

CNIC-01349

IAE-0192

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

一个鱼类辐射剂量计算解剖模型的建立

DEVELOPMENT OF A FISH HETEROGENEOUS
PHANTOM FOR ESTIMATION OF
RADIATION DOSE RATES

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01349, IAE-0192: 一个鱼类辐射剂量计算解剖模型的建立/唐文乔等著. —北京: 原子能出版社, 1999. 7

ISBN 7-5022-2019-4

I. 中… II. 唐… III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-

2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 18857 号

一个鱼类辐射剂量计算解剖模型的建立

唐文乔等著

©原子能出版社, 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

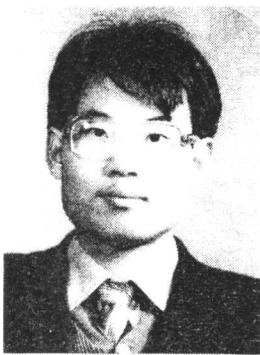
中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16 · 印张 1/2 · 字数 12 千字

1999 年 6 月北京第一版 · 1999 年 6 月北京第一次印刷

定价: 5.00 元



唐文乔：中国原子能科学研究院工学博士。1986年毕业于浙江大学生物系，1989年在中国科学院水生生物研究所获水生生物专业硕士学位，1998年在中国原子能科学研究院获辐射防护与保健物理专业博士学位。

TANG Wenqiao: Doctor and researcher of China Institute of Atomic Energy (CIAE). Graduated from Department of Biology of Zhejiang University in 1986, received M. S. degree in Hydrobiology at Institute of Hydrobiology of China Academy of Sciences in 1989 and Ph. D. degree in Radiation Protection and Health Physics at CIAE in 1998.

CNIC-01349

IAE-0192

一个鱼类辐射剂量计算解剖模型的建立

唐文乔 夏益华 潘自强* 姜希文

(中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

摘 要

选择在我国沿海常见且经济意义重要的纺锤型作为基本外形, 以养殖和捕捞上常见的商品规格作为大小, 以解剖学上较典型的鲈作为参考, 尝试建立了一个作为辐射环境评价使用的、由 10 类器官(或组织)组成的鱼类剂量率估算解剖模型, 给出了各器官的数学描述, 并用蒙特卡罗方法详细计算了单能光子在各解剖器官间相互的能量吸收分数。最后给出了各器官内常见的 29 种核素单位浓度的不同 γ 成分对性腺产生的吸收剂量率。

* 为本院兼职教授, 中国核工业总公司科学技术委员会, 北京 100822。

Development of a Fish Heterogeneous Phantom for Estimation of Radiation Dose Rates (In Chinese)

TANG Wenqiao XIA Yihua PAN Ziqiang JIANG Xiwen
(China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413)

ABSTRACT

A fish heterogeneous phantom is developed for using in the evaluation of radiation environment. Taking account of the current situation of the natural fishery resources, aquaculture and fishery management in the coastal waters of China, the authors select a fusiform 25 cm in length as the external form on the whole and regard the anatomic organs of *Lateolabrax japonicus* as the elementary internal organs. The fish phantom consisting of 10 kinds of organs gives the mathematical descriptions of the organs, and with the Monte Carlo method also gives the absorbed fractions in various organs within the heterogeneous phantom for monoenergetic photon sources uniformly distributed in the organs. Dose rates to genital gland of γ -rays of per unit concentration of 29 kinds of radionuclides from various organs in the fish phantom are also given.

本世纪初人们就注意到电离辐射对动植物的影响。但因人类也是生态系统的组成部分，并被认为是辐射最敏感的生物，因此，“只要人类得到保护，其他生物也就得到保护”便成了 80 年代初以前辐射防护界的主导思想^[1]。但近年发现，许多生物所受的环境辐射剂量率往往大于人类，某些深海生物的辐射敏感性也可能强于人类^[2,3]，同时在一些大的核事故后也观察到了明显的辐射生物效应^[3,4]。因此辐射的环境效应从 80 年代中后期开始日益受到普遍关注，许多国际组织纷纷对此进行评述和开展研讨^[1~7]。但已进行的大部分辐射环境效应研究因未作有效的剂量率估算而难于评价和比较^[4]。因此，UNSCEAR 自 1994 年起将生物的环境剂量率估算作为“辐射环境效应”的一个重要方面加以研究^[3]。

IAEA^[8]，NCRP^[1]，UNSCEAR^[3]等都讨论或推荐过用于计算水生生物环境辐射剂量率的数学方法。由于用数学方法计算生物剂量率与生物的大小和形状有关，因而首先要对各类复杂的生物形态进行概括和简化，建立相应的生物体模。IAEA^[8]，NCRP^[1]，Baker et al.^[9]，Sazykina et al.^[10]，Woodhead^[11]，NRCC^[12]等都提出过有关水生生物的体模，但都建立在体内核素均匀分布这一假设上，都将整个生物体作为源器官和靶器官，而没有区分组织和器官间的差异性。这对结构简单的低等生物可能是合适的，但对鱼类这样组织器官分化较为复杂的脊椎动物，核素在体内的沉积常不均匀，各组织器官对射线的敏感性也不相同。普遍认为现有水生生物体模的假设过于简单，需要加以改进^[3]。

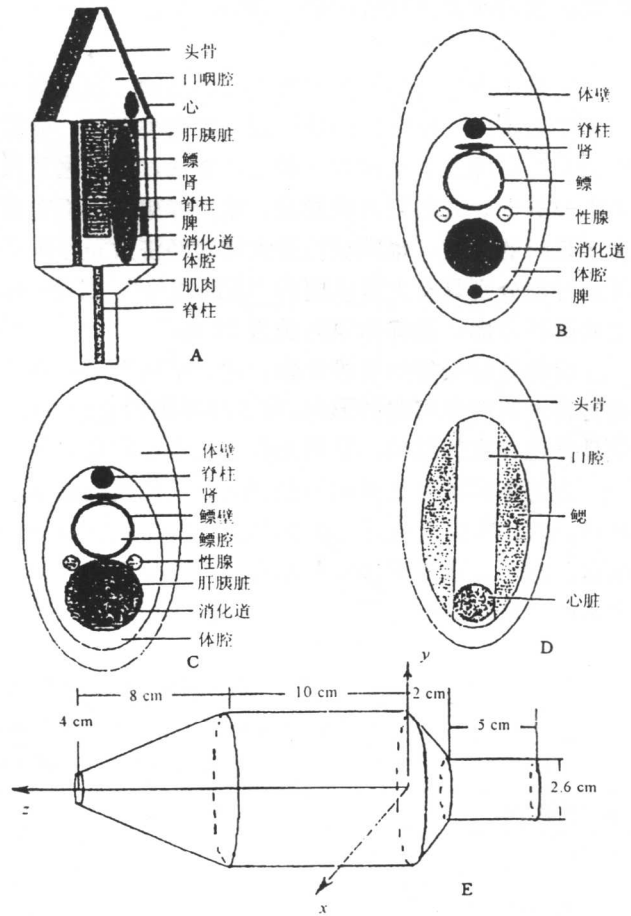


图 1 鱼体模各器官的相对位置和坐标
(Fig. 1 Relative location and coordinate system of organisms of fish phantom)

- A. 纵剖面 (切面 $x=0$) (Vertical section, the section $x=0$)
- B. 躯干部横剖面 I (切面 $z=2$)
(Cross section I of trunk, the section $z=2$)
- C. 躯干部横剖面 II (切面 $z=7$)
(Cross section II of trunk, the section $z=7$)
- D. 头部横剖面 (切面 $z=11$)
(Cross section of head, the section $z=11$)
- E. 外形和坐标 (Dimension and coordinate system)

