

# 海洋放射性污染对鱼类的危害

综述

张秀茶

(国家海洋局第一海洋研究所)

近二十年来,为了弄清海洋中人工放射性物质对海洋生物的危害,国外有关研究人员进行了大量研究工作。

根据电离辐射对水生生物作用的大量实验资料,从生物进化的发展阶段看,鱼类与水生植物区系和动物区系的其他代表相比较,是水生生物中对放射性最敏感的一环。此外,目前渔业是发达国家和发展中国家国民收入不可缺少的一部分,所以必须注意创造有利条件来保护渔业资源和提高鱼类的数量和质量。因此,在估计水环境放射性污染的生物学效应时,研究某些水域中鱼类对电离辐射升高(与天然水平相比较)的反应是重要的。

## 一、鱼类对放射性核素的浓集

从生物的新陈代谢和营养级上看,海洋生物对人工放射性核素的浓集与同化稳定元素和天然放射性核素一样,主要以被动交换和主动吸收两种方式同化进入海洋环境的放射性核素。被动交换是伴随水和组织中放射性核素的浓度梯度的平衡过程进行的,其实质是表面吸附。总表面积大的微型生物吸附效率相当高,这是浮游生物强烈浓集放射性核素的原因之一。主动吸收是通过生物的器官伴随摄食和滤水过程而进行的。鱼类浓集放射性核素的方式主要是主动吸收,通过外皮组织吸附是次要的。鱼类对放射性核素的浓集程度取决于鱼类的生活环境、鱼的种类及生理状态、放射性核素的性质浓度及物理-化学状态等因素。

### 1. 生境对鱼类浓集放射性核素的影响

水中盐类组分的含量对鱼类浓集放射性核素具有影响。在其它情况大体相同时,鱼类对放射性核素的浓集量与水中盐分含量成反比,即水中含盐组分越高,鱼类浓集放射性核素越

少;水中含盐量越低,鱼类浓集放射性核素越多。海水与淡水相比,含有大量的钙盐、钾盐及稳定的锶和钍,所以,海鱼对 $^{90}\text{Sr}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 的浓集远不如淡水鱼强烈。当水环境污染程度相同时,淡水鱼的污染比海鱼严重。据报道,海鱼骨骼中 $^{90}\text{Sr}$ 的浓缩系数在 $1-10^2$ 范围内,而含钙低的淡水湖中的鱼,其骨骼对 $^{90}\text{Sr}$ 的浓缩系数高达 $10^4-10^5$ 。

季节和水温变化对鱼体浓集放射性核素也有影响。通常鱼类对放射性核素的浓集量与水温成正比,即水温越高,浓集越多,反之亦然。总之,鱼类对放射性核素的浓集随生活环境的变化而变化,并遵循生物与外界环境物质交换的规律。

### 2. 鱼的种类和生理状态对放射性核素的浓集具有影响

实验证明,鱼对放射性核素的浓集能力因其种类不同而异。例如,同在污染水中生活12天,鳗鱼皮的污染是淡水鳊的十分之一,是比目鱼的十五分之一。鳗鱼其他组织浓集放射性核素也比其他鱼少得多。

鱼类浓集放射性核素的能力与其生理状态密切相关。通常是鱼龄越小,生理活性越高,他们的组织内浓集放射性核素越快越多。例如,幼鱼浓集放射性核素比成鱼强烈,因为幼鱼骨骼发育需要的钙质比成鱼多,在吸收钙的同时浓集锶。

### 3. 放射性核素的状态、性质对鱼类浓集放射性核素有重要影响

放射性核素以不同的途径和方式进入海洋环境,在各种因素作用下,它们可以处于不同的物理-化学状态。一般来说,只有处于溶解状态的放射性核素才能被水生生物吸收,含在固体粒子中的放射性核素,即处于不交换状态

的放射性核素，实际上不能被生物吸收。

进入生物体的放射性核素在组织中的分配取决于它的性质和生物对化学元素的需求。正如所知，污染海洋的放射性物质主要是长寿命的辐射 $\beta$ 粒子的放射性核素，其中进入鱼的内部组织的主要是放射性铯、钍和碘。铯主要累积在骨骼中，钍在肌肉中，而碘在甲状腺中。在其他组织和器官中这些放射性核素的进入量显著减少。在1—2个月内，肌肉中的钍达到浓缩极限。铯在骨骼中累积进行较慢，经过2—3个月才达到平衡状态，而进入甲状腺中的碘仅在几天内就达到平衡。实验证明，中子活化产物 $^{54}\text{Mn}$ 主要集中于鱼的鳃、骨和肝中，而且浓集速度很慢，需要60—100天才达到平衡状态。 $^{54}\text{Mn}$ 从器官中排出也很慢，骨骼中的有效半衰期为30天，鳃中的为5—6天，肌肉中的为7天。

