después de observar la condición gonadal. Los tejidos íntegros y órganos diferentes, tales como el músculo aductor, pie, manto, branquia, gónada y divertículos digestivos, se separaron por sexos, y los tejidos de 10-15 animales se juntaron para contar con suficiente material. Se usaron tejidos secos pulverizados (1 g) para medir la concentración de zinc de acuerdo al método descrito por Topping (1973), usando un espectrofotómetro de absorción (Perkin Elmer Modelo 373). Se analizó el zinc siguiendo el método descrito por Brooks *et al.* (1967). El zinc en el sedimento se determinó siguiendo el método de

RESULTS AND DISCUSSION

Seasonal variation of zinc in water, sediment, male and female *M. casta* is shown in Figure 1. The zinc concentration in water showed higher values (135 µg/l) in May 1982. The recorded values of zinc concentration in Vellar Estuary were higher than the values (0.69-4.0 ppm) observed by Rajendran and Kurian (1986) in Cochin backwaters, Duinker and Nolting (1977) in the Rhine Estuary (60 to 70 ppt) and Chen *et al.* (1974) in Hong Kong waters (92 ppb).

The higher concentration of zinc during the monsoon might be due to the fresh water flow into the estuary which brought many effluents from the land on either side of the estuary. The lower concentration in summer might be due to the decrease in rainfall and higher uptake by the phytoplankton. The present situation endorses the views of Atkins (1953) and Chalapathi Rao and Sathyanarayana Rao (1971). Adsorption, and the consequent settlement by particulate matter, was also one of the reasons for the summer minimum. Here it is worth mentioning the opinion of Eckert and Sholkovitz (1976), who felt that flocculation due to salinity increase is also one of the reasons for low metal concentration during high saline months.

The zinc concentration in sediment showed clear seasonal variation (Fig. 1). The values ranged from 673 µg/g (May 1982) to 2,585 µg/g (December 1982). The mean concentration of zinc recorded in the present work showed higher values than those reported by Rajendran and Kurian (1986) for Cochin backwaters (0.5 to 5.71 ppm), Chester and Stoner (1975) for the Severn Estuary (280 ppm) and Lorrning (1978) for the Enns Estuary (160 ppm). However, high values were recorded by Skei *et al.* (1972) in Sor Fjord, Norway (20,016 ppm), and by Bender and Shultz (1969) in some core samples of the Indian Ocean (4,000 ppm). The higher concentration during the monsoon season might be due to the influence of land drainage. The statistical analysis also proved that the zinc concentration showed higher values during the monsoon and low values in summer, i.e. a significant negative correlation was recorded between the zinc concentration in the sediment and salinity.

In the present study, the zinc concentration in whole tissues of *M. casta* showed

Chester y Hughes (1969) y los parámetros ambientales se determinaron por métodos estándares.

RESULTADOS Y DISCUSION

La variación estacional del zinc en el agua, sedimento, machos y hembras de *M. casta* se muestra en la Figura 1. Los valores de la concentración de zinc en el agua fueron mayores (135 µg/l) en mayo de 1982. Los valores registrados de la concentración de zinc en el estuario de Vellar fueron mayores que los valores (0.69-4.0 ppm) reportados por Rajendran y Kurian (1986) en Cochin, Duinker y Nolting (1977) en el estuario del Rin (60 a 70 ppm) y Chen *et al.* (1974) en aguas de Hong Kong (92 ppb).

La mayor concentración de zinc durante la estación del monzón podría deberse a la entrada de agua dulce al estuario, trayendo muchos efluentes del terreno a ambos lados del estuario. La concentración menor durante el verano podría deberse a la disminución de la precipitación pluvial y a una mayor captación por el fitoplancton. Esta situación confirma los puntos de vista de Atkins (1953) y Chalapathi Rao y Sathyanarayana Rao (1971). La adsorción, y el consecuente asentamiento del material particulado, también fue una razón para el valor mínimo en verano. Aquí cabe mencionar la opinión de Eckert y Sholkovitz (1976), quienes suponen que la floculación debido al incremento en la salinidad es también una de las razones de la baja concentración de metales durante los meses de alta salinidad.