1 解剖学器官的选择、几何及其数学描述

鱼类是脊椎动物中最大一个门类，全球约 2.0~2.2 万种，我国已记录 3144 种。鱼类间大小不一，形态各异，但基本体型可分为纺锤型、侧扁型、平扁型和棍棒(鳗)型等 4 类^[1a]。在滨海核设施所及范围内，小型纺锤型和侧扁型鱼类不论种类或数量常占较大优势。这里以在我国沿海常见且解剖学上典型的鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 作为鱼形体模的参考外形。

但是，由于鱼是一类终生生长的动物，就是同一种鱼类的个体，其大小也没有长期恒定不变的阶段。所以，即使仅对一种鱼类而言，要在生物学上找到“中值”或“平均”个体也是不可能的。在渔业管理上，常通过限制网目尺寸和控制渔获物最小体长等措施来保护渔业资源，获得可持续发展。水产养殖上人们也常根据消费者的喜好程度和获得种群最大产量时的体重，也即获得最大相对经济效益原则来确定养殖对象的起捕规格，即不同的养殖对象分别具有大致认同的“商品规格”。因此，据根我国沿海渔业资源管理和水产养殖上的这些考虑，选择体模的长为 25 cm。

鱼类是较低等的脊椎动物，相对于鸟兽等高等动物，其组织器官的分化并不完善，有些器官没有明显可辩的形态，有些种类则衍生出许多特异性结构或者缺损某些重要器官。即使是普遍存在的结构，其形态和位置也没有象鸟兽的那样稳定。

为使体模既有鱼类的一般特征，又能使剂量估算简明易用，我们以鲈的解剖学结构为基础，选择具有普遍意义的 10 类组织器官，通过适当的概括和简化，组合成鱼类的解剖学模型。图 1 显示了鱼体模各器官的相对位置和坐标，表 1 和表 2 则列出了鱼体器官的数学模型和元素组成。

表 1 辐射剂量计算用参考鱼器官数学模型
(Table 1 The fish organs mathematical phantom for calculating radiation dose rates to fishes)

组织或器官	数学表达式/cm	体积/cm ³	比重/g·cm ⁻³	重量/g
肌肉系统				
躯干部	$\frac{x^2}{2^2} + \frac{y^2}{4^2} = 1$ $\frac{x^2}{1.5^2} + \frac{(y+0.9)^2}{2.5^2} = 1$ $0 \leq z \leq 10$	133.5	1.1	186.9
臀部	$\frac{x^2}{2^2} + \frac{y^2}{4^2} - \frac{(z+3)^2}{3^2} = 0$ $-2 \leq z \leq 0$	23.5		
尾部	$\frac{x^2}{0.7^2} + \frac{y^2}{1.3^2} = 1$ $-7 \leq z \leq -2$	12.9		
骨骼系统				
头部	$\frac{x^2}{2^2} + \frac{y^2}{4^2} - \frac{(z-20.7)^2}{10.7^2} = 0$ $\frac{x^2}{1.5^2} + \frac{(y+0.5)^2}{3^2} - \frac{(z-18)^2}{8^2} = 0$	50.5	1.4	77.7

续表 1

组织或器官	数学表达式/cm	体积/cm ³	比重/g · cm ⁻³	重量/g
脊椎	$10 \leq z \leq 18$ $x^2 + (y - 1.3)^2 = 0.3^2$ $0 \leq z \leq 10$ $x^2 + y^2 = 0.3^2$ $-7 \leq z \leq 0$	5		
心脏	$\frac{x^2}{0.5^2} + \frac{(y + 2.5)^2}{0.5^2} - \frac{(z - 11)^2}{1^2} = 1$	1.1	1.0	1.1
鳃	$y^2 + (z - 12)^2 = 2^2$ $-0.5 \leq x \leq 0.5$ $10 \leq z \leq 13$	16	1.2	19.2
肾脏	$\frac{x^2}{0.5^2} + \frac{(y - 0.8)^2}{0.1^2} = 1$ $2 \leq z \leq 10$	1.3	1.0	1.3
性腺	$(x + 0.6)^2 + (y + 1.1)^2 = 0.2^2$ $(x - 0.6)^2 + (y + 1.1)^2 = 0.2^2$ $0 \leq z \leq 8$	2	1.0	2.0
鳔	$x^2 + (y + 0.2)^2 = 0.6^2$ $x^2 + (y + 0.2)^2 = 0.8^2$ $2 \leq z \leq 10$	7	1.0	7.0
消化道	$\frac{x^2}{1^2} + \frac{(y + 1.9)^2}{1^2} + \frac{(z - 5)^2}{5^2} = 1$	20.9	1.0	20.9
肝胰脏	$\frac{x^2}{1^2} + \frac{(y + 1.9)^2}{1^2} + \frac{(z - 5)^2}{5^2} = 1$ $x^2 + (y + 1.9)^2 = 2$ $5 \leq z \leq 10$	5.2	1.0	5.2
脾脏	$x^2 + (y + 3.1)^2 = 0.2^2$ $2 \leq z \leq 4$	1.3	1.0	1.3
体腔和口腔内充物		98.6	1.0	98.6
合计				421.2

表 2 参考鱼组织或器官的元素组成

(Table 2 Elemental composition of different tissues or organs in fish phantom) /%

元素	肌肉、心脏、鳃壁、消化管	骨、鳃	肝、肾、脾、性腺	口腔和体腔内充物	鳃内气体
C	10.93	25.49	10.10	—	—
H	10.23	7.34	9.10	10.8	—
O	76.18	47.92	69.20	85.7	23.2
N	2.66	3.06	11.60	—	75.5
Ca	—	16.19	—	0.6	—
Cl	—	—	—	1.9	—
Na	—	—	—	1.0	—
Ar	—	—	—	—	1.3

2 源器官内单能光子对靶器官的能量吸收分数

源器官中发出的光子能量被靶器官吸收的分数即吸收分数的计算,是 γ 内照射剂量率估算的基础。光子能量除了被源器官自身吸收,还可以打到其他器官而被吸收。其吸收分数不仅与源器官和靶器官的形状有关,还与两者的相对位置以及介于两者间的组织和密度有关。核素在鱼体内的分布是不均匀的,但因器官本身的体积较小,在选择体模的器官时也适当考虑了器官本身的组织结构相似性。因而粗略地认为,核素在各器官内的分布大致是均匀的。这里,利用美国洛斯阿拉莫斯实验室研制的 MCNP V. 3a/PC 程序并编入所需源的描述及其抽样方法,直接模拟光子与物质作用的过程,求得所需的能量吸收分数。

MCNP V. 3a/PC 程序的特点是:

- a. 光子输运的能量截断下限是 1 keV;
- b. 在 1~100 keV 能量范围内,用细微的物理方式处理光子输运问题,既考虑了光电子吸收后的荧光光子发射,也对汤姆逊散射和康普顿散射的微分截面进行了修正,使用了计入光子束破效应的适当形状因子;
- c. 在 100 keV 以上的能量范围内,采用简单的物理方式处理光子输运问题,即仅考虑光电效应、电子对产生和康普顿散射,将光电效应作吸收处理而终止光子历史;
- d. 仅有球和圆柱两种通用源,其他源的描述及其抽样方法均须由自己编制;
- e. 所有标准计数都用所处理的总样本数归一后输出,每个输出结果都同时给出了相对误差。在估计量无偏的情况下,其真值以 68% 的概率保证落在 $\bar{x} \pm \sigma(\bar{x})$ 范围内。

计算所得的单能光子在各器官间相互的能量吸收分数见附表 1~10。附表中所列结果的相对误差都控制在 5% 以内,每个单能光子需要跟踪的粒子数大致都在 5 万~800 万之间。