鱼类对放射性核素的浓集与放射性核素沿食物链转移的性能有关。一般来说，难溶的在消化道中不易被吸收的放射性核素沿食物链转移的能力弱，难于被鱼类浓集。易溶的易被吸收的生原要素沿食物链转移的能力强，易被鱼类浓集。据报道，苏联学者在埃尼威托克珊瑚岛进行核爆后的不同时间内，对其附近捕捞的鱼进行了放化分析。结果表明，核爆后初期捕捞的鲑，因主要浓集 $^{55}\text{Fe}$ ， $^{65}\text{Zn}$ ， $^{95}\text{Zr}$ ， $^{95}\text{Nb}$ 而被污染，并在鲑的肌肉、肝、肾和脾中发现了 $^{57}\text{Co}$ ， $^{58}\text{Co}$ ， $^{60}\text{Co}$ 和 $^{54}\text{Mn}$ 。在核爆后5—7个月捕捞的鲑，分析其骨、肝、肾和肌肉中的放射性核素，发现 $^{65}\text{Zn}$ 占80—90%，放射性钴占1.5%，放射性铁占10—18%。这说明 $^{65}\text{Zn}$ 能长时间参与物质循环，并能有效的被鱼类浓集。放化分析在马绍尔群岛开阔海域捕捞的浮游生物和鱼得知，浮游生物中放射性钴占总放射性的40%以上，而食浮游生物的鱼体内仅占1.5%。相反，浮游生物中放射性锌的含量不超过3%，而食浮游生物的鱼组织内占88%。显然，这是因为钴沿食物链转移能力弱而锌沿食物链转移能力强造成的。

总之，影响鱼类浓集放射性核素的因素很

多，定量关系更难确定，这乃是今后放射生态学的重要研究课题。

## 二、人工放射性核素 对鱼类的危害

进入海洋环境及鱼体内的放射性物质，主要以产生电离辐射造成对鱼类的危害。其根源在于对辐射能的吸收。吸收能量之后可引起不同生物化学过程的变化，从而使组织细胞的结构和生理功能遭受破坏。结果导致酶体系的活性下降，组织生长减慢或停止，甚至死亡。细胞的衰竭产物在组织中分配会引起中毒。环境中的放射性核素对鱼类造成的危害程度与很多因素有关，如水中放射性核素的浓度，鱼组织浓集放射性核素的程度及达平衡的时间，放射性核素的物理性质，鱼的生理状态和其对放射性核素的敏感性等等。

### 1. 水环境中人工放射性核素对鱼类造成的辐射剂量

长期生活在放射性污染环境中的鱼类所受危害的程度，主要取决于所受剂量的强度和吸收的总剂量。在水域中存在人工放射性物质的情况下，鱼类所受辐射的剂量强度是由内部和外部辐射源累积起来的。内辐射源是进入到器官和组织的放射性核素。外辐射源是周围水、水生植物和海底沉积物中的放射性核素。此外，鱼体内某一高度浓集放射性核素的器官可能成为相邻器官的外辐射源。内辐射的剂量强度由鱼类肌体浓集放射性核素的程度和放射性核素的物理特征决定；外辐射剂量强度与鱼类的生态学密切相关。鱼类所受的总辐射剂量由鱼同辐射源接触的时间以及辐射源强度而定。

鱼类从天然辐射源得到的剂量强度约为 $10^{-4}$ 拉德/昼夜。计算表明，目前海洋浮游鱼类吸收的人工放射性核素所造成的辐射剂量强度比从天然辐射源得到的电离辐射剂量强度低2—3个数量级。河流中的鱼类从天然辐射源和人工辐射源得到的辐射剂量强度大体相等。湖泊中的鱼类从人工辐射源比从天然辐射源得到的剂量强度高5—10倍。在有低放射性废液流入

的水域中, 鱼类从人工放射性核素得到的辐射剂量强度可达0.1拉德/昼夜。在计算时, 没有考虑外辐射源造成的剂量。因此, 鱼类从人工放射性核素得到的辐射剂量强度实际上比上述数据高些。可见, 水域中人工放射性核素对鱼类的作用应看作低剂量电离辐射作用。所谓辐射的“低剂量”是指超过天然本底电离辐射10—100倍的剂量。在低剂量条件下, 研究鱼类对辐射的反应是一个难题。

