

锌-65从三角褐指藻向紫贻贝 传递的初步实验研究

王永元 周名江 肖余生 相振峻 滕文法

(中国科学院海洋研究所)

摘 要

从 ^{65}Zn 为示踪元素,进行了 ^{65}Zn 从褐指藻到贻贝的传递实验,实验进行了5天。结果表明:(1)贻贝从藻中累积锌的能力比直接从海水中累积锌的能力高41.5~72.0倍;(2) ^{65}Zn 从褐指藻到贻贝有明显的传递,实验第5天时的传递比率为6.18%;(3)在实验过程中,贻贝体内锌的含量从未超过藻中的锌含量。

锌是对海洋造成污染的重要重金属元素之一,有关它在海洋食物链中的传递已引起了不少学者的注意(Young,1975; Rice, 1963; Bryan, 1976; Bryar, 1983; Renfro, 1975),但关于食物途径在海洋动物累积锌中重要性的结论却不尽相同(Young, 1975; Renfro, 1975)。我们挑选了公认为是监测海洋锌污染的指示生物(Goldberg, 1975)、且在我国有自然生长和大量人工养殖的紫贻贝(*Mytilus edulis* L.)以及它的合适饵料、对锌有很高累积能力的三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornerutum* B.) (肖余生, 1982)为实验对象,以锌-65示踪,进行了锌从单细胞藻到滤食性生物的食物链传递实验。实验主要探讨三个问题:(1)食物途径在贻贝累积锌中的重要性;(2)锌从三角褐指藻到贻贝的传递情况;(3)在这个传递过程中,会不会发生锌含量的生物扩大现象(Bioamplification)。

一、材料与方 法

放射性同位素 ^{65}Zn 购自中国科学院原子能研究所,化学状态为 $^{65}\text{ZnCl}_2$ (比活性100—200毫居里/克锌)。藻种由本所饵料组提供,贻贝采自未受到重金属污染的青岛太平角,系人工养殖,体长5—6厘米。实验用海水亦取自青岛太平角。

实验中的 ^{65}Zn 标记藻制备如下:取预养的褐指藻离心,弃去原培养介质,将藻重新悬浮在含 ^{65}Zn 浓度为5微居里/升的海水中,使藻密度为1600万个/毫升;一天后,重新离心,并用原体积1/2的干净海水洗涤一次,然后移入干净海水中,使藻密度为750万个/毫升,一天后用于实验。实验期间,每天测定藻体内的 ^{65}Zn 量(微居里/万个藻),取算术平均值作为喂给贻贝的藻体内的 ^{65}Zn 量(实验第1、3、5天时的值分别为 1.249×10^{-6} 、 1.627×10^{-6} 、 1.657×10^{-6} 微居里/万个藻)。

贻贝分二组,每组18只,分别用网兜吊养在各有18升过滤海水的二只玻璃缸中(标作I、II缸),当贻贝因取样而减少时,水体也相应减少,使每只贻贝一升海水的比例不变。

I 缸内加入 ^{65}Zn , 使海水中的放射性浓度为 1 微居里/升; II 缸不直接加 ^{65}Zn , 而是不断加入 ^{65}Zn 标记藻液, 使 II 缸中的藻密度维持在 3 万个/毫升左右, 用虹吸管控制水位, 使 II 缸水体体积保持不变。

每天换海水一次, 换水后使 I 缸海水的 ^{65}Zn 浓度仍为 1 微居里/升左右, II 缸中的藻密度仍维持在 3 万个/毫升左右。换水前后, 分别测定二缸海水中的 ^{65}Zn 浓度, 将二缸各次测得的值分别累计平均, 作为实验中 I 缸、II 缸海水中 ^{65}Zn 的浓度 (由于藻的排出, II 缸海水中不可避免地会有 ^{65}Zn , 所以必须测定)。

