

^{137}Cs 、 ^{60}Co 在海洋生物体内的积累和分布*

蔡福龙 陈英 吴晋平 许丕安

(国家海洋局第三海洋研究所)

提 要

本文报导了 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 双核素示踪法研究它们在扁藻、轮虫、泥蚶、对虾、罗非鱼等重要水产品体内的积累与分布。并以单核素示踪进行比较。结果表明：除对虾以外的其他生物体内 ^{60}Co 的积累大于 ^{137}Cs ；胃肠和肝脏是鱼类积聚 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的主要器官，而对虾的头胸部和附肢是积聚 ^{60}Co 的主要部位， ^{137}Cs 在对虾体内倾向于全身性分布。

^{137}Cs 、 ^{60}Co 分别为核反应的裂变产物和核反应堆结构材料的活化产物。其毒性强、半衰期长。 ^{137}Cs 遍布于全世界，易被海洋生物摄取^[1]；在核试验和有核设施的海域捕获的鱼体中也检出 ^{60}Co 的存在^[2]。几年前，作者曾以单核素示踪法研究扁藻、毛蚶、对虾、黄鳍鲷等海洋生物对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的浓集^[3]。本文则以 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 双核素示踪法研究它们在扁藻、轮虫、泥蚶、对虾、罗非鱼等重要水产品体内的积累与分布，以进一步和单核素的示踪情况进行比较，为海洋环保和食品卫生的评价提供资料。

材 料 和 方 法

1. 材料

扁藻 (*Platymonas sp.*)、轮虫 (*Brachionus plicatilis* Müller)、泥蚶 (*Arca granosa* Linnus) 2—2.5 厘米、毛重 4—6 克，对虾 (*Penaeus penicillatus* Alcock) 体长 12—16 厘米、毛重 13—18 克，罗非鱼 (*Tilapia mossambica* Poster) 体长 11—16 厘米、毛重 35—50 克。上述生物品种有的是常见的饵料生物，有的是浅海区重要的养殖对象，又是肉鲜味美，人们喜爱的海产品。本文所用材料均由厦门水产学院、厦门大学海洋系和厦门附近的养殖场提供。

氯化钴-60 由中国科学院原子能研究所提供，放射性纯度 > 99%；
氯化铯-137 为英国产品，放射性纯度 > 99%。

* 参加部分实验工作的还有林义强、唐森铭、林荣盛。

海水为沿岸水,静置一天后使用。

2. 方法

把生物养在含有 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的海水中,定时换水(除浮游生物外)定时取样。取样的生物个体为 6—12 个,取样后用海水和 EDTA 轮番清洗生物表面三次,然后生物被剖成各个组织器官,以鲜样直接在带有电子计算机的 S-80 型多道分析器和锗锂探头上进行测量。测量时间为 1800 秒。具体实验条件如表 1。

表 1 海洋生物吸收 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 实验的条件

| 生 物 | 水 体 密 度 | 核 素 | 核素浓度Ci/l | 水 温 |
|-------|------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|
| 扁 藻 | 1.509克/升 | ^{60}Co ^{137}Cs | 5×10^{-9} 5×10^{-8} | $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ |
| 轮 虫 | 150,000个/升 | ^{60}Co ^{137}Cs | 5×10^{-9} 5×10^{-8} | $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ |
| 泥 蚶 | 1个/1.5升 | ^{60}Co ^{137}Cs | 5×10^{-9} 5×10^{-8} | $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ |
| 对 虾 | 1条/50升 | ^{60}Co ^{137}Cs | 5×10^{-9} 5×10^{-8} | $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ |
| 罗 非 鱼 | 1条/60升 | ^{60}Co ^{137}Cs | 5×10^{-9} 5×10^{-8} | $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ |

由于考虑到生物对 ^{137}Cs 的吸收较少,为了避免测量时 ^{137}Cs 的能量被 ^{60}Co 所掩盖故实验时的示踪浓度, ^{137}Cs 比 ^{60}Co 提高一个数量级。

结果和讨论

(一) ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在海洋生物体内的积累

在各类海洋生物对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 吸收趋于动态平衡时^[8],取样测定放射性核素在其可食部分的比活性。