从环境保护的角度看,自然种群通常是生物物种保护的合适对象。现有资料表明,低剂量率环境辐射不会对生物个体产生可察觉的确定性躯体效应,但不可避免地将会对生物产生随机的遗传效应,因此性腺应该是环境放射性辐射危害的关键靶器官。表 3 列出了体模中各器官内单位浓度的 γ 成分对性腺产生的剂量率。

3 讨 论

我们认为,作为辐射环境评价用的鱼类体模,其大小和形状在某些意义上应具有一定的代表性,在解剖结构上应有一定的典型性。另外,体模应简明易用。

如前所述,鱼类不仅包含了许多种类,还是一类终生生长的动物。要在大小十分悬殊且形态和结构复杂多样的鱼群中概括出一个具备一定“普遍性”的体模是困难的。事实上,即使目前在辐射防护上使用的“参考人”,也是经过前后近 30 年的多次修订才逐渐完善的。况且还有“美国参考人”、“日本参考人”等地区性“参考人”。因此,仅用一个体模要代表 2 万余种鱼类的特征并满足不同的实践需求是不现实的。

但生活在慢性辐射环境中的鱼类,其体内核素通常与外界处于平衡状态,各组织器官中的核素含量通常也可以解剖后直接测定。因此,体模中不必考虑核素的代谢状况。另外,通常在体外受精的鱼类,因缺乏有效的繁殖选择性而使种内个体间的差异往往十分细微,也即个体具有较好的种群代表性。这些都是建立鱼类体模的便利之处。

表3 体模中各器官内单位核素浓度的 γ 成分对性腺产生的剂量率
(Table 3 Dose rates to genital gland of γ -rays of per unit concentration of various radionuclides from various organs in fish phantom)

(Gy $\cdot$ h $^{-1}$)/(Bq $\cdot$ g $^{-1}$)

核素	肌肉	骨骼	肾	鳃	性腺	消化道	肝	心脏	鳃	脾
^{40}K	2.4E-9	3.0E-10	2.6E-11	3.3E-10	7.0E-10	1.1E-9	1.2E-10	6.2E-12	7.8E-11	6.5E-12
^{51}Cr	5.3E-9	6.4E-11	6.3E-12	7.7E-11	7.7E-9	2.5E-10	2.8E-11	1.1E-11	1.3E-11	1.5E-12
^{54}Mn	1.4E-8	1.7E-9	1.6E-10	2.0E-9	4.8E-9	6.4E-9	7.3E-10	3.0E-11	4.6E-10	5.3E-11
^{59}Fe	1.6E-8	2.3E-9	2.1E-10	2.6E-9	5.3E-9	8.5E-9	6.1E-10	4.5E-11	6.1E-10	5.1E-11
^{58}Co	1.9E-8	2.2E-9	2.0E-10	2.3E-9	5.5E-9	7.5E-9	8.6E-10	3.5E-11	5.4E-10	4.5E-11
^{60}Co	3.9E-8	4.9E-9	4.4E-10	5.5E-9	1.1E-8	1.8E-8	2.0E-9	8.7E-11	1.3E-9	1.1E-10
^{89}Sr	2.1E-12	2.8E-13	2.6E-14	3.2E-13	6.0E-13	1.0E-12	1.2E-13	4.9E-15	7.4E-14	6.2E-15
^{91}Sr	1.2E-8	1.4E-9	1.3E-10	1.6E-9	3.3E-9	5.2E-9	5.9E-10	2.5E-11	3.8E-10	3.2E-11
^{91}Y	5.7E-11	7.0E-12	6.3E-13	8.0E-12	1.4E-11	2.6E-11	2.9E-12	1.3E-13	1.9E-12	1.6E-13
^{95}Zr	1.3E-8	1.5E-9	1.4E-10	1.8E-9	3.6E-9	5.7E-9	6.5E-10	2.7E-11	4.1E-10	3.7E-11
$^{95\text{m}}\text{Nb}$	9.5E-10	5.5E-10	1.3E-11	2.4E-10	2.5E-9	4.6E-10	9.5E-11	1.2E-12	3.5E-11	2.7E-12
^{99}Mo	2.6E-9	3.2E-10	3.0E-11	3.7E-10	7.5E-10	1.2E-9	1.4E-10	5.6E-12	8.5E-11	7.2E-12
$^{99\text{m}}\text{Te}$	1.2E-9	2.3E-10	2.3E-11	2.7E-10	5.4E-10	9.0E-10	1.0E-10	3.9E-12	6.3E-11	5.6E-12
^{103}Ru	8.4E-9	1.5E-9	9.6E-11	1.2E-9	2.4E-9	3.8E-9	4.4E-10	1.8E-11	2.6E-10	2.3E-11
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	4.5E-8	5.5E-9	5.2E-10	6.4E-9	1.3E-8	2.1E-8	5.9E-10	9.8E-11	1.5E-9	1.3E-10
^{124}Sb	2.8E-8	3.6E-9	3.2E-10	4.2E-9	8.3E-9	1.3E-8	1.5E-9	6.4E-11	9.5E-10	8.2E-11
^{131}I	6.6E-9	7.9E-10	7.6E-11	9.4E-10	1.8E-9	3.0E-9	3.4E-10	1.4E-11	2.1E-10	1.8E-11
$^{131\text{m}}\text{Te}$	5.7E-14	2.4E-14	1.1E-13	2.6E-13	1.6E-12	2.7E-13	1.2E-13	1.7E-14	1.8E-14	8.0E-14
^{132}Te	4.6E-9	5.2E-10	7.9E-11	1.0E-9	1.6E-9	3.1E-9	2.8E-10	7.6E-12	1.4E-10	1.3E-11
^{133}I	1.0E-8	1.7E-9	1.1E-10	1.3E-10	2.9E-9	4.6E-9	5.2E-10	2.1E-11	3.2E-10	2.8E-11
^{134}Ce	2.5E-8	3.2E-9	3.0E-10	3.7E-9	7.6E-9	1.2E-8	1.4E-9	5.7E-11	8.5E-10	7.3E-11
^{136}Cs	3.6E-8	4.3E-9	4.0E-10	5.0E-9	9.3E-9	1.6E-8	1.9E-9	7.6E-11	1.2E-9	9.7E-11
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	9.3E-9	1.2E-9	1.2E-10	1.4E-9	3.0E-9	4.6E-9	5.1E-10	2.2E-11	3.3E-10	2.8E-11
^{140}Ba	3.5E-9	6.2E-10	3.7E-11	5.7E-10	1.0E-9	1.8E-9	1.8E-10	7.1E-12	1.1E-10	9.2E-12
^{140}La	3.2E-8	4.4E-9	4.0E-10	5.0E-9	1.0E-8	1.7E-8	1.8E-9	7.8E-11	1.1E-9	9.8E-11
^{141}Ce	1.1E-9	1.3E-10	1.3E-11	1.6E-10	3.4E-10	5.0E-10	8.2E-12	2.1E-12	3.5E-11	2.9E-12
^{143}Ce	5.1E-9	6.0E-10	3.3E-11	7.5E-10	1.5E-9	2.4E-9	2.7E-10	1.0E-11	1.6E-10	1.3E-11
^{144}Ce	3.7E-10	4.2E-11	4.9E-12	5.7E-11	1.1E-10	1.8E-10	2.4E-11	7.3E-13	1.3E-11	1.4E-12
^{144}Pr	3.7E-10	4.4E-11	3.1E-12	4.2E-11	1.0E-10	1.3E-10	1.5E-11	6.3E-13	1.2E-11	7.9E-13

我们选择在我国沿海最常见且经济上最重要的纺锤型作为整体的基本形状,以养殖和捕捞上常见的商品规格作为大小,以在解剖学上较典型的鲈作为参考,建立了由10类组织或器官组成的鱼类剂量估算解剖模型。