在实验的第 1、3、5 天取贻贝样, 每次每缸各取 5 只, 用清水冲洗, 置蒸汽中 2 分钟杀死, 解剖取出软体部分, 逐个置于自制的底厚为 0.04 毫米的塑料薄膜杯内, 称重, 然后加入 NaOH 碱式消化, 使每个样品总体积为 10 毫升, 用国产 FH408B 定标器测放射性, 并换算成单位重量的放射性 (微居里/克)。

I 缸贻贝累积的 ^{65}Zn 全部来自海水, II 缸贻贝累积的 ^{65}Zn 则一部分来自藻, 一部分来自海水。Pořikarpov (1966) 和河野满 (1969) 曾分别从理论上和实验上证明过海洋生物体内的放射性核素含量与海水中该核素浓度是呈线性关系的。我们的验证实验表明, 在实验范围内, 贻贝体内的 ^{65}Zn 含量与海水中的 ^{65}Zn 浓度是成正比的。所以可由 I、II 缸海水中 ^{65}Zn 浓度之比从 I 缸贻贝体内的 ^{65}Zn 量计算出 II 缸贻贝由海水累积而来的 ^{65}Zn 量, 扣去这个量后, 即得 II 缸贻贝从藻累积而来的 ^{65}Zn 量。

将 I 缸贻贝体内的 ^{65}Zn 量与 I 缸海水中的 ^{65}Zn 浓度相比, 得贻贝直接从海水中累积 ^{65}Zn 的累积能力——A.R. 水; 将 II 缸贻贝体内由藻得到的 ^{65}Zn 量与 II 缸中以藻微粒形式存在的 ^{65}Zn 放射性浓度 (Corner, 1976) 相比, 得贻贝从藻累积 ^{65}Zn 的累积能力——A.R. 藻。

藻微粒的放射性浓度 (微居里/毫升)

藻密度 (万个/毫升) \times 藻体内的放射性含量 (微居里/万个)

二、结果与讨论

1. 不同 ^{65}Zn 浓度下贻贝对 ^{65}Zn 的累积情况 (图 1)

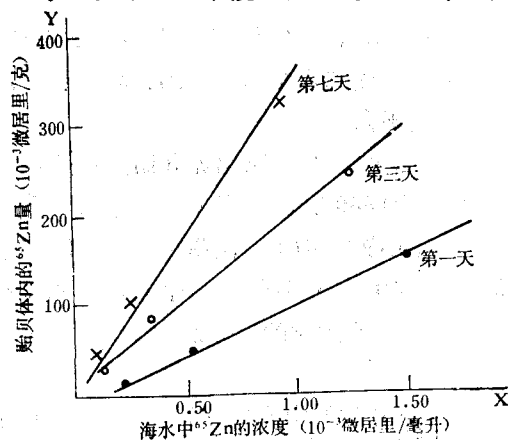


图 1 贻贝在不同 ^{65}Zn 浓度海水中对 ^{65}Zn 的吸收

诸直线的表达式为

$$\text{第一天 } y_1 = 113.4x - 10.7$$

$$\text{第三天 } y_3 = 196.3x + 12.6$$

$$\text{第五天 } y_7 = 359.7x + 4.7$$

回归检验都极显著

从图中可看到, 在实验的7天中, 贻贝体内的 ^{65}Zn 量与海水中的 ^{65}Zn 浓度一直成正比关系, 这种关系的回归检验都极显著。

这与Eryan (1983) 指出的海洋生物对锌的调节作用, 即高污染环境下的海洋生物体内的含锌量不是按比例地升高这一点并不矛盾。因为在我们实验中, 加到海水中的锌量(1—11ppb)并没有超过正常海水中原有的锌量(10ppb) (Goldberg, 1975) 这时, 即使生物有调节作用的话, 它也不会起作用的。而Eryan所观察到的调节作用是发生在受到污染的海水中的锌量(88ppb)超过正常值(10ppb) (Goldberg, 1975) 较多时, 此时, 海洋生物对锌的调节作用才表现出来了。

2. 贻贝从藻和从海水中累积 ^{65}Zn 的情况 (表1)

