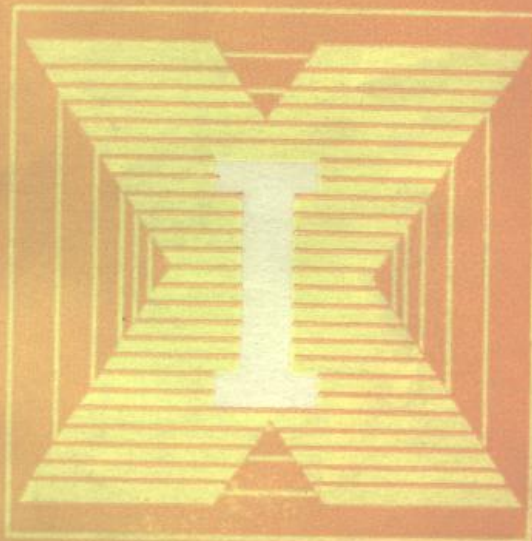


刘国廉 谢国良 编著

放射性碘的生物危害 及医学防护



放射性碘的生物 危害及医学防护

刘国廉 谢国良 编著

中国环境科学出版社

1989

内 容 简 介

放射性碘在医学和生物学中的应用日益增多,核能的利用也不断扩大,为满足广大实际工作者对放射性碘卫生防护实际工作的需要编写了这本书。本书以碘核素的生物危害及其防护为主线,涉及放射性碘在环境中的污染与水平,主要物理、化学特性,在体内代谢动力学、剂量学、生物效应,辐射防护,放射卫生及医学处理等内容,共九章。可供从事医学、生物学实验研究的科技工作者、核医学专业的医护人员、医科大学、医士卫生学校以及大学的生物系师生等参考使用,同时亦为感兴趣于放射性碘核素在医学生物学中应用的部门与公众提供一本重要的参考书。

2-t76/36

放射性碘的生物危害及医学防护

刘国廉 谢国良 编著

责任编辑 李静华

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

三河县二百户印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1989年11月第一版 开本787×1092 1/32

1989年11月第一次印刷 印张9 5/8

印数0001—0,000 字数215千字

ISBN7-80010-407-9/X·232

定价: 3.90元

前 言

放射性碘是人类最早用来诊断和治疗某些疾病的放射性核素之一。自赫米尔顿 (Hamilton, 1939) 首先应用 ^{131}I 来研究正常人和患有各种甲状腺疾病病人的甲状腺功能以来, 随着电子探测技术和放射免疫分析技术的发展和运用, 放射性碘的应用范围更加广泛, 日操作量和接触的人数与日俱增, 已成为临床诊断、治疗某些疾病及医学、生物学各研究领域中之必不可缺的放射性核素, 其使用量超过 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{61}Cr 等放射性核素。同时, 亦因为核爆炸、核能的利用, 特别在核事故时, 可能向人类生活环境中释放出大量的放射性碘。由此可能对人类的健康造成潜在的威胁。例如, 1986年4月苏联切尔诺贝利核电站事故, 释放到大气中的放射性碘达 1850tBq ($5 \times 10^6\text{Ci}$), 这是迄今发生最严重的一次核反应堆事故, 其中放射性碘是构成人体内污染最主要的核素。事故提醒人们, 必须在平时建立一支训练有素的医疗救护与卫生防护的专业队伍, 并对公众普及放射卫生防护知识的教育。为此目的, 我们在从事了20多年放射性碘生物危害及其医学防护科研工作的基础上, 参考了国内外近二三十年来发表的有关文献资料, 编写了此书。

原北京放射医学研究所所长吴德昌研究员以及叶常青研究员、郭力生、陈剑中和龚诒芬等副研究员给本书提出了宝贵意见。经叶常青和吴德昌研究员最后审定, 由中国人民解放军预防医学中心协助出版。在此, 对他们的协助和支持一