应该指出, 模型试图在一定程度上代表我国沿海较大型经济鱼类的一般特征, 以供辐射环境评价使用。但由于模型本身并不完善, 也没有提供 β 辐射的剂量率估算参数, 所以还需要不断改进和完善。

参考文献

- 1 NCRP. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Rep. No. 109, 1991
- 2 IAEA. Assessing the Impact of Deep Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste on Living Marine Resources. Tech. Rep. Ser. No. 288. Vienna, 1988
- 3 UNSCEAR. UNSCEAR1996 Report; Effects of Radiation on the Environment. Vienna, 1996
- 4 IAEA. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Tech. Rep. Ser. No. 332. Vienna, 1992
- 5 Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU). Radioecology after Chernobyl. SCOPE50. John Wiley & Sons, 1993
- 6 Sarchenko V K. Ecology of the Chernobyl Catastrophe; Scientific Outlines of an International Program of Collaborative Research. UNSCO, MB series No. 16. Paris, 1995
- 7 Hunt G J, Kershaw P J, Swift D J. Radionuclides in the Ocean (RADOX 96-97) Part 2: Distribution, Models and Impacts. Radiat. Prot. Dosim, 75 (1~4): 1~267, 1998
- 8 IAEA. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems. Tech. Rep. Ser. No. 172. Vienna, 1976
- 9 Baker D A, Soldat J K. Methods for Estimating Doses to Organisms from Radioactive Materials Released into the Aquatic Environment. Pacific Northwest Laboratory, Washington, 1992
- 10 Sazykina T G, Kryshev I I, Kryshev, A I. Doses to marine biota from radioactive waste dumping in the Fjords of Novaya Zemlya. Radiat. Prot. Dosim. 1998, 75 (1~4): 253~256
- 11 Woodhead D S. The estimation of radiation dose rates to fish in contaminated environments, and the assessment of the possible consequences. in: Population Dose Evaluation and Standards for Man and His Environment. IAEA. 1974, 555~575
- 12 NRCC, Radioactivity in the Canadian aquatic environment. NRCC Rep. No. 19250, 1983
- 13 孟庆闻, 苏锦祥, 李婉瑞. 鱼类比较解剖. 北京: 科学出版社, 1987

附表 1 不同能量射线在各器官中的吸收分数(源在性腺)*

(Table 1 Absorbed fractions in various organs for uniform source in genital gland)

光子能量 (MeV)	胸部 肌肉	胸部 椎骨	肾	脾	性腺	消化道	肝	脾	肾部 肌肉	肾部 椎骨	尾部 肌肉	头部	鳃	心脏
0.004	—	—	—	—	9.61E-1	—	1.290E-4	—	7.920E-4	—	—	—	—	—
0.006	—	—	—	—	8.824E-1	2.542E-4	9.700E-4	—	2.682E-3	—	—	—	—	—
0.008	—	—	—	—	7.356E-1	1.396E-3	2.622E-3	—	6.434E-3	—	—	—	—	—
0.01	3.668E-3	—	8.082E-4	—	5.556E-1	4.018E-3	4.206E-3	—	1.226E-2	—	—	—	—	—
0.02	1.864E-1	3.512E-3	6.246E-3	1.220E-2	1.127E-1	1.054E-2	4.304E-3	1.949E-3	3.990E-2	7.586E-4	5.896E-4	2.152E-3	1.853E-3	1.139E-4
0.04	1.031E-1	1.893E-2	1.885E-3	2.816E-3	1.705E-2	2.967E-3	1.269E-2	1.149E-3	1.791E-2	5.434E-4	8.990E-4	7.574E-3	2.800E-3	1.939E-4
0.06	5.616E-2	8.692E-4	9.580E-4	1.397E-3	8.344E-3	1.492E-3	6.584E-4	6.136E-4	9.640E-3	2.596E-4	5.830E-4	4.480E-3	1.475E-3	1.184E-4
0.08	4.540E-2	5.700E-4	7.482E-4	1.252E-3	6.950E-3	1.195E-3	5.376E-4	5.060E-4	7.582E-3	1.790E-4	4.892E-4	3.210E-3	1.007E-3	9.872E-5
0.1	4.316E-2	4.720E-4	7.046E-4	1.061E-3	6.840E-3	1.137E-3	5.126E-4	4.816E-4	8.202E-3	1.496E-4	1.495E-4	4.902E-4	8.570E-4	9.264E-5
0.2	4.682E-2	4.176E-4	7.356E-4	1.538E-3	7.868E-3	1.237E-3	5.654E-4	5.028E-4	8.202E-3	1.464E-4	6.004E-4	2.738E-3	7.792E-4	1.042E-4
0.4	5.034E-2	4.238E-4	7.534E-4	1.227E-3	8.608E-3	1.326E-3	6.090E-4	5.624E-4	8.858E-3	1.599E-4	6.970E-4	3.054E-3	8.244E-4	1.105E-4
0.6	5.018E-2	4.170E-4	7.408E-4	1.217E-3	8.602E-3	1.318E-3	6.080E-4	5.882E-4	8.848E-3	1.621E-4	7.274E-4	3.128E-3	8.260E-4	1.114E-4
0.8	4.906E-2	4.072E-4	7.214E-4	1.185E-3	8.386E-3	1.283E-3	5.960E-4	5.468E-4	8.656E-3	1.560E-4	7.178E-4	3.114E-3	8.134E-4	1.113E-4
1.0	4.785E-2	3.928E-4	6.938E-4	1.144E-3	8.114E-3	1.241E-3	5.758E-4	5.258E-4	8.400E-3	1.506E-4	7.090E-4	3.058E-3	7.966E-4	1.097E-4
1.2	4.592E-2	3.794E-4	6.684E-4	1.099E-3	7.786E-3	1.195E-3	5.534E-4	5.168E-4	8.086E-3	1.478E-4	6.994E-4	2.982E-3	7.710E-4	1.089E-4
1.4	4.444E-2	3.656E-4	6.426E-4	1.061E-3	7.522E-3	1.155E-3	5.358E-4	5.012E-4	7.836E-3	1.441E-4	6.998E-4	2.912E-3	7.448E-4	1.069E-4
1.6	4.304E-2	3.516E-4	6.134E-4	1.027E-3	7.284E-3	1.118E-3	5.224E-4	4.740E-4	6.004E-3	1.406E-4	6.710E-4	2.858E-3	7.208E-4	1.013E-4
1.8	4.164E-2	3.394E-4	5.916E-4	9.918E-4	7.042E-3	1.081E-3	5.048E-4	4.586E-4	7.368E-3	1.366E-4	6.606E-4	2.774E-3	6.994E-4	9.958E-5
2.0	4.158E-2	3.284E-4	5.738E-4	9.638E-4	6.842E-3	1.051E-3	4.908E-4	4.442E-4	7.172E-3	1.331E-4	6.444E-4	2.716E-3	6.834E-4	9.798E-5
2.2	3.936E-2	3.184E-4	5.558E-4	9.334E-4	6.624E-3	1.018E-3	4.754E-4	4.324E-4	6.960E-3	1.303E-4	6.318E-4	2.656E-3	6.646E-4	9.522E-5
2.4	3.830E-2	3.094E-4	5.392E-4	9.066E-4	6.436E-3	9.898E-3	4.624E-4	4.214E-4	6.770E-3	1.268E-4	6.178E-4	2.598E-3	6.484E-4	9.228E-5
2.6	3.738E-2	3.020E-4	5.250E-4	8.838E-4	6.274E-3	9.654E-3	4.512E-4	4.270E-4	6.606E-3	1.240E-4	6.040E-4	2.546E-3	6.348E-4	9.000E-5
2.8	3.658E-2	2.956E-4	5.130E-4	8.640E-4	6.132E-3	9.442E-3	4.418E-4	4.048E-4	6.464E-3	1.216E-4	5.942E-4	2.500E-3	6.224E-4	8.838E-5
3.0	3.588E-2	2.898E-4	5.028E-4	8.472E-4	6.010E-3	9.258E-3	4.336E-4	3.974E-4	6.344E-3	1.193E-4	5.848E-4	2.461E-3	6.114E-4	8.678E-5