其结果见于表 2。再把它们吸收核素的比活性除以海水中核素的比活性可得浓集系数。并和单核素示踪的结果加以比较(见表 3)就可以看到除对虾外在各类生物中 ^{60}Co 的积累高于 ^{137}Cs 。各类生物积累核素能力的顺序是 ^{60}Co : 扁藻 > 泥蚶 > 轮虫 > 鱼肉 > 对虾。单核素的情况除了对虾和鱼肉的顺序对调以外,其它都一样。单核素示踪的鱼类是黄鳍鲷,而双核素示踪的鱼类是罗非鱼,看来积累能力前者比后者差很多。总的看来各类生物双核素示踪的积累能力比单核素示踪的强。 ^{137}Cs : 对虾 > 泥蚶 > (鱼类、扁藻) > 轮虫。单核素的顺序有所变化: 扁藻 > 对虾 > 泥蚶 > 轮虫。总的看来,双核素示踪的积累能力都比单核素弱,很可能是 ^{137}Cs 在生物体内的积累本来就比 ^{60}Co 少,加上 ^{137}Cs 的能量又比 ^{60}Co 低,双核示踪以后两方面迭加造成的测量误差使 ^{137}Cs 表现出来的积累能力更低,并且改变了生物之间的大小次序。

表 2 双核素示踪后 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在各类海洋生物体内的积累

| 生物种类 | 培养天数 | 核素 | 比活性 $\times 10^{-4}\mu\text{Ci/g}$ |
|------|------|-------------------|---------------------------------------|
| 扁藻 | 1 | ^{60}Co | 30.29 |
| | | ^{137}Cs | 6.320 |
| 轮虫 | 5 | ^{60}Co | 49.66 |
| | | ^{137}Cs | 未检出 |
| 泥蚶 | 60 | ^{60}Co | 5.615 |
| | | ^{137}Cs | 5.310 |
| 对虾 | 30 | ^{60}Co | 2.738 |
| | | ^{137}Cs | 8.336 |
| 罗非鱼 | 25 | ^{60}Co | 4.389 |
| | | ^{137}Cs | 5.076 |

表 3 各类海洋生物在单、双核素示踪下的浓集系数

| 生物种类 | 核素 | 浓集系数 | |
|------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | | 单核素示踪 | 双核素示踪 |
| 扁藻 | ^{60}Co | 21.79×10^3 | 866 |
| | ^{137}Cs | 40 | 6.8 |
| 轮虫 | ^{60}Co | 17* | 254 |
| | ^{137}Cs | 12* | 未检出 |
| 泥蚶 | ^{60}Co | 2.4×10^2 | 5.1×10^2 |
| | ^{137}Cs | 25—30 | 0.1 |
| 对虾肉 | ^{60}Co | 7.0 | 11 |
| | ^{137}Cs | 25—35 | 15 |
| 鱼肉 | ^{60}Co | 3.2 | 220 |
| | ^{137}Cs | | 7 |

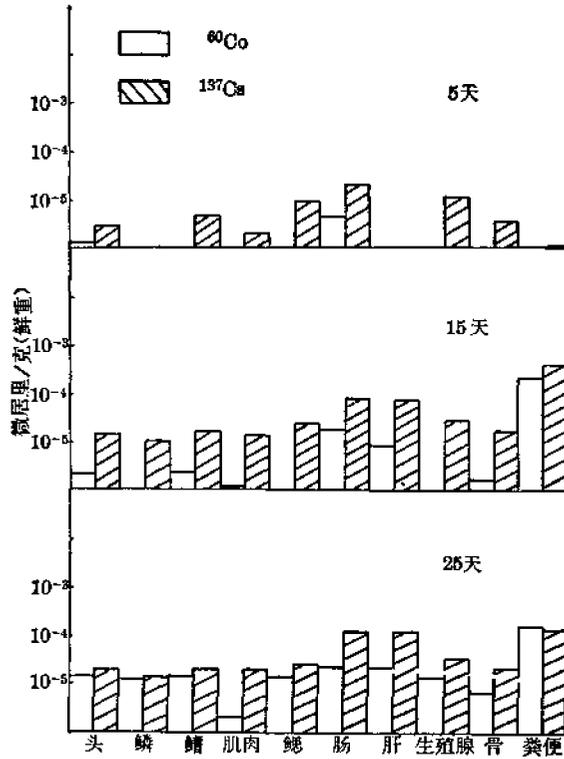
* 浓集实验的时间为 48 小时。

(二) ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在鱼、虾、蚶体内的分布

1. ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在罗非鱼体内各器官的分布

把在 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 海水里养了 5 天、15 天、25 天的罗非鱼解剖,按各个器官测定其相对放射性,结果示于图 1。