并表示衷心感谢，

本书内容涉及专业面较广，而我们的专业知识和经验有限，不当和错误之处望读者批评指正。

编 者

1988年3月

目 录

第一章	放射性碘核素基础知识.....	(1)
第一节	碘核素的种类和生成.....	(1)
第二节	放射性碘核素的主要理化特性.....	(6)
第三节	裂变碘核素.....	(24)
第二章	环境中放射性碘的污染.....	(27)
第一节	碘核素污染的来源与水平.....	(27)
第二节	环境中碘核素的转移.....	(31)
第三节	环境中碘核素污染的监测.....	(33)
第四节	核事故时放射性碘的监测.....	(35)
第三章	放射性碘代谢动力学.....	(39)
第一节	碘核素在体内代谢过程.....	(39)
第二节	碘核素在甲状腺内的代谢.....	(48)
第三节	短半衰期碘核素代谢特点.....	(60)
第四节	碘核素代谢参数.....	(63)
第四章	放射性碘核素内照射剂量学.....	(68)
第一节	引言.....	(68)
第二节	碘核素所致的器官剂量.....	(68)
第三节	甲状腺微观剂量分布.....	(78)
第四节	混合裂变碘核素的甲状腺剂量.....	(82)
第五章	放射性碘核素生物危害的实验研究.....	(91)
第一节	对甲状腺机能的损伤.....	(91)
第二节	甲状腺病理形态学改变.....	(104)

第三节	碘核素致肿瘤效应.....	(109)
第四节	碘核素的比较效应.....	(126)
第五节	碘核素与 γ 线外照射的复合效应.....	(140)
第六章	放射性碘对人体的损伤效应.....	(147)
第一节	对甲状腺的损伤效应.....	(147)
第二节	白血病.....	(164)
第三节	遗传学损伤效应.....	(167)
第四节	放射性落下灰碘核素对人体的损伤.....	(173)
第七章	放射性碘在临床中的应用.....	(180)
第一节	引言.....	(180)
第二节	诊断.....	(182)
第三节	治疗.....	(195)
第四节	用于诊断的放射性碘药物及剂量.....	(198)
第八章	放射性碘的辐射防护.....	(206)
第一节	辐射防护的基本目的.....	(206)
第二节	辐射防护标准.....	(207)
第三节	放射性碘核素污染干预剂量水平.....	(215)
第四节	放射性碘核素体内污染危害的评价.....	(220)
第五节	临床应用放射性碘时的防护.....	(231)
第九章	放射性碘污染的卫生防护及医学处理.....	(234)
第一节	一般防护措施.....	(234)
第二节	放射性碘污染的卫生防护.....	(235)
第三节	放射性碘体内污染的医学处理.....	(239)
第四节	稳定性碘化物的应用.....	(242)
第五节	放射性碘的促排药物及应用.....	(247)
第六节	放射性碘促排药物的作用原理.....	(253)
第七节	对孕妇及胎儿受放射性碘污染时的防护.....	(256)

参考文献.....	(259)
附录一. 有关名词术语.....	(270)
附录二. 有关辐射量单位的换算.....	(287)
附录三. 基本物理常数和单位换算系数.....	(288)
附录四. 由放射性活度居里(Ci)换算成贝可(Bq)便查表...	(291)
附录五. 放射性碘核素单位活度所致甲状腺和全身剂量.....	(299)

第一章 放射性碘核素基础知识

第一节 碘核素的种类和生成

1. 碘核素的种类

碘核素可分为放射性碘核素和非放射性或稳定性碘核素两大类。目前已知,存在于自然界中或由人工生产的碘核素共有27种,一般实际中应用的和文献中经常引用的碘核素有26种,它们的质量数从117~140^[86],其中除 ^{127}I 是自然产生的稳定性碘核素外,皆为放射性碘核素,对医学和生物学意义较大的有 ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{129}I 、 ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{133}I 和 ^{135}I 等,特别是 ^{131}I 和 ^{125}I 在医学、生物学各领域研究中及临床应用更为广泛。随着科学技术的发展,应用放射性碘核素的数量和接触的人数日益增加。

2. 碘核素的生成

大部分放射性碘核素是由人工生产的,自然界中天然存在的放射性碘核素仅 ^{129}I 一种。但稳定性碘核素却广泛存在于自然界中,人体内及生物介质中均含有稳定性碘核素,在地球表面上稳定性碘主要分布于海水和智利硝石中,其次是土壤^[4, 86]。

不同放射性碘核素的生成方式有很大的差异,但大部分放射性碘核素是由 ^{235}U 、 ^{238}U 或 ^{239}Pu 等裂变物质经裂变

表 1-1 裂变产生放射性碘链(101)

质量数	In ₁₀₀	Sn ₁₀₀	Sb ₁₀₁	Te ₁₀₂	I ₁₀₃	Xe ₁₀₄	Cs ₁₀₅	Ba ₁₀₆
129	1.5s 11	6.2min 34	4.2h 29	64% 36% 32d	70min 0	1.6×10 ⁷ a 0	稳定	
131	1s 18	3s 97	23min 131	95% 5% 22% 30h 46	25min 8.05d 1	12% 88% 12天 0	稳定	
132	(?) 5	2.5s 88	2min 208	78h 122	2.3h 17	稳定	0	