* 所有计算结果的相对误差都小于 5% 下同。

附表 2 不同能量 γ 射线在各器官中的吸收分数(源在肌肉)

光子能量 (MeV)	肌肉	骨骼	肾	脾	性腺	消化道	肝	心脏	脾	脾
0.004	9.919E-1	1.337E-4	—	—	—	—	—	—	—	—
0.006	9.718E-1	4.544E-4	—	—	—	—	—	—	4.076E-5	—
0.008	9.312E-1	1.042E-3	—	—	—	—	—	—	1.045E-4	—
0.01	8.663E-1	1.943E-3	—	—	—	1.159E-5	2.643E-5	—	2.248E-4	2.961E-4
0.02	4.325E-1	7.307E-3	1.106E-3	7.655E-4	5.579E-4	5.273E-4	4.736E-4	8.630E-5	1.791E-3	8.810E-4
0.04	1.027E-1	5.738E-3	6.032E-4	3.981E-4	3.421E-4	3.033E-4	2.376E-4	9.130E-4	1.641E-3	3.092E-4
0.06	5.215E-2	3.005E-3	3.295E-4	2.147E-4	1.714E-4	1.646E-4	1.309E-4	5.433E-5	8.274E-4	1.693E-4
0.08	4.247E-2	2.106E-3	2.694E-4	1.732E-4	1.552E-4	1.346E-4	1.086E-4	4.804E-5	5.705E-4	1.396E-4
0.1	4.108E-2	1.829E-3	2.534E-4	1.649E-4	1.480E-4	1.275E-4	1.038E-4	4.538E-5	4.835E-4	1.349E-4
0.2	4.597E-2	1.819E-3	2.798E-4	1.746E-4	1.635E-4	1.395E-4	1.139E-4	5.012E-5	4.548E-4	1.540E-4
0.3	4.893E-2	1.945E-3	2.928E-4	1.881E-4	1.726E-4	1.474E-4	1.209E-4	5.045E-5	4.812E-4	1.639E-4
0.4	5.008E-2	2.012E-3	2.971E-4	1.919E-4	1.765E-4	1.504E-4	1.238E-4	5.620E-5	4.924E-4	1.715E-4
0.5	5.032E-2	2.050E-3	2.967E-4	1.921E-4	1.771E-4	1.513E-4	1.246E-4	5.812E-5	4.955E-4	1.728E-4
0.6	5.010E-2	2.060E-3	2.951E-4	1.884E-4	1.598E-4	1.481E-4	1.238E-4	5.638E-5	4.934E-4	1.698E-4
0.7	4.950E-2	2.054E-3	2.916E-4	1.882E-4	1.745E-4	1.483E-4	1.219E-4	5.728E-5	4.896E-4	1.710E-4
0.8	4.899E-2	2.028E-3	2.888E-4	1.860E-4	1.722E-4	1.466E-4	1.206E-4	5.689E-5	4.843E-4	1.627E-4
0.9	4.820E-2	2.039E-3	2.835E-4	1.833E-4	1.687E-4	1.446E-4	1.188E-4	5.700E-5	4.776E-4	1.655E-4
1.0	4.747E-2	1.642E-3	2.816E-4	1.804E-4	1.666E-4	1.424E-4	1.175E-4	5.519E-5	4.738E-4	1.604E-4
1.2	4.570E-2	1.970E-3	2.698E-4	1.736E-4	1.598E-4	1.402E-4	1.130E-4	5.382E-5	4.577E-4	1.560E-4
1.4	4.424E-2	1.928E-3	2.616E-4	1.680E-4	1.547E-4	1.328E-4	1.099E-4	5.351E-5	4.453E-4	1.539E-4
1.6	4.285E-2	1.882E-3	2.540E-4	1.624E-4	1.463E-4	1.282E-4	1.066E-4	5.158E-5	4.319E-4	1.476E-4
1.8	4.148E-2	1.827E-3	2.461E-4	1.573E-4	1.456E-4	1.243E-4	1.035E-4	4.939E-5	4.211E-4	1.441E-4
2.0	4.036E-2	1.787E-3	2.396E-4	1.531E-4	1.413E-4	1.210E-4	1.006E-4	4.839E-5	4.107E-4	1.398E-4
2.2	3.912E-2	1.743E-3	2.326E-4	1.486E-4	1.375E-4	1.175E-4	9.731E-5	4.648E-5	3.987E-4	1.347E-4
2.4	3.804E-2	1.728E-3	2.266E-4	1.452E-4	1.336E-4	1.143E-4	9.496E-5	4.550E-5	3.884E-4	1.313E-4
2.6	3.711E-2	1.669E-3	2.211E-4	1.409E-4	1.302E-4	1.116E-4	9.259E-5	4.441E-5	3.803E-4	1.290E-4
2.8	3.630E-2	1.638E-3	2.162E-4	1.375E-4	1.275E-4	1.092E-4	9.070E-5	4.347E-5	3.736E-4	1.253E-4
3.0	3.560E-2	1.610E-3	2.121E-4	1.353E-4	1.251E-4	1.079E-4	8.893E-5	4.265E-5	3.673E-4	1.227E-4

附表 3 不同能量/射线的吸收分数(源在骨骼)

(Table 3 Absorbed fractions in various organs for uniform source in skeleton)