## 2. 电离辐射对鱼类作用的某些规律

为了弄清生活在放射性污染环境中的鱼类对低剂量电离辐射长期作用的反应, 通常将生活在污染环境中的鱼类所受的辐射剂量与在实验条件下辐射对鱼类影响的结果加以比较, 从高剂量外推到低剂量。从大量实验结果可以看出电离辐射对鱼类作用的某些规律性。

研究证明, 处于不同发育阶段的不同类型的海鱼、回游性鱼和淡水鱼在与天然剂量(约为 $10^{-4}$ 拉德/昼夜)大体相等的辐射下, 未引起他们机体内任何功能和构造上的变化。

在某些情况下, 比本底高100—200倍剂量强度的辐射使鱼体内出现大量染色体被破坏的细胞, 并发现造血器官的活动功能和再生系统形成过程发生变化。

在剂量强度为0.1—0.7拉德/昼夜的长期辐射下, 观察到鱼的造血和再生系统有很大反应。现已证明, 受辐射的鱼对寄生性和传染性疾病的抵抗力下降。这种反应是由造血过程、血液形态组分和免疫学反应的变化决定的。鱼的胚胎在剂量强度为0.1拉德/昼夜的长期辐射下, 主要细胞群的造血功能低于未受辐射的鱼类细胞, 间质细胞转化为红血细胞的过程受到阻碍, 表胚层的造血机能也有下降。在剂量强度为2—3拉德/昼夜的长期辐射下, 形态受到破坏的红血球数量增多, 病态有丝分裂数增加。发现在前肾小球方面受到阻碍, 白血球数量的减少导致吞噬细胞的能力下降。造血过程的变化取决于辐射剂量强度和吸收的总剂量。

再生力、生殖力、产生后代的质量是一切生物健全的重要指数。它们决定着种群的数目

和鱼群的增减。现已查明, 在生物虫体的任何发育阶段, 以0.7拉德/昼夜的剂量强度长时间辐射生殖腺都会破坏虫体的形成过程和虫体的生理功能。与未受辐射的相比, 初级细胞有丝分裂周期延长, 导致性分化迟缓或停滞。对雄鱼睾丸的长期辐射会引起糖原含量下降和脂肪含量升高。在生殖组织中, 出现细胞核固缩分解的细胞。对雌鱼卵巢长期照射的结果, 在卵母细胞的分化和发展过程中, 可引起细胞核、细胞质同核-原生质比值的变化。造成卵母细胞的数量减少, 使受辐射雌鱼的相对生殖力比正常情况下降三分之一。受到上述剂量强度辐射的后代的特征是, 生活抵抗力较弱。对生殖腺的辐射剂量强度升高到5—7拉德/昼夜, 会引起较大的变化。当辐射剂量分别达到550—600拉德、1000—1200拉德时, 雄鱼的睾丸和雌鱼的卵巢均失去再生能力。

内分泌系统的功能状况, 尤其是脑垂体对生殖腺的功能与鱼的再生力有密切关系。以0.1拉德/昼夜剂量强度长期辐射脑垂体, 会破坏垂体分泌激素进入血管的过程, 这可造成排卵的障碍, 从而引起产卵期不准。以0.5—0.7拉德/昼夜剂量强度长期辐射脑垂体, 会造成垂体软组织的增生, 产生激素的数量下降, 这种有害影响随着剂量强度的升高而增加。

## 3. 辐射对鱼的有效剂量强度

为了确定对鱼的有效剂量强度, 许多研究者做了大量实验。例如苏联学者Г. Г. Лолы-корпов及其合作者用黑海浮游鱼卵研究证明, 鱼卵对自身吸附的放射性核素的作用有较高的敏感性。当水中 $^{90}\text{Sr}$ 的浓度约为 $10^{-8}$ 居里/升或更高时, 鱼卵的孵化受到阻碍, 并且造成他们早期发育阶段的死亡。孵出幼鱼出现各种异常, 特别是脊椎不正常。当水中 $^{90}\text{Sr}$ 的浓度为 $10^{-4}$ 居里/升时, 用狗鱼受精卵做实验, 其卵出现病态变异。