表1 贻贝从藻和从海水中累积 ^{65}Zn 的对比

实验内容		实验时间		
		第1天	第3天	第5天
I 缸 (加放射性海水)	海水中 ^{65}Zn 浓度 (微居里/升)	0.849	0.873	0.913
	贻贝体内 ^{65}Zn 量 (10^{-3} 微居里/克)	46.92	130.8	211.2
	贻贝从海水累积 ^{65}Zn 能力 A.R.水	55.27	149.8	231.3
II 缸 (加放射性标记藻液)	海水中 ^{65}Zn 浓度 (微居里/升)	0.143	0.146	0.132
	贻贝体内 ^{65}Zn 量 (10^{-3} 微居里/克)	26.22	55.71	85.60
	其中来自海水的量	7.90	21.87	30.50
	其中来自藻的量	18.32	33.84	55.10
	藻微粒的 ^{65}Zn 浓度 (10^{-3} 微居里/升)	4.604	5.441	4.731
	贻贝从藻微粒累积 ^{65}Zn 能力 A.R.藻	3.979	6.221	11.647
	A.R.藻 A.R.水	72.0	41.5	50.4

从表中可看出, 贻贝从藻累积 ^{65}Zn 的能力远远大于直接从海水中累积的能力, 这2种能力之比在实验的第1、3、5天分别为72.0、41.5和50.4。由此推算, 如果自然海洋环境中的锌有2%以上是累积在褐指藻一类的贻贝食物上的话, 由食物进入贻贝的锌就会超过由海水而来的锌。本实验中, II缸中以藻微粒形式存在的 ^{65}Zn 浓度只有海水中 ^{65}Zn 浓度的3—4%, 但贻贝体内由藻传递而来的 ^{65}Zn 量已超过了从海水中累积的量(见表1)。我们的结果与Young (1975) 和Rice (1963) 等关于食物链在海洋动物累积锌中起着重要作用的看法是一致的。

这一点可能也有助于解释为什么在有关海洋动物对锌的浓缩系数的报道中(Rice, 1963; Polikarpov, 1966), 从自然海洋环境中动物与海水的稳定锌含量的分析所得出的值, 往往要高于实验室内示踪得到的值。因为室内实验得到的只是动物直接从海水中累积锌的浓缩系数, 而从自然界中稳定锌含量分析得到的值, 却包含着食物链的重要作用。考虑到锌在海洋中主要是以络合态和吸附态存在(Rice, 1963), 食物链的作用就可能显得更为重要。食物链的这种作用, 在估价海洋锌污染对贻贝一类滤水性生物的影响时, 是应该充分注意的。

3. ^{65}Zn 从褐指藻到贻贝的传递情况和它在这二种生物体内的含量对比 (表2)表2 ^{65}Zn 从藻到贝的传递和它在生物体内的含量对比

实验时间		第1天	第3天	第5天
传递情况	实验内容			
	(1) 贻贝摄食所得藻中 ^{65}Zn 总量* (微居里/只)	0.398	1.410	2.044
	(2) 贻贝体内来自藻的 ^{65}Zn 总量 (10^{-3} 微居里/只)	57.47	82.40	126.29
	(3) 传递比率 = $\frac{(2)}{(1)} \times 100\%$ (%)	14.4	5.8	6.2
含量对比	(1) 藻 ^{65}Zn 含量 (微居里/克)	0.981	1.278	1.302
	(2) 贻贝 ^{65}Zn 含量 (10^{-3} 微居里/克)	18.32	33.84	55.10
	(3) 含量对比 = $\frac{(2)}{(1)}$	0.0187	0.0265	0.0423