光子能量 (MeV)	肌肉	骨骼	肾	脾	性腺	消化道	肝	心脏	鳃	脾
0.004	2.410E-4	9.674E-1	—	—	—	2.562E-3	3.295E-5	—	1.830E-4	—
0.006	7.735E-4	9.143E-1	—	—	6.519E-6	2.514E-3	1.002E-4	—	6.217E-4	—
0.008	1.773E-3	8.435E-1	—	1.810E-5	3.751E-5	2.417E-3	1.996E-4	—	1.429E-3	2.521E-5
0.01	3.291E-3	6.321E-1	—	5.222E-5	1.035E-4	2.255E-3	3.008E-4	—	2.792E-3	1.016E-4
0.02	1.762E-2	4.377E-1	2.017E-4	2.306E-4	2.802E-4	9.828E-4	3.413E-4	4.829E-5	1.267E-2	3.030E-4
0.04	1.173E-2	1.264E-1	1.894E-4	1.129E-4	1.155E-4	2.330E-4	1.808E-4	1.395E-4	8.046E-3	1.031E-4
0.06	7.106E-3	5.510E-2	1.158E-4	9.387E-5	6.678E-5	1.235E-4	1.105E-4	9.655E-5	3.922E-3	5.287E-5
0.08	5.964E-3	3.764E-2	9.641E-5	7.765E-5	5.616E-5	1.013E-4	9.265E-5	8.156E-5	2.675E-3	4.304E-5
0.1	5.770E-3	3.363E-2	9.333E-5	7.460E-5	5.375E-5	9.770E-5	9.583E-5	7.796E-5	2.286E-3	4.153E-5
0.2	6.519E-3	3.243E-2	1.025E-4	8.124E-5	5.987E-5	1.093E-4	9.877E-5	7.793E-5	2.163E-3	4.703E-5
0.3	7.017E-3	3.413E-2	1.086E-4	8.608E-5	6.356E-5	1.163E-4	1.065E-4	9.544E-5	2.250E-3	5.049E-5
0.4	7.277E-3	3.485E-2	1.121E-4	8.812E-5	6.500E-5	1.190E-4	1.080E-4	9.660E-5	2.285E-3	5.189E-5
0.5	7.382E-3	3.499E-2	1.135E-4	8.869E-5	6.598E-5	1.199E-4	1.083E-4	9.627E-5	2.285E-3	5.272E-5
0.6	7.404E-3	3.482E-2	1.125E-4	8.831E-5	6.501E-5	1.197E-4	1.0801E-4	9.536E-5	2.270E-3	5.324E-5
0.7	7.430E-3	3.439E-2	1.132E-4	8.790E-5	6.490E-5	1.185E-4	1.059E-4	9.495E-5	2.235E-3	5.329E-5
0.8	7.436E-3	3.410E-2	1.122E-4	8.681E-5	6.422E-5	1.173E-4	1.044E-4	9.474E-5	2.212E-3	5.296E-5
0.9	7.269E-3	3.363E-2	1.101E-4	8.597E-5	6.343E-5	1.156E-4	1.032E-4	9.368E-5	2.180E-3	5.293E-5
1.0	7.183E-3	3.320E-2	1.105E-4	8.439E-5	6.236E-5	1.138E-4	1.020E-4	9.233E-5	2.141E-3	5.025E-5
1.2	6.984E-3	3.218E-2	1.047E-4	8.199E-5	6.089E-5	1.095E-4	9.838E-5	8.906E-5	2.064E-3	4.894E-5
1.4	6.805E-3	3.107E-2	1.017E-4	7.968E-5	5.945E-5	1.066E-4	9.571E-5	8.583E-5	1.998E-3	4.750E-5
1.6	6.641E-3	3.014E-2	9.940E-5	7.789E-5	5.756E-5	1.036E-4	9.355E-5	8.304E-5	1.933E-3	4.824E-5
1.8	6.438E-3	2.917E-2	9.596E-5	7.518E-5	5.589E-5	1.007E-4	9.034E-5	8.159E-5	1.874E-3	4.599E-5
2.0	6.287E-3	2.839E-2	9.337E-5	7.307E-5	5.445E-5	9.764E-5	8.795E-5	7.889E-5	1.824E-3	4.451E-5
2.2	6.119E-3	2.755E-2	9.083E-5	7.091E-5	5.276E-5	9.450E-5	8.533E-5	7.674E-5	1.770E-3	4.284E-5
2.4	5.842E-3	2.681E-2	8.855E-5	6.912E-5	5.105E-5	9.200E-5	8.307E-5	7.464E-5	1.725E-3	4.222E-5
2.6	5.376E-3	2.608E-2	8.616E-5	9.784E-5	5.047E-5	8.983E-5	8.110E-5	7.269E-5	1.659E-3	4.135E-5
2.8	5.573E-3	2.683E-2	8.069E-5	6.866E-5	5.078E-5	8.922E-5	8.211E-5	7.074E-5	1.731E-3	4.141E-5
3.0	5.680E-3	2.576E-2	8.265E-5	6.499E-5	4.875E-5	8.638E-5	7.792E-5	6.938E-5	1.619E-3	3.880E-5

附表 4 不同能量 γ 射线在鱼体各器官中的吸收分数(源在心脏)

(Table 4 Absorbed fractions in various organs for uniform source in heart)

光子能量 (MeV)	鳃部 肌肉	鳃部 脊椎	肾	鳃	性腺	消化道	肝	脾	鳃部 肌肉	鳃部 脊椎	尾部 肌肉	头部	鳃	心脏
0.004	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.053E-4	9.398E-1
0.006	—	—	—	—	—	6.808E-5	—	—	—	—	—	1.174E-3	1.161E-3	9.021E-1
0.008	—	—	—	—	—	3.707E-3	—	—	—	—	—	6.781E-2	6.085E-2	8.270E-1
0.01	—	—	—	—	—	1.761E-5	1.753E-3	—	—	—	—	2.297E-2	1.851E-2	7.109E-1
0.02	1.522E-2	1.351E-5	2.746E-4	2.881E-4	5.864E-5	4.288E-4	4.779E-3	—	—	—	—	1.410E-1	7.104E-2	6.931E-1
0.04	1.537E-2	2.218E-4	2.298E-4	2.338E-4	9.213E-5	2.408E-4	1.540E-3	2.860E-5	1.717E-4	5.372E-6	1.578E-5	5.909E-2	2.409E-2	2.948E-2
0.06	9.288E-3	9.142E-5	1.321E-4	1.332E-4	5.702E-5	1.334E-4	7.913E-4	2.087E-5	1.470E-4	4.192E-6	1.495E-5	2.677E-2	1.032E-2	1.413E-2
0.08	7.744E-3	7.901E-5	1.081E-4	1.083E-4	4.766E-5	1.081E-4	6.398E-4	1.826E-5	1.377E-4	1.790E-4	1.578E-5	1.824E-2	6.898E-3	1.160E-2
0.1	7.419E-3	6.574E-5	1.015E-4	1.014E-4	4.580E-5	1.023E-4	6.086E-4	1.881E-5	1.395E-4	1.496E-4	1.669E-5	1.566E-2	5.859E-3	1.133E-2
0.2	8.309E-3	5.968E-5	1.083E-4	1.088E-4	5.103E-5	1.116E-4	6.670E-4	2.179E-5	1.807E-4	1.464E-4	2.469E-5	1.517E-2	5.568E-3	1.291E-2
0.3	8.910E-3	6.112E-5	1.126E-4	1.141E-4	5.490E-5	1.180E-4	7.003E-4	2.482E-5	2.132E-4	1.533E-4	3.247E-5	1.586E-2	5.772E-3	1.377E-2
0.4	9.181E-3	6.164E-5	1.134E-4	1.163E-4	5.702E-5	1.207E-4	7.112E-4	2.873E-5	2.299E-4	1.599E-4	3.642E-5	1.615E-2	5.843E-3	1.409E-2
0.5	9.281E-3	6.206E-5	1.129E-4	1.166E-4	5.508E-5	1.217E-4	7.111E-4	3.090E-5	2.445E-4	1.616E-4	4.131E-5	1.621E-2	5.838E-3	1.414E-2
0.6	9.294E-3	6.138E-5	1.116E-4	1.162E-4	5.817E-5	1.210E-4	7.065E-4	3.059E-5	2.546E-4	1.621E-4	4.504E-5	1.612E-2	5.794E-3	1.406E-2
0.7	9.219E-3	6.030E-5	1.093E-4	1.145E-4	5.752E-5	1.197E-4	6.965E-4	3.116E-5	2.586E-4	1.581E-4	4.676E-5	1.592E-2	5.709E-3	1.387E-2
0.8	9.153E-3	5.938E-5	1.080E-4	1.133E-4	5.735E-5	1.187E-4	6.883E-4	3.078E-5	2.621E-4	1.560E-4	4.844E-5	1.575E-2	5.637E-3	1.372E-2
0.9	9.027E-3	5.785E-5	1.048E-4	1.120E-4	5.675E-5	1.172E-4	6.747E-4	3.551E-5	2.647E-4	1.536E-4	4.961E-5	1.550E-2	5.536E-3	1.348E-2
1.0	8.913E-3	5.762E-5	1.027E-4	1.096E-4	5.761E-5	1.158E-4	6.641E-4	3.369E-5	2.670E-4	1.506E-4	5.213E-5	1.527E-2	5.448E-3	1.327E-2
1.2	8.653E-3	5.545E-5	9.955E-5	1.063E-4	5.459E-5	1.120E-4	6.396E-4	3.260E-5	2.664E-4	1.478E-4	5.354E-5	1.471E-2	5.235E-3	1.274E-2
1.4	8.410E-3	5.365E-5	9.614E-5	1.031E-4	5.326E-5	1.087E-4	6.183E-4	3.119E-5	2.661E-4	1.441E-4	5.613E-5	1.424E-2	5.059E-3	1.231E-2
1.6	8.183E-3	5.157E-5	9.283E-5	9.995E-5	5.193E-5	1.056E-4	5.983E-4	3.031E-5	2.625E-4	1.406E-4	5.559E-5	1.380E-2	4.900E-3	1.191E-2
1.8	7.949E-3	4.996E-5	9.006E-5	9.678E-5	5.030E-5	1.024E-4	5.786E-4	3.034E-5	2.586E-4	1.366E-4	5.675E-5	1.337E-2	4.739E-3	1.151E-2
2.0	7.753E-3	4.859E-5	8.747E-5	9.429E-5	4.925E-5	9.964E-5	5.625E-4	2.980E-5	2.544E-4	1.331E-4	5.649E-5	1.301E-2	4.610E-3	1.118E-2
2.2	7.544E-3	4.731E-5	8.480E-5	9.155E-5	4.776E-5	9.679E-5	5.452E-4	2.881E-5	2.492E-4	1.303E-4	5.707E-5	1.262E-2	4.467E-3	1.083E-2
2.4	7.354E-3	4.598E-5	8.248E-5	8.926E-5	4.677E-5	9.428E-5	5.301E-4	2.745E-5	2.457E-4	1.268E-4	5.655E-5	1.229E-2	4.345E-3	1.052E-2
2.6	7.188E-3	4.494E-5	8.038E-5	8.699E-5	4.583E-5	9.211E-5	5.170E-4	2.657E-5	2.418E-4	1.240E-4	5.652E-5	1.200E-2	4.239E-3	1.025E-2
2.8	7.041E-3	4.395E-5	7.843E-5	8.520E-5	4.477E-5	9.012E-5	5.043E-4	2.639E-5	2.381E-4	1.216E-4	5.624E-5	1.174E-2	4.148E-3	1.002E-2
3.0	6.916E-3	4.312E-5	7.679E-5	8.359E-5	4.384E-5	8.849E-5	4.945E-4	2.575E-5	2.352E-4	1.193E-4	5.562E-5	1.153E-2	4.070E-3	9.817E-3