日本学者在研究热核爆炸后落到鱼船甲板上的沉降灰的溶液对热带鱼卵作用时发现, 当水中放射性核素的浓度为21毫居/升时, 所有胚胎全部死亡。

И. Г. Телишева用剂量强度为10拉德/小时的 $^{137}\text{Cs}$ 对鲤鱼幼鱼实验发现, 辐射剂量为0.05—0.3千拉德对幼鱼未引起实质性变化。但辐射剂量达1千拉德时, 幼鱼生长速度下降, 并且产生明显的射线损伤症。受伤幼鱼痊愈后与对照的幼鱼无区别。辐射剂量超过10千拉德, 幼鱼出现放射性休克现象, 大部分幼鱼缩成一个小球, 沉到海底, 少数幼鱼以快速惊厥的动作呼吸困难地浮到水面, 并发现鳃盖及体表变红。经过放射性休克的个体, 生长缓慢。30—40千拉德的辐射剂量造成全部幼鱼死亡。

研究放射性环境对成鱼功能状态的短期影响具有重要意义, 因为海洋中难以长期存在放射性污染强化的中心, 并有鱼类长期在其中生活。在风、浪、流等因素作用下, 放射性物质很快稀释扩散, 趋于均匀。为了弄清污染中心对鱼类的短期影响, Д. И. Гусев用210条鲫鱼分成三组进行了实验。其中两组分别放在混合裂片放射性核素浓度为0.1微居/升和10微居/升的水中, 生活10天, 然后将鱼转移到流动的无放射性的水中生活一年。第三组用于对照。在一年观察期间发现, 在比放射性为0.1微居/升的水中受污染的鲫鱼与对照组相比, 肌肉的琥珀酸脱氢酶和三磷酸腺苷酶的活性没有发生变化。在比放射性为10微居/升的水中受污染的鲫鱼与对照组相比, 肌肉的琥珀酸脱氢酶的活性下降30% (观察到第三个月), 三磷酸腺苷酶的活性降低40—50% (观察到第4—5个月)。但是鱼的造血器官功能、基本交换、某些酶的活性和性腺的形态学, 都没有因为鱼短期生活在0.1—10微居/升浓度的放射性核素污染的水中而发生实质性变化。

为了研究较长期生活在放射性污染的海水中的鱼受到的辐射剂量, Д. И. Гусев用面积为 $8\text{m}^2$ 的大养鱼缸, 将海鱼养在长寿命的混合裂片放射性核素 (放置4—6个月的铀裂变产生的混合放射性核素) 的水中, 比放射性分别为 $1 \times 10^{-7}$ ,  $1 \times 10^{-8}$ ,  $1 \times 10^{-9}$ 居里/升, 喂食未被放射性核素污染的饵料。进行长期观测, 发现鱼鳃在一年内累积的放射性核素剂量高达

200拉德, 而其他内部器官的累积剂量约为12拉德。200拉德的辐射剂量已引起了明显的生物效应。

根据上述实验结果及有关的大量实验资料确定, 在长期辐射作用下, 对鱼的有效剂量强度为0.1拉德/昼夜。在实验条件下, 鱼在 $^{90}\text{Sr}$ 浓度为 $1 \times 10^{-8}$ 居里/升溶液中长期生活, 其器官肝和生殖腺所受辐射剂量强度可达有效强度。苏联学者在现场条件下进行研究证明, 在水域中 $^{137}\text{Cs}$ 为 $3.9 \times 10^{-9}$ 居里/升的情况下, 鱼体可达有效剂量强度。从以上数据得出结论, 从生态学观点看问题, 在世界大洋水中, 鱼类从人工放射性核素 (沉降产物) 受到的辐射剂量低于有效剂量。在被放射性废物污染的某些水域中, 鱼类受到的辐射剂量等于或高于有效剂量, 它导致鱼类的生命力下降, 破坏其再生功能。因而造成生活在这些水域中的鱼种类减少, 对放射性敏感的鱼类绝迹。当污染海区是开阔海域的一部分时, 要使较清洁海区的鱼类不进入该海区是不可能的。所以不仅仅是局部鱼群受到污染。

今后, 随着核能利用范围的扩大和投弃到海域中的放射性废物的数量增加, 污染海区的面积可能相应增加。所以, 有计划地调查海洋, 特别是有放射性废物排入的海区的污染状况是预测海区污染变化趋势、保护海洋资源的重要环节。进一步研究海洋放射性污染对鱼类的影响, 即从数量上估计鱼卵、幼鱼的放射性死亡率; 弄清幼鱼到成鱼的辐射损伤、鱼类的放射性遗传、退化速度和特征等, 可以预计随水环境放射性污染状况的变化水域中鱼类产量的变化趋势, 以便采取保护鱼类的有效措施。