续表

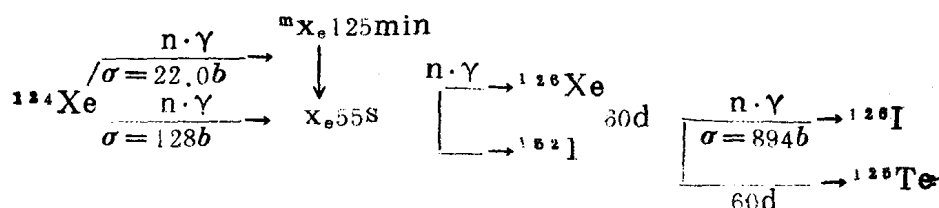
质量数	In ₄₀	Sn ₅₀	Sb ₅₁	Te ₅₂	I ₅₃	Xe ₅₄	Cs ₅₅	Ba ₅₆
133		2s 66	4 266	28% 72% 2min 63min	20.8h 64	98% 2% 5.3天 2.3天	稳定 0	
134		(p)	10s 11	44min 378	52.5min 217	稳定 28		
135		6s 44	10min 225	6h 285	70% 30% 6h 15min	2×10 ⁶ a 3×10 ⁻¹⁰ s 93	稳定 0	

注 半衰期下面的数字表示每10⁴次衰变该原子的产额。

核反应后瞬间产生的。

(1) 裂变反应生成碘核素：核裂变反应是产生放射性碘核素的一种主要方式，已知质量数为127、129、131直到140的碘核素均由裂变反应产生^[1]。先驱核受到带电粒子的轰击或吸收中子、高能光子的照射等而引起核裂变反应，生成放射性碘核素或稳定性碘核素，见表1-1。

(2) 核反应堆生成 ^{125}I ：利用核素 ^{124}Xe 在反应堆中俘获中子后而产生放射性碘核素 ^{125}I 。



(3) 加速器生产 ^{128}I ：可用核素 $^{121}\text{Sb}(\alpha, 2n)^{128}\text{I}$ 和 $^{122}\text{Te}(\alpha, n)^{128}\text{I}$ 两种方式制备放射性碘核素 ^{128}I ^[1]。但两者所获得产品的产额与纯度不同，前者反应可得到较高的产额，约为后者反应的7~9倍，而产品的纯度却比后者低得多。因此，一般多选用后一反应制备 ^{128}I 。所得 ^{128}I 产品中主要杂质是 $^{124}\text{I}(T_{1/2}=4.2\text{d})$ 和 $^{125}\text{I}(T_{1/2}=60\text{d})$ 。如采用锑(Sb)或碲(Te)作靶，经质子(15.5MeV)轰击2小时， ^{128}I 的产率为 $2.98 \times 10^9 \text{Bq/h}$ ， ^{124}I 和 ^{125}I 杂质的放射性活度小于 ^{128}I 放射性活度的1.5%^[1]。

3. 碘核素的产额

核裂变反应产生几十种元素约数百种核素，其中包括了

放射性碘核素(^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{133}I 、 ^{134}I 和 ^{135}I 等)。由裂变谱中子及14.8MeV中子轰击 ^{235}U 、 ^{238}U 和 ^{239}Pu 发生裂变反应而产生的放射性碘核素产额见表1-2。可见,放射性

表 1-2 ^{235}U 、 ^{238}U 和 ^{239}Pu 裂变时放射性
碘核素产额 (%) (1.1.1)

碘核素	^{235}U		^{238}U		^{239}Pu	
	裂变谱	14.8MeV	裂变谱	14.8MeV	裂变谱	14.8MeV
	中子	中子	中子	中子	中子	中子
131	3.501	4.700	3.360	3.980	4.305	4.700
133	6.624	5.372	5.930	6.758	6.245	4.555
134	6.895	4.820	6.927	6.982	6.827	4.008
135	5.794	3.236	6.005	5.396	4.518	2.447
137	2.562	1.045	4.492	2.868	1.272	0.338

表 1-3 不同中子通量 (ϕ) 照射时 ^{131}I 的比度
(Sa) (1.1.1)