La concentración de zinc en el sedimento mostró una evidente variación estacional (Fig. 1). El intervalo de los valores fue de 673 µg/g (mayo de 1982) a 2,585 µg/g (diciembre de 1982). Los valores de la concentración media de zinc en el presente trabajo fueron mayores que los reportados por Rajendran y Kurian (1986) para Cochin (0.5 a 5.71 ppm), Chester y Stoner (1975) para el estuario de Severn (280 ppm) y Lorrning (1978) para el estuario de Enns (160 ppm). Sin embargo, valores altos fueron registrados por Skei *et al.* (1972) en el fiordo de Sor, Noruega (20,016 ppm), y por Bender y Schultz (1969) en algunas muestras de núcleos del océano Índico (4,000 ppm). La mayor concentración durante la estación del monzón posiblemente se deba a la influencia del drenaje del terreno. El

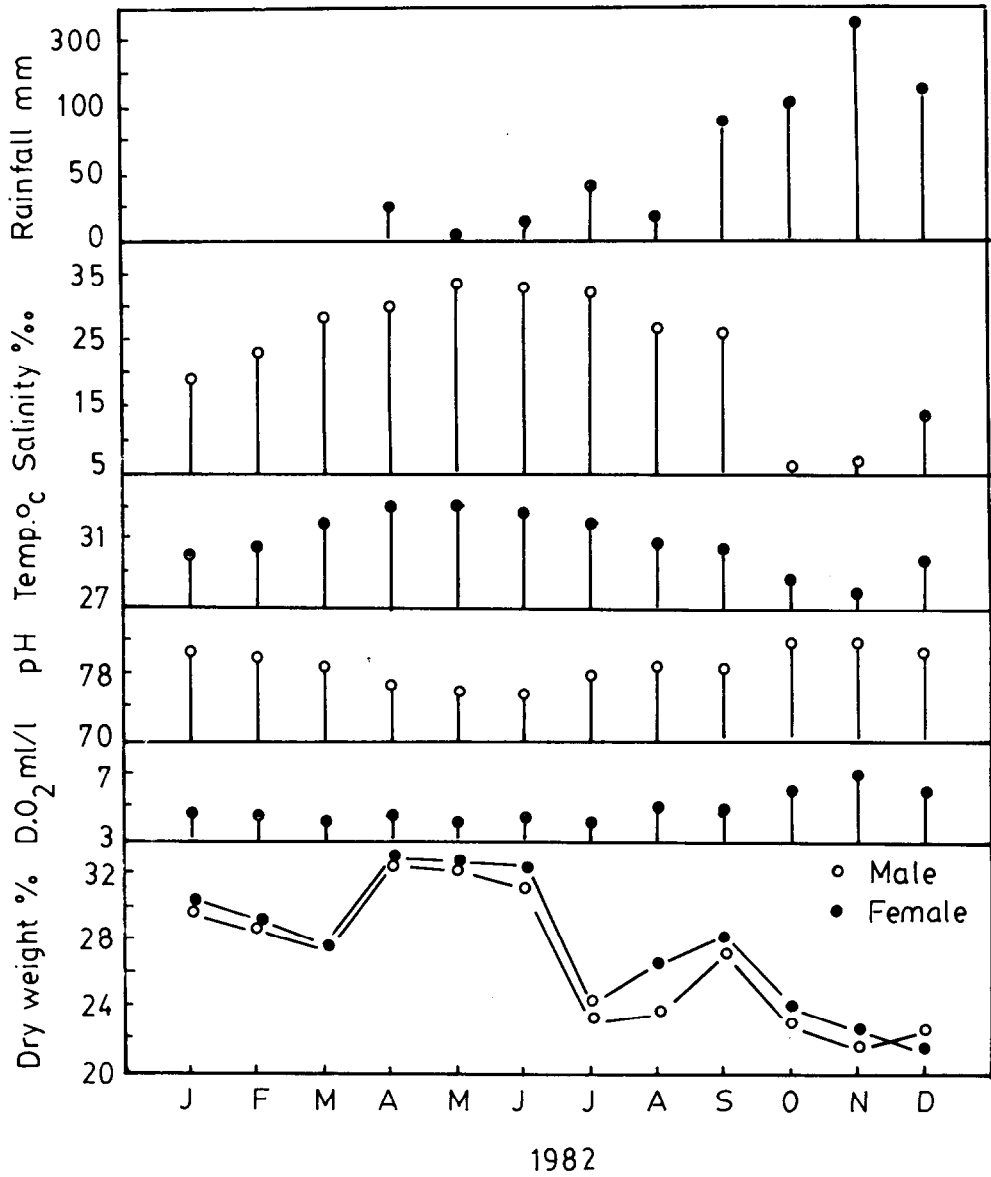


Figure 1. Monthly mean concentration of zinc in water, sediment and animals (whole tissues).
Figura 1. Concentración media mensual del zinc en el agua, sedimento y organismos (tejidos íntegros).