附表 5 不同能量 γ 射线在各器官中的吸收分数(源在消化道)

光子能量 (keV)	Absorbed fractions in various organs for uniform source in digestive tract													
	腹部 肌肉	腹部 肋骨	肾	肾上腺	性腺	消化道	肝	脾	臀部 肌肉	臀部 脊内	尾部 肌肉	头部	鳃	心脏
0.004	—	—	—	—	—	4.738E-2	6.104E-4	—	—	—	—	—	—	—
0.006	—	—	—	—	1.211E-4	4.650E-2	1.848E-3	—	—	—	—	—	—	—
0.008	—	—	—	—	6.891E-4	4.471E-2	3.678E-3	5.078E-4	—	—	—	—	—	—
0.01	1.859E-3	—	2.256E-4	—	1.915E-3	4.172E-2	5.564E-3	1.880E-3	3.317E-4	—	—	—	—	—
0.02	8.620E-2	1.140E-3	1.907E-3	3.039E-3	5.023E-3	1.828E-2	5.654E-3	5.540E-3	5.598E-4	7.235E-5	—	2.498E-3	2.300E-3	4.180E-4
0.04	4.719E-2	6.839E-4	6.737E-4	9.370E-4	1.425E-3	3.529E-3	1.375E-3	1.524E-3	4.126E-3	1.132E-4	2.273E-4	5.314E-3	2.225E-3	2.398E-4
0.06	2.564E-2	3.125E-4	3.482E-4	4.742E-4	7.219E-4	1.721E-3	6.845E-4	7.786E-4	2.363E-3	6.031E-5	1.625E-4	3.040E-3	1.120E-3	1.351E-4
0.08	2.077E-2	2.049E-4	2.735E-4	3.784E-4	5.865E-4	1.393E-3	5.558E-4	6.283E-4	1.945E-3	4.223E-5	1.418E-4	2.160E-3	7.645E-4	1.090E-4
0.1	1.977E-2	1.696E-4	2.551E-4	3.579E-4	5.607E-4	1.343E-3	5.322E-4	6.067E-4	1.853E-3	3.513E-5	1.429E-4	1.858E-3	6.440E-4	1.028E-4
0.2	2.148E-2	1.491E-4	2.636E-4	3.843E-4	6.131E-4	1.495E-3	5.875E-4	6.713E-4	2.053E-3	3.539E-5	1.783E-4	1.815E-3	5.918E-4	1.135E-4
0.3	2.267E-2	1.507E-4	2.698E-4	4.024E-4	6.455E-4	1.584E-3	6.197E-4	7.089E-4	2.178E-3	3.756E-5	2.029E-4	1.927E-3	6.131E-4	1.212E-4
0.4	2.312E-2	1.506E-4	2.713E-4	4.081E-4	6.554E-4	1.651E-3	6.312E-4	7.199E-4	2.235E-3	3.995E-5	2.197E-4	1.992E-3	6.261E-4	1.228E-4
0.5	2.318E-2	1.475E-4	2.681E-4	4.072E-4	6.561E-4	1.619E-3	6.320E-4	7.236E-4	2.257E-3	4.071E-5	2.335E-4	2.024E-3	6.230E-4	1.255E-4
0.6	2.305E-2	1.461E-4	2.652E-4	4.031E-4	6.516E-4	1.608E-3	6.271E-4	7.167E-4	2.253E-3	4.139E-5	2.368E-4	2.025E-3	6.173E-4	1.236E-4
0.7	2.276E-2	1.438E-4	2.602E-4	3.974E-4	6.424E-4	1.586E-3	6.184E-4	7.081E-4	2.222E-3	4.222E-5	2.440E-4	2.019E-3	6.100E-4	1.224E-4
0.8	2.252E-2	1.422E-4	2.564E-4	3.923E-4	6.355E-4	1.567E-3	6.110E-4	6.995E-4	2.214E-3	4.191E-5	2.435E-4	2.015E-3	6.041E-4	1.218E-4
0.9	2.217E-2	1.390E-4	2.509E-4	3.858E-4	6.245E-4	1.539E-3	6.008E-4	6.892E-4	2.183E-3	4.082E-5	2.410E-4	2.001E-3	5.962E-4	1.216E-4
1.0	2.185E-2	1.368E-4	2.464E-4	3.799E-4	6.157E-4	1.515E-3	5.918E-4	6.791E-4	2.159E-3	4.093E-5	2.418E-4	1.982E-3	5.872E-4	1.199E-4
1.2	2.105E-2	1.313E-4	2.352E-4	3.643E-4	5.906E-4	1.455E-3	5.682E-4	6.530E-4	2.087E-3	3.962E-5	2.380E-4	1.931E-3	5.676E-4	1.156E-4
1.4	2.038E-2	1.266E-4	2.264E-4	3.521E-4	5.707E-4	1.406E-3	5.495E-4	6.318E-4	2.029E-3	3.843E-5	2.348E-4	1.882E-3	5.502E-4	1.113E-4
1.6	1.978E-2	1.221E-4	2.181E-4	3.404E-4	5.513E-4	1.360E-3	5.138E-4	6.095E-4	1.973E-3	3.749E-5	2.316E-4	1.824E-3	5.350E-4	1.075E-4
1.8	1.916E-2	1.178E-4	2.105E-4	3.295E-4	5.331E-4	1.316E-3	5.146E-4	5.900E-4	1.916E-3	3.664E-5	2.270E-4	1.337E-3	5.169E-4	1.037E-4
2.0	1.865E-2	1.145E-4	2.046E-4	3.202E-4	5.186E-4	1.278E-3	5.002E-4	5.741E-4	1.867E-3	3.576E-5	2.246E-4	1.301E-3	5.030E-4	1.011E-4
2.2	1.810E-2	1.109E-4	1.981E-4	3.102E-4	5.023E-4	1.238E-3	4.845E-4	5.553E-4	1.813E-3	3.507E-5	2.198E-4	1.262E-3	4.882E-4	9.822E-5
2.4	1.761E-2	1.078E-4	1.925E-4	3.014E-4	4.883E-4	1.203E-3	4.706E-4	5.396E-4	1.768E-3	3.412E-5	2.163E-4	1.229E-3	4.753E-4	9.616E-5
2.6	1.718E-2	1.052E-4	1.875E-4	2.937E-4	4.765E-4	1.173E-3	4.590E-4	5.264E-4	1.728E-3	3.308E-5	2.103E-4	1.200E-3	4.656E-4	9.329E-5
2.8	1.682E-2	1.029E-4	1.832E-4	2.872E-4	4.660E-4	1.147E-3	4.490E-4	5.140E-4	1.691E-3	3.244E-5	2.072E-4	1.174E-3	4.564E-4	9.113E-5
3.0	1.650E-2	1.009E-4	1.794E-4	2.817E-4	4.572E-4	1.124E-3	4.403E-4	5.033E-4	1.658E-3	3.208E-5	2.043E-4	1.153E-3	4.483E-4	8.955E-5