* 贻贝滤水率按3.5升/小时·只计算

从表中可看到, ^{65}Zn 从藻到贝有明显的传递, 实验第1、3、5天的传递比率分别为14.4%、5.8%和6.2%。这些值与 ^{45}V 从藻到贝的传递比率(7%) (Miramand, 1980) 以及 ^{109}Cd 从卤虫到蟹的传递比率(10%) (Jennings, 1979) 很接近, 都属于中偏低的水平(李永祺, 1978)。传递比率在第一天时偏高的原因可能是: (1) 我们所据以计算传递比率的贻贝体内锌量, 实际上是贻贝“净累积”的锌量, 即实际累积量减去排出体外量后的值。由于实验初期贻贝向外排出量还不多(Hiyama, 1969), 所以“净累积量”相对就高一些; 以后, 随着排出量逐渐增多, “净累积量”就逐渐减少, 使得计算得到的传递比率也随之下降。(2) 我们测得的贻贝对锌的累积, 都包含着消化道内未消化藻的影响, 这种影响在实验初期较大, 即消化道中未消化藻所含的锌占贻贝体内累积锌的比例在实验初要高一些, 这也使得计算值出现下降。

另外, 从表中可看到, 贻贝体内与藻体内的 ^{65}Zn 含量比在实验中都小于1, 也就是说在 ^{65}Zn 从藻到贻贝的五天传递中, 它在这两种生物体内的含量没有出现生物扩大现象。但由于这个含量比五天中在不断增大(见表2), 那末, 如果实验继续下去, 直到贻贝从藻中累积锌达到平衡, 这个比值可能达到多大? 会不会在那时出现扩大(>1)呢? 下面, 我们对此作一粗略的估算。

在元素由单细胞藻到滤水性生物(如贻贝)的传递中, 如设动物体内经由食物链(藻)累积该元素达到平衡时的含量为 C_2 (微克元素/克动物) 它从食物累积该元素的摄入率为 I_f (微克元素/克动物·天), 它自体内排出该元素的速率为 E (1/天), 则可有关系式

$$I_f = C_2 \cdot E \quad (1)$$

即此时每日的累积量与排出量相等, 累积达到动态平衡。对于滤水性生物来说, 明显的

$$I_f = P \cdot D \cdot C_1 \cdot T \quad (2)$$

这里 P 为滤水率(毫升水/克动物·天)

D 为藻密度(克藻/毫升水)

C_1 为藻体内该元素含量(微克元素/克藻)

T 为该元素由藻到动物的传递比率

将(2)式代入(1)式并整理即得

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{P \cdot D \cdot T}{E} \quad (3)$$

(3)式表明,元素在这一营养级间传递时的含量比 C_2/C_1 的大小与滤水性生物的滤水率 P ,藻的密度 D ,以及元素由藻到动物的传递比率 T 成正比,与该动物向外排出元素的排出速率 E 成反比,而与藻体内的该元素含量无关。当 P 、 D 、 T 足够大而 E 足够小时,就可能发生元素沿食物链传递时含量的生物扩大现象。

在我们的这一实验中,贻贝滤水率 $P=3.2 \times 10^4$ (毫升/克贻贝·天),藻密度 $D=3.6 \times 10^{-6}$ (克藻/毫升),传递比率 $T=8.8 \times 10^{-2}$ (实验期间的平均值),排出率 E 由文献(李永祺,1978;李世效,1982)求得($E=0.693$ /半排出期(Klumpp,1980) $=1.3 \times 10^{-2}$),将这些值代入(3)式,得 $C_2/C_1=0.78 < 1$ 。可见,如果实验延续下去,到贻贝从藻累积锌达到平衡时,锌在这两种生物体内的含量比也不会发生生物扩大现象。这种虽然食物途径是动物累积元素的主要途径,但元素在传递中并未发生含量扩大的现象,Klumpp(1980)在有关神从藻到滨螺的传递实验中也曾观察到过(Klumpp,1980)。

式(3)还使我们想到,海洋污染调查中发现只有少数污染物质如汞、有机氯有含量沿食物链扩大的现象,这会不会主要是由于它们有较高的传递比率(T)和较小的排出率(E)而引起的。因为(3)式中的 P 、 D 只与涉及到的生物有关,而与元素或污染物质的种类无关(当涉及的动物不是滤水性生物而是其他生物如鱼时, $P \cdot D$ 即动物的摄食量,以克食物/克动物·天表示)。值得一提的是,已知的资料中(李永祺,1978),汞的半排出期(尤其是以甲基汞形式)的确比其他元素长得多,有机氯也被认为是难以从生物体内排出的。而我们最近的一个实验表明,甲基汞由扁藻(*Platymonas sp.*)到卤虫(*Artemia salina*)的传递比率高达70%左右,这与其他元素相比也的确是高得多的(李永祺,1978)。当然,我们的这一想法还有待于更多的实验例证来检验。