higher values in December 1982 (18,997.5 $\mu\text{g/g}$ and 2,011.6 $\mu\text{g/g}$ male and female, respectively), and low values in May 1982 (690 $\mu\text{g/g}$ and 701.5 $\mu\text{g/g}$ male and female, respectively) (Fig. 1). The present values were lower than the values recorded by Boyden and Romeril (1974) in *Crassostrea gigas* (9,860-99,220 $\mu\text{g/g}$). Lower values were recorded by Brooks and Rumsby (1965) in *Mytilus edulis* (91 $\mu\text{g/g}$), Bryan (1973) in *Chlamys opercularis* (462 $\mu\text{g/g}$) and *Pecten maximus* (273 $\mu\text{g/g}$), and Watling and Watling (1976) in *Choromytilus meridionalis*. The higher concentration of zinc during the monsoon season may be due to the higher concentration in the ambient medium.

In general, bivalves are found to accumulate high concentrations of metals (Bryan, 1973) and these metals are not equally distributed in different organs. In this study, the zinc concentration in different tissues (adductor muscle, foot, mantle, gill, gonad and digestive diverticula) of *M. casta* is also shown (Fig. 2).

All the six tissues showed the same kind of variation as found in whole animal tissues, and maximum concentrations were recorded during the monsoon and minimum during summer. Among the six tissues analysed, gill tissues of both sexes showed a higher concentration, followed by the mantle, digestive diverticula, gonad, foot and adductor muscle. This is in agreement with Brooks and Rumsby (1965) who found 2,490 dry weight mg/kg in the gill, 180 dry weight mg/kg in the muscle of *Mytilus edulis* collected from New Zealand waters. Segar *et al.* (1971) reported that the gill tissues of *Modiolus modiolus* showed a higher (1,480 $\mu\text{g/g}$) concentration of iron followed by the mantle (51 $\mu\text{g/g}$).

The gill has usually been suggested as a site of metal uptake from solutions because of its larger area and because it is covered by a slimy mucoprotein layer of colloidal nature, which promotes a rapid ion exchange. Also, the gill and mantle are more closely in contact with the surrounding medium (water) than the other soft parts (Pringle *et al.*, 1968). The low concentration in the adductor muscle may be due to the nature of the organ, since it has no adaptive or secretory function (Segar *et al.*, 1971).

The variation of zinc concentration in the animal body coincided with the variation of zinc in the ambient medium. The statistical

análisis estadístico también mostró que la concentración de zinc fue alta durante el monzón y baja en el verano; esto es, una correlación negativa significativa fue registrada entre la concentración de zinc en el sedimento y la salinidad.

En el presente estudio, los valores de la concentración de zinc en los tejidos íntegros de *M. casta* fueron mayores en diciembre de 1982 (18,997.5 $\mu\text{g/g}$ y 2,011.6 $\mu\text{g/g}$ macho y hembra, respectivamente), y menores en mayo de 1982 (690 $\mu\text{g/g}$ y 701.5 $\mu\text{g/g}$ macho y hembra, respectivamente) (Fig. 1). Los valores aquí reportados son menores que los valores registrados por Boyden y Romeril (1974) en *Crassostrea gigas* (9,860-99,220 $\mu\text{g/g}$). Valores menores fueron registrados por Brooks y Rumsby (1965) en *Mytilus edulis* (91 $\mu\text{g/g}$), Bryan (1973) en *Chlamys opercularis* (462 $\mu\text{g/g}$) y *Pecten maximus* (273 $\mu\text{g/g}$), y Watling y Watling (1976) en *Choromytilus meridionalis*. La mayor concentración de zinc durante la época del monzón posiblemente se deba a la mayor concentración en el medio ambiente.

En general, los bivalvos acumulan altas concentraciones de metales (Bryan, 1973), las cuales no se distribuyen equitativamente en los diferentes órganos. En este estudio, también se muestra la concentración de zinc en diferentes tejidos (músculo aductor, pie, manto, branquia, gónada y divertículos digestivos) de *M. casta* (Fig. 2).