由图 1 可以看到 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在罗非鱼体内各器官的积累有一个过程:5 天内,在鳞片、鳍、肌肉、鳃、生殖腺、骨骼中没有检出 ^{60}Co ,除鳞片外,其他器官都积累 ^{137}Cs ,胃肠道对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 都有明显的吸收。到了第十五天,鳞片、鳃、生殖腺仍未检出 ^{60}Co ,可是,粪便里却出现相当高的 ^{60}Co ,而 ^{137}Cs 的积累已遍布各个器官,到了第二十五天 ^{60}Co 在各个器官也有了相当明显的积累,而 ^{137}Cs 积累已趋于缓慢。看来 ^{60}Co 进入鱼体的主要途径很可能是由肠道吸收再扩散到其他器官,其中最快转移到的是肝脏, ^{137}Cs 很可能是从鱼体各个器官同时进入体内,其中通过肠道和鳃较少一些,因而在粪便和生殖腺都检出相当高的 ^{137}Cs 。



附图 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 在罗非鱼体内的分布

表 4 是饲养到第二十五天的罗非鱼各器官中 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 的分布情况，由此可以看到浓集能力的顺序是 ⁶⁰Co：胃肠>肝脏>鳍>鳃>头部>生殖腺>骨骼>鳞片>肌肉；¹³⁷Cs：胃肠>肝脏>鳞片>生殖腺>鳃>（肌肉、骨骼）>（头部、鳍）。看来胃肠和肝是积累 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 的最多的器官。粪便含有 ⁶⁰Co 特别高，主要是一些尚未被完全消化的扁藻和海水中的悬浮物。

2. ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 在对虾体内的分布

对虾放在含有 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 海水中饲养 30 天后，按各个器官测其放射性，结果如表 5 所示。表 5 展示的结果说明 ⁶⁰Co 主要分布在头胸，其次是附肢，最少的是肌肉，而 ¹³⁷Cs 在各器官的分布不如 ⁶⁰Co 那样悬殊，趋向于全身性的分布，其中以肌肉和头胸较少。⁶⁰Co、¹³⁷Cs 在对虾各器官的分布不象在罗非鱼各器官那样具有明显的时间进程。

3. ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 在泥蚶各器官的分布

表 6 所示的数据是把泥蚶放在含有 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 的海水里培养 7 天所得的结果。它反映了两种核素在各器官的分布趋势，但不能代表积累核素的最高能力。由表中可以看到其分布顺序 ⁶⁰Co：闭壳肌>外套膜>鳃>消化腺>腹足>外壳>血液>（胃肠、肾），¹³⁷Cs：消

表 4 双核素示踪的 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在罗非鱼各器官的分布

| 器 官 | 核 素 | 比 活 性 $\times 10^{-4} \mu\text{Ci/g}$ | 浓 集 系 数 |
|-------|-------------------|--|-------------|
| 头 部 | ^{60}Co | 3.190 | 1063 6 |
| | ^{137}Cs | 2.490 | |
| 鳞 片 | ^{60}Co | 1.770 | 590 20 |
| | ^{137}Cs | 8.791 | |
| 鳍 | ^{60}Co | 3.739 | 1246 6 |
| | ^{137}Cs | 2.718 | |
| 肌 肉 | ^{60}Co | 0.661 | 220 7 |
| | ^{137}Cs | 2.796 | |
| 鳃 | ^{60}Co | 3.507 | 1169 8 |
| | ^{137}Cs | 3.251 | |
| 胃 肠 | ^{60}Co | 14.79 | 4930 22 |
| | ^{137}Cs | 9.349 | |
| 肝 脏 | ^{60}Co | 7.088 | 2363 21 |
| | ^{137}Cs | 8.815 | |
| 生 殖 腺 | ^{60}Co | 2.837 | 946 11 |
| | ^{137}Cs | 4.763 | |
| 骨 骼 | ^{60}Co | 1.920 | 640 7 |
| | ^{137}Cs | 3.110 | |
| 大 便 | ^{60}Co | 232.1 | 77367 97 |
| | ^{137}Cs | 41.12 | |

表 5 双核素示踪的 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在对虾体内各器官的分布

| 器 官 | 核 素 | 比 活 性 $\times 10^{-4} \mu\text{Ci/g}$ | 浓 集 系 数 |
|-----|-------------------|--|-----------|
| 外 壳 | ^{60}Co | 1.944 | 93 4 |
| | ^{137}Cs | 3.109 | |
| 附 肢 | ^{60}Co | 4.059 | 193 10 |
| | ^{137}Cs | 7.524 | |
| 肌 肉 | ^{60}Co | 0.221 | 11 15 |
| | ^{137}Cs | 11.39 | |
| 头 胸 | ^{60}Co | 4.729 | 225 15 |
| | ^{137}Cs | 11.32 | |