最后,需要指出的是,我们的这一实验只延续了五天,贻贝从藻、从海水累积锌都未达到平衡。所以,我们的这一实验是很初步的,锌从藻到贻贝传递达到平衡时的真实情况,以及我们上面提到的(3)式的实验验证都有待于进一步去深入。

参 考 文 献

- 李永祺 1978 海洋的放射性。科学出版社,第105—112。
 李世效、王仁美 1982 紫贻贝对 ^{65}Zn 累积和排泄机制的研究。海洋科学3:26—28。
 肖余生、滕文法、相振峻 1982 三角褐指藻细胞密度对累积和排出 ^{65}Zn 的影响。海洋科学3:22—25。
 厦门水产学院贝类教研组 1979 贻贝养殖。科学出版社,第30—32。
 Bryan,G.W. 1976 Marine Pollution Academic Press p.185—302。
 Bryan,G.W. 1983 Brown seaweed, *Fucus vesiculosus*, and the gastropod, *Littorina littoralis*, as indicators of trace-metal availability in estuaries, *The Science of the Total Environment*, 28:91—104。
 Corner,E.D.S. et al. 1976 Petroleum compound in the marine food web: Short-term experiment on the fate of naphthalene in calanus. *J.Mar. Biol. Ass. U.K.*56:121—133。
 Goldberg,E.D. 1975 The mussels watch—a first step in global marine monitoring. *Mar. Poll.*

- Bull.* 27:111—117.
- Hiyama, Y. 1969 Uptake of radioactive nuclides by aquatic organisms: The application of the exponential model, *Environmental Contamination by Radioactive Materials*, IAEA *STI/PUB/226*:463—476.
- Jennings, J.R. and P.S. Rainbow 1979 Studies on the uptake of Cd by the crab, *Carcinus mecnas* in laboratory I: Accumulation from sea water and a food source, *Mar. Biol.* (Berl) 50(2):131—140.
- Klumpp, D.W. 1980 Accumulation of arsenic from water and food by *Littorina littoralis* and *Nucella lapillus*, *Mar. Biol.* 58:265—274.
- Miramand, P. et al. 1980 Vanadium transfer in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*, *Mar. Biol.* (Berl) 56 (4) :281—294.
- Polikarpov, G. G. 1968 *Radioecology of Aquatic Organisms*, North-Holland Publishing Company p. 101—115.
- Renfro, W.C., et al. 1975 Relative importance of food and water in long-term zinc-65 accumulation by marine biota, *J. Fish. Res. Bd. Can.* 32:1339—1345.
- Rice, T.R. 1963 Review of zinc in ecology, In *Radioecology*, Proceedings of the First National Symposium on Radioecology, p.619—631.
- Young, M.L. 1975 The transfer of ^{65}Zn and ^{59}Fe along a *Fucus serratus*(L.), *Littorina obtusata* (L.) food chain, *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 55:583—610.

A PRELIMINARY EXPERIMENT ON THE TRANSFER OF ZINC-65 FROM PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM BOHLIN TO MYTILUS EDULIS L.

Wang Yongyuan Zhou Mingjiang Xiao Yusheng
Xiang Zhenjun Teng Wenfa
(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

An experiment on the transfer of zinc from marine unicellular algae *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin to Mussel *Mytilus edulis* L. was carried out by using ^{65}Zn as a tracer element during 5 days. The results show: 1. the ability of the mussels to accumulate zinc from the algae is 41.5 to 72.0 times higher than that of directly from sea water; 2. there is a transfer coefficient of 6.18% on the fifth day of the experiment; and 3. the amount of zinc in the mussels, however, never exceeds that in the algae during the experiment.