Los seis tejidos mostraron el mismo tipo de variación como el encontrado en los tejidos íntegros, y se registraron concentraciones máximas durante el monzón y mínimas durante el verano. Entre los seis tejidos analizados, los tejidos branquiales de ambos sexos mostraron una concentración mayor, seguidos por el manto, divertículos digestivos, gónada, pie y músculo aductor. Esto concuerda con Brooks y Rumsby (1976), quienes encontraron 2,490 mg/kg peso seco en la branquia, 180 mg/kg peso seco en el músculo de *Mytilus edulis* de aguas de Nueva Zelanda. Segar *et al.* (1971) reportaron que los tejidos branquiales de *Modiolus modiolus* mostraron una mayor (1,480 $\mu\text{g/g}$) concentración de hierro seguido por el manto (51 $\mu\text{g/g}$).

Se ha sugerido que la branquia es un lugar de asimilación de metales a partir de soluciones ya que su área es mayor y porque está cubierta por una capa mucosa de mucoproteína de tipo coloidal, la cual promueve un

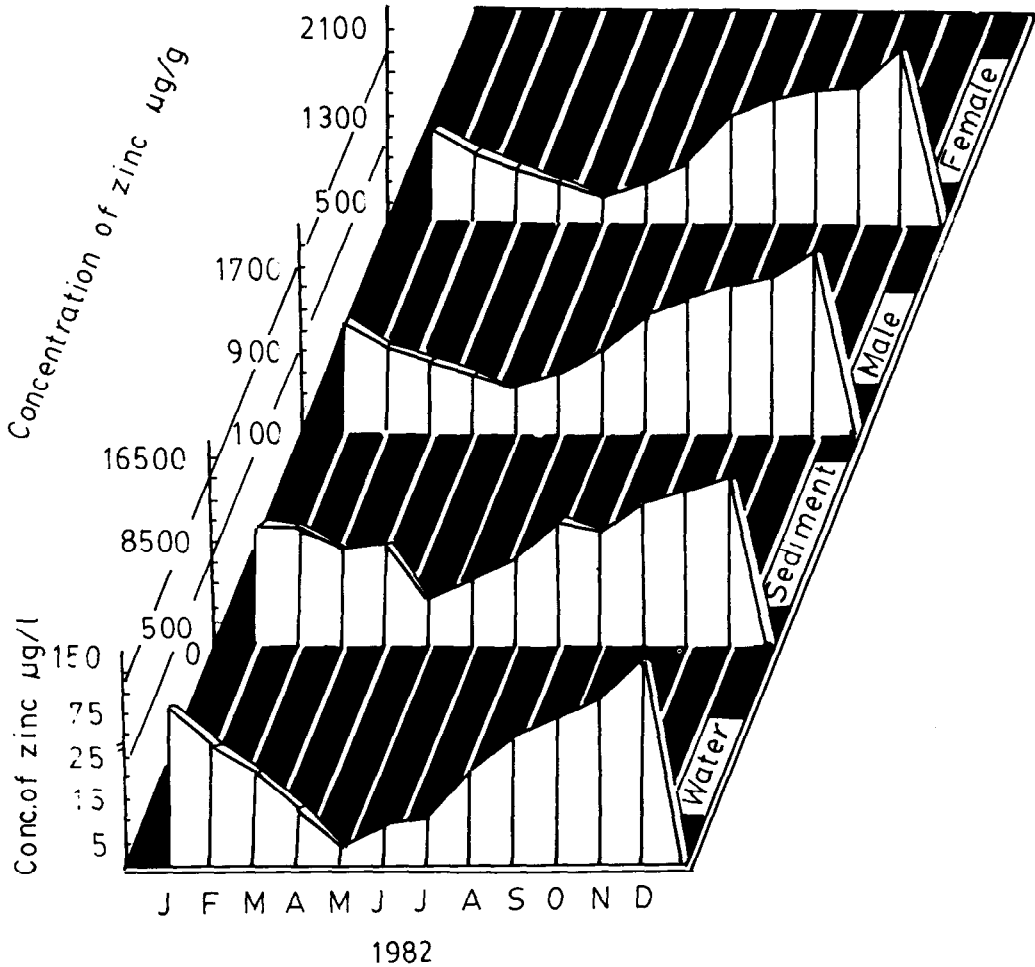


Figure 2. Monthly mean concentration of zinc in different soft body parts (adductor muscle, foot, mantle, gill, gonad and digestive diverticula) of male and female *Meretrix casta*.
Figura 2. Concentración media mensual del zinc en diferentes partes blandas (músculo aductor, pie, manto, branquia, gónada y divertículos digestivos) de machos y hembras de *Meretrix casta*.

analysis also proved that zinc concentration in the animal tissues was directly proportional to the concentration of the external medium (Table 1). The metal concentration in the animal tissues was influenced by ecological and biological factors (Phillips, 1976).