附表 6 不同能量 γ 射线在鱼体模各器官中的吸收分数(源在鳃)

(Table 6 Absorbed fractions in various organs for uniform source in swin bladder)

光子能量 (MeV)	鳃部 肌肉	鳃部 脊骨	肾	鳃	性腺	消化道	肝	脾	肾部 肌肉	肾部 脊骨内	尾部 肌肉	头部	鳃	心脏
0.004	—	—	1.039E-3	2.548E-1	—	—	9.472E-5	—	—	—	—	—	1.731E-4	—
0.006	—	—	6.395E-3	2.313E-1	—	6.769E-4	5.237E-4	—	—	—	—	—	6.158E-4	—
0.008	—	—	1.190E-2	1.902E-1	2.392E-4	8.430E-4	1.503E-3	—	—	—	—	—	1.433E-3	—
0.01	1.511E-3	5.811E-4	3.049E-2	1.437E-1	1.800E-3	9.604E-4	2.684E-3	—	—	—	—	—	2.623E-3	—
0.02	1.271E-1	6.123E-3	1.743E-2	3.036E-2	5.321E-3	3.041E-3	3.401E-3	4.391E-4	2.308E-3	5.148E-5	—	7.360E-3	1.065E-2	2.712E-4
0.04	6.322E-2	2.101E-3	4.639E-3	4.639E-3	1.340E-3	9.345E-4	9.347E-4	2.977E-4	2.875E-3	1.032E-4	2.261E-4	1.093E-2	5.266E-3	2.379E-4
0.06	3.378E-2	8.903E-4	1.605E-3	2.231E-3	6.821E-4	4.741E-4	4.727E-4	1.652E-4	1.703E-3	5.501E-5	1.593E-4	5.782E-3	2.404E-3	1.331E-4
0.08	2.725E-2	5.909E-4	1.307E-3	1.821E-3	5.522E-4	3.788E-4	3.842E-4	1.385E-4	1.396E-3	3.872E-5	1.458E-4	4.040E-3	1.616E-3	1.071E-4
0.1	2.589E-2	4.980E-4	1.285E-3	1.770E-3	5.285E-4	3.590E-4	3.674E-4	1.298E-4	1.344E-3	3.328E-5	1.453E-4	3.451E-3	1.359E-3	1.014E-4
0.2	2.800E-2	4.624E-4	1.392E-3	1.995E-3	5.742E-4	3.843E-4	4.004E-4	1.424E-4	1.482E-3	3.108E-5	1.742E-4	3.289E-3	1.252E-3	1.098E-4
0.4	2.998E-2	4.815E-4	1.489E-3	2.164E-3	6.119E-4	4.072E-4	4.252E-4	1.538E-4	1.619E-3	3.373E-5	2.157E-4	3.514E-3	1.298E-3	1.177E-4
0.6	2.985E-2	4.773E-4	1.488E-3	2.155E-3	6.060E-4	4.042E-4	4.213E-4	1.521E-4	1.625E-3	3.682E-5	2.268E-4	3.538E-3	1.285E-3	1.172E-4
0.8	2.911E-2	4.641E-4	1.448E-3	2.099E-3	5.884E-4	3.930E-4	4.098E-4	1.462E-4	1.599E-3	3.572E-5	2.286E-4	3.478E-3	1.247E-3	1.139E-4
1.0	2.822E-2	4.494E-4	1.400E-3	2.031E-3	5.697E-4	3.802E-4	3.950E-4	1.432E-4	1.554E-3	3.574E-5	2.301E-4	3.392E-3	1.209E-3	1.092E-4
1.2	2.716E-2	4.317E-4	1.343E-3	1.948E-3	5.470E-4	3.656E-4	3.795E-4	1.388E-4	1.500E-3	3.502E-5	2.262E-4	3.282E-3	1.163E-3	1.047E-4
1.4	2.629E-2	4.175E-4	1.296E-3	1.881E-3	5.287E-4	3.532E-4	3.668E-4	1.342E-4	1.456E-3	3.420E-5	2.222E-4	3.190E-3	1.124E-3	1.011E-4
1.6	2.546E-2	4.030E-4	1.251E-3	1.818E-3	5.120E-4	3.415E-4	3.542E-4	1.286E-4	1.414E-3	3.356E-5	2.193E-4	3.090E-3	1.085E-3	9.820E-5
1.8	2.466E-2	3.900E-4	1.210E-3	1.757E-3	4.954E-4	3.303E-4	3.429E-4	1.268E-4	1.372E-3	3.237E-5	2.156E-4	3.004E-3	1.051E-3	9.494E-5
2.0	2.400E-2	3.793E-4	1.176E-3	1.707E-3	4.813E-4	3.211E-4	3.328E-4	1.234E-4	1.336E-3	3.164E-5	2.132E-4	2.929E-3	1.022E-3	9.212E-5
2.2	2.327E-2	3.677E-4	1.139E-3	1.653E-3	4.662E-4	3.111E-4	3.225E-4	1.196E-4	1.297E-3	3.078E-5	2.089E-4	2.848E-3	9.909E-4	8.915E-5
2.4	2.264E-2	3.576E-4	1.106E-3	1.605E-3	4.527E-4	3.024E-4	3.137E-4	1.159E-4	1.262E-3	3.052E-5	2.057E-4	2.776E-3	9.644E-4	8.719E-5
2.6	2.209E-2	3.490E-4	1.078E-3	1.564E-3	4.413E-4	2.949E-4	3.059E-4	1.134E-4	1.233E-3	2.997E-5	2.038E-4	2.718E-3	9.415E-4	8.555E-5
2.8	2.161E-2	3.415E-4	1.053E-3	1.529E-3	4.314E-4	2.884E-4	2.992E-4	1.109E-4	1.208E-3	2.938E-5	1.992E-4	2.667E-3	9.212E-4	8.370E-5
3.0	2.120E-2	3.349E-4	1.033E-3	1.498E-3	4.230E-4	2.829E-4	2.933E-4	1.088E-4	1.186E-3	2.878E-5	1.959E-4	2.620E-3	9.037E-4	8.247E-5