化腺>肾>外套膜>鳃>胃肠>腹足>血液>闭壳肌>外壳。 ^{60}Co 的分布状况和作者以前在毛蚶体内所观察到的结果略有不同^[9]。原来对 ^{60}Co 积累能力最大的消化腺和外壳现在变得不显著。其原因可能是以前的毛蚶是在培养了四个月后的结果。而本实验才仅仅培养七天。这反映了消化腺和外壳虽然对 ^{60}Co 的积累能力强,但必须有一个积累过程,不是很快就能达到的。

表6 双核素示踪的 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在泥蚶各器官的分布:

| 器 官 | 核 素 | 比 活 性 $\times 10^{-4} \mu\text{Ci/g}$ | 浓 集 系 数 |
|-------|-------------------|--|---------|
| 外 壳 | ^{60}Co | 0.74 | 3.7 |
| | ^{137}Cs | 0.84 | 0.3 |
| 外 套 膜 | ^{60}Co | 7.66 | 38 |
| | ^{137}Cs | 14.8 | 5.5 |
| 鳃 | ^{60}Co | 6.33 | 32 |
| | ^{137}Cs | 12.62 | 4.7 |
| 闭 壳 肌 | ^{60}Co | 16.96 | 8.5 |
| | ^{137}Cs | 1.02 | 0.38 |
| 腹 足 | ^{60}Co | 1.09 | 6.0 |
| | ^{137}Cs | 8.66 | 3.2 |
| 消 化 腺 | ^{60}Co | 1.49 | 8 |
| | ^{137}Cs | 20.49 | 7.6 |
| 胃 肠 | ^{60}Co | 未检出 | |
| | ^{137}Cs | 11.64 | 4.3 |
| 血 液 | ^{60}Co | 0.40 | 2 |
| | ^{137}Cs | 2.84 | 1.1 |
| 肾 | ^{60}Co | 未检出 | |
| | ^{137}Cs | 15.01 | 5.6 |

结 论

1. 除对虾外,扁藻、轮虫、泥蚶和鱼肉在单、双核素示踪时对 ^{60}Co 的积累能力大于 ^{137}Cs 。
2. 积累 ^{60}Co 的主要生物是扁藻、泥蚶;积累 ^{137}Cs 的主要生物是扁藻、对虾。
3. 罗非鱼的肌肉比黄鳍鲷更易于浓集 ^{60}Co ,其浓集系数前者为后者的77倍。
4. 胃肠和肝脏是鱼类积累 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的主要器官。
5. 头胸部和附肢是对虾积累 ^{60}Co 的主要器官, ^{137}Cs 在对虾体内倾向于全身性的分布。
6. ^{60}Co 、 ^{137}Cs 在泥蚶体内各器官的积累程度,单核素和双核素两种示踪法所得结果不同,可能是实验的周期不同所致。

参 考 文 献

- [1] 江上信雄,1973。放射能と鱼类。恒星社厚生阁版,261—266。
- [2] Baptist, J. P. et al, 1970. Health Physics, 18: 141—143
- [3] 蔡福龙等,1980。海洋学报,2(2):81—93。

THE ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF ^{60}Co AND ^{137}Cs IN MARINE ORGANISMS

Cai Fulong, Chen Yeng, Wu Jinping, Xu Pi'an

(Third Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography)

Abstract

Phytoplankton (*platumonas* sp.), rotifer (*Brachionus plicatilis* Müller), clam (*Arca granosa* Linnus), shrimp (*Penaeus penicillatus* Alcock) and fish (*Tilapia mosambica* Poster) were respectively, cultured in sea water with ^{60}Co (5×10^{-8} Ci/l) and ^{137}Cs (5×10^{-8} Ci/l)

The accumulative ability of radioactive substance in different organism and the distribution of these radioactive substance in accumulated organism were studied, Ge (Li) gamma-ray detector and S-80 type multi-analyser were used for measuring radioactivity of samples.

It was found that in phytoplankton, rotifer, clam and fish the accumulative ability of ^{60}Co is greater than that of ^{137}Cs . The critical organism for accumulation of ^{60}Co is phytoplankton and clam, and that of ^{137}Cs is phytoplankton and shrimp. In fish the accumulative organs of ^{60}Co and ^{137}Cs are stomach, intestine and liver. In shrimps accumulative organs of ^{60}Co are head and chest, and ^{137}Cs distributes in the whole body of the shrimp.

The different results on degree of accumulation of ^{60}Co and ^{137}Cs in every organ of clam, which are obtained by two tracer methods, i.e. with single nuclide, ^{60}Co or ^{137}Cs , and with both the nuclides, may be due to the variant experimental period in our studies.