Regarding the environmental factors (Fig. 3), salinity played a major role in accumulation. Salinity showed a significant negative relationship with zinc concentration

intercambio rápido de iones. Asimismo, la branquia y el manto están más en contacto con el medio ambiente (agua) que otras partes blandas (Pringle *et al.*, 1968). La baja concentración en el músculo aductor puede deberse a la naturaleza del órgano, ya que no tiene ninguna función de secreción o de adaptación (Segar *et al.*, 1971).

La variación en la concentración de zinc en el cuerpo del organismo coincide con la

Table 1. Correlation coefficient (*r*) between zinc and selected parameters.**Tabla 1.** Coeficiente de correlación (*r*) entre el zinc y parámetros seleccionados.

No.	Combinations	"r" Value	"p" Value
1.	Zn in water x Zn in sediment	0.9232	< 0.001
2.	Zn in water x Zn in male	0.8893	< 0.001
3.	Zn in water x Zn in female	0.8916	< 0.001
4.	Zn in water x salinity	-0.7158	< 0.01
5.	Zn in sediment x Zn in male	0.8769	< 0.001
6.	Zn in sediment x Zn in female	0.8632	< 0.001
7.	Zn in sediment x salinity	-0.6595	< 0.02
8.	Zn in male x salinity	-0.7206	< 0.01
9.	Zn in male x dry weight	-0.9003	< 0.001
10.	Zn in female x salinity	-0.7093	< 0.01
11.	Zn in female x dry weight	-0.6481	< 0.01

in animal tissues. Phillips (1976, 1977) stated that many metals more available in low saline areas because of the fresh water column have a higher capacity to maintain metals either in the form of solution or suspension. Wolfe and Coburn (1970) and Bryan and Hummerstone (1977) explained that changes in salinity of the environment result in different rates of trace metal uptake by the biota, due to the gross physiological changes in the linkage of fluxes that occur on the body surface of an organism. The salinity not only has a direct effect on the metal concentration but also has indirect effects, such as controlling reproduction, phytoplankton productivity of the environment, etc. The quantification of the effect of temperature on metal accumulation in tissues of animals found in tropical countries is difficult, because the variations are meager and it is also influenced by the duration of sunlight, tides, water current, etc.

The concentration factors for sediment and animal tissues were calculated and tabulated in Table 2, which gives a general idea of how much metal could be accumulated by the animals from the surrounding medium. The sediment showed higher factor values than animal tissues. Regarding sex, the females showed higher values than males. Among the tissues, the gills exhibited higher values than the other tissues.

variación del zinc en el medio ambiente. El análisis estadístico también comprobó que la concentración de zinc en los tejidos fue directamente proporcional a la concentración en el medio ambiente (Tabla 1). La concentración de metales en los tejidos estuvo influenciada por factores ecológicos y biológicos (Phillips, 1976).

En cuanto a factores ambientales (Fig. 3), la salinidad jugó un papel importante en la acumulación. La salinidad mostró una relación negativa significativa con la concentración de zinc en los tejidos. Phillips (1976, 1977) mencionó que muchos metales disponibles en áreas de baja salinidad debido a la columna de agua, tienen mayor capacidad para acumular metales, ya sea en forma de solución o en suspensión. Wolfe y Coburn (1970) y Bryan y Hummerstone (1977) explicaron que cambios en la salinidad en el ambiente resultan en diferentes tasas de absorción por la biota, debido a los grandes cambios fisiológicos en el intercambio de flujos que ocurren sobre el cuerpo de un organismo. La salinidad no solo tiene un efecto directo en la concentración de metales sino que también tiene efectos indirectos, tales como controlar la reproducción, productividad fitoplanctónica en el medio ambiente, etc. La cuantificación del efecto de la temperatura en la acumulación de metales en los tejidos de organismos de países tropi-

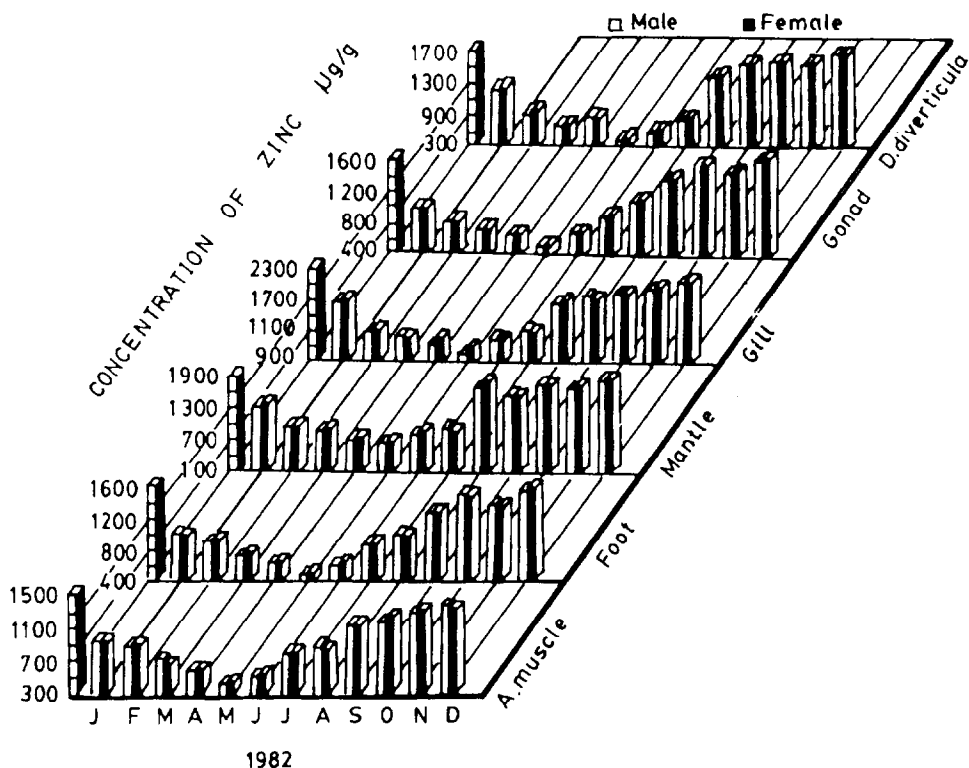


Figure 3. Monthly variation in percentage of dry weight (whole tissues) and monthly average salinity, dissolved oxygen, water temperature and pH in the study area.

Figura 3. Variación mensual en porcentaje de peso seco (tejidos íntegros) y promedio mensual de la salinidad, oxígeno disuelto, temperatura del agua y pH en el área de estudio.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the director of CAS in Marine Biology, Annamalai University, Porto Novo, for the facilities provided. One of the authors (A.R.) wishes to thank UGC for financial assistance.

LITERATURE CITED

- Atkins, W.R.G. (1953). Seasonal variation in the copper content of sea water. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 31: 493-494.
- Bender, M.L. and Schultz, C. (1969). The distribution of trace metals in cores from a transverse across the Indian Ocean. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 33: 292-297.

cales es difícil, ya que las variaciones son escasas, además de estar influenciado por la duración de la radiación solar, las mareas, corriente de agua, etc.

Se calcularon los factores de concentración para el sedimento y los tejidos y se tabulan en la Tabla 2, la cual da un idea general de la cantidad de metales que puede ser acumulado por los animales del medio ambiente. Los valores del sedimento fueron mayores que en los tejidos. Las hembras mostraron valores mayores que los machos y, de entre los tejidos, las branquias exhibieron valores mayores que otros tejidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al director del CAS in Marine Biology, Annamalai University, Porto

Table 2. Concentration factor (C.F.).
Tabla 2. Factor de concentración (C.F.).

	Postmonsoon	Summer	Premonsoon	Monsoon
Sediment	204944.72	585153.42	266144.27	104393.63
Whole animal tissues				
Male	18469.45	60219.69	24667.83	10696.83
Female	18985.87	62680.80	26409.76	11019.55
Adductor muscle				
Male	15180.67	51642.10	16056.43	7214.59
Female	15270.94	54127.65	16456.49	7414.55
Foot				
Male	16725.18	52365.84	17795.66	8060.96
Female	17566.27	51266.88	18125.62	8206.78
Mantle				
Male	18366.11	66268.96	31593.17	10842.92
Female	18680.67	68243.16	31715.45	11057.14
Gill				
Male	21685.06	77136.46	34031.47	12460.16
Female	23307.24	78966.28	34684.9	12321.42
Gonad				
Male	17171.61	53553.36	19617.73	8441.83
Female	18704.04	55118.27	19077.1	8368.83
D. diverticula				
Male	16296.85	63381.73	29044.09	10219.25
Female	16518.56	63413.95	29268.58	10084.38

Boyden, C.R. and Romeril, M.G. (1974). A trace metal problem in pond oyster culture. *Mar. Pollut. Bull.*, 5: 74-78.

Brooks, R.R. and Rumsby, M.G. (1965). The biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 521-527.

Brooks, R.R., Prestey, B.T. and Kaplan, I.R. (1967). APDC MIBK extraction system for the determination of trace elements in saline waters by atomic absorption. *Talanta*, 14: 809-816.

Novo, por las facilidades otorgadas. Uno de los autores (A.R.) agradece la ayuda económica de UGC.

Traducido al español por Christine Harris.

Bryan, G.W. (1973). The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallop *Pecten maximus* (L). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53: 145-166.

- Bryan, G.W. and Hummerstone, L.B. (1977). Indicators of heavy metal contamination in the Looe Estuary (Cornwall) with particular reference to silver and lead. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 57: 675-714.
- Chalapathi Rao, V. and Sathyanarayana Rao, T.S. (1971). Distribution of trace elements (Fe, Zn, Mn and Cu) in the Bay of Bengal. *Symp. Ind. Ocean and Adjacent Seas*. Jan. 12-18, 1971, Abst., p. 56.
- Chen, J.P., Cheung, M.T. and Li, F.P. (1974). Trace metals in Hong Kong waters. *Mar. Pollut. Bull.*, 5: 171-174.
- Chester, R. and Hughes, M.J. (1969). The trace element geochemistry of a North Pacific clay core. *Deep. Sea. Res.*, 16: 639-654.
- Chester, R. and Stoner, J.H. (1975). Trace elements in sediments from the lower Severn Estuary and Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.*, 6: 92-95.
- Duinker, J.C. and Nolting, R.P. (1977). Dissolved and particulate trace metals in the Rhine Estuary and the Southern Bight. *Mar. Pollut. Bull.*, 8: 65-71.
- Eckert, J.M. and Sholkovitz, E.R. (1976). The flocculation of iron, aluminium and humates from river water by electrolytes. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 40: 847-848.
- Phillips, D.J.H. (1976). The common mussel *Mytilus edulis* as indicator of pollution by zinc, cadmium, lead, copper. II. Relationship of metals in the mussel to those discharged by industry. *Mar. Biol.*, 38: 17-80.
- Pringle, B.H., Hissong, D.E., Kalz, E.L. and Mulawka, S.T. (1968). Trace metal accumulation by estuarine molluscs. *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs.*, 94: 455-475.
- Rajendran, N. and Kurian, C.V. (1986). *Crassostrea madrasensis* (Preston), indicator of metal pollution in Cochin backwaters. Presented in National Seminar on Mussel Watch, Cochin, India. 13-14 Feb., p. 120.
- Segar, D.A., Collins, J.D. and Riley, J.P. (1971). The distribution of the major and minor elements in marine animals. Part II, Molluscs. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 51: 131-136.
- Skei, J.M., Price, N.B., Calvert, S.E. and Holtedahl, H. (1972). The distribution of heavy metals in sediments of Sor Fjord, West Norway. *Wat. Air Soil Pollut.*, 1: 452-461.
- Topping, J. (1973). Heavy metals in shell fish from Scottish waters. *Agriculture*, 1(4): 379-384.
- Vinogradove, A.D. (1963). The elementary composition of marine organisms. *Sears Found. Marine Res. Mem.* 2, New Haven, 647 pp.
- Watling, H.R. and Watling, R.J. (1976). Trace metals in *Choromytilus meridionalis*. *Mar. Pollut. Bull.*, 7: 91-94.
- Wolfe, D.A. and Coburn, C.B. (1970). Influence of salinity and temperature on accumulation of cesium 137 by an estuarine clam under laboratory condition. *Health Phys.*, 18: 499-505.