照射	不同中子通量(ϕ)照射时的比度(Sa), (Bq/g靶)				
时间	1×10^{13}	2×10^{13}	4×10^{13}	8×10^{13}	1×10^{14}
10min	4.37×10^4	8.81×10^4	1.78×10^5	3.62×10^5	4.59×10^5
30min	3.92×10^5	7.88×10^5	1.59×10^6	3.24×10^6	4.07×10^6
1h	1.55×10^6	3.08×10^6	6.29×10^6	1.28×10^7	1.62×10^7
12h	1.85×10^8	3.7×10^8	1.85×10^9	1.52×10^9	1.92×10^9
1d	6.07×10^8	1.22×10^9	2.46×10^9	4.96×10^9	6.25×10^9
7d	5.29×10^9	1.05×10^{10}	2.10×10^{10}	4.19×10^{10}	5.22×10^{10}
14d	6.40×10^9	1.28×10^{10}	2.54×10^{10}	5.03×10^{10}	6.25×10^{10}
28d	6.59×10^9	1.31×10^{10}	2.61×10^{10}	5.18×10^{10}	6.44×10^{10}
90d	6.59×10^9	1.31×10^{10}	2.61×10^{10}	5.18×10^{10}	6.44×10^{10}

注:表中数值是根据原表内容进行单位换算。

碘核素是构成核分裂后的裂变产物中重要组成成分之一。

不同中子通量照射下 ^{125}I 和 ^{131}I 的比度见表1-3和表1-4,表中 ϕ 为中子通量(中子数/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}$)。Sa为在反应堆中某一中子通量条件下,经不同时间辐照终止时刻所生成的放射性碘核素的比度(Bq/g靶)。

表 1-4 不同中子通量(ϕ)照射时 ^{131}I 的
比度(Sa)⁽¹⁾

照射 时间	不同中子通量(ϕ)照射时的比度(Sa) (Bq/g靶)				
	1×10^{13}	2×10^{13}	4×10^{13}	8×10^{13}	1×10^{14}
10min	3.39×10^5	6.77×10^5	1.35×10^6	2.71×10^6	3.39×10^6
30min	2.57×10^6	5.14×10^6	1.03×10^7	2.06×10^7	2.57×10^7
1 h	8.21×10^6	1.64×10^7	3.28×10^7	6.55×10^7	8.21×10^7
12h	1.78×10^8	3.56×10^8	7.14×10^8	1.42×10^9	1.78×10^9
1 d	3.58×10^8	7.14×10^8	1.43×10^9	2.86×10^9	3.58×10^9
7 d	2.01×10^9	4.03×10^9	8.03×10^9	1.60×10^{10}	2.01×10^{10}
14d	3.11×10^9	6.22×10^9	1.24×10^{10}	2.49×10^{10}	3.11×10^{10}
28d	4.03×10^9	8.10×10^9	1.62×10^{10}	3.24×10^{10}	4.03×10^{10}
90d	4.44×10^9	8.88×10^9	1.78×10^{10}	3.56×10^{10}	4.44×10^{10}

注:表中数值是根据原表内容进行单位换算。

第二节 放射性碘核素的主要理化特性

在元素周期表中,碘属于卤素族元素,其化学性质极为活泼,本节仅介绍与剂量和生物效应有关的某些理化性质。

1. 半衰期

放射性碘核素具有不同的物理半衰期($T_{1/2}$)。半衰期

表 1-5 放射性碘核素⁽¹⁾

碘核素	丰度及热中子 活化截面 (靶)	半衰期	分类	衰变类型及 粒子能量 (MeV)	γ线及内转 换电子能量 (MeV)	内转换 系数 (IC)	主要生产 方式
¹¹⁰ I		1.3min	C	β ⁺			
¹¹⁰ I		2.9 s	C	β ⁺ 6.3	γ 0.540 0.679		
¹¹¹ I		7 min(65)	C	β ⁺ [EC]	γ 0.16 0.34 0.511 (β ⁺)		质子轰击La
¹¹⁰ I		14.5min(65)	F	[β ⁺]			质子轰击I
¹¹⁰ I		13.9min(65)	B	β ⁺ 5.4 4.85 EC 46%	γ Te-Lx 0.511(108%) (β ⁺) 0.55 0.60 1.15		质子轰击I

续表

核素	丰度及热中子 活化截面 (靶)	半衰期	分类	衰变类型及 粒子能量 (MeV)	γ 线及内转 换电子能量 (MeV)	内转换 系数 (IC)	主要生产 方式
^{110m}Ag		9min	β	β^+ 4.9 IT	γ 0.104 0.600 0.612(44%)		
^{110}I		19.5min(65)	A	β^+ EC 49%	γ Te-kx 0.260 0.511(102%) (β^+) 0.78		质子轰击 ^{114}N 轰击 Pd
^{110}I		1.35min(65)	A	β^+ 4.0 EC 54%	γ Te-kx 0.511 (92%) (β^+) 0.56 0.62 1.52		质子轰击 I ^{110}Xe 子体

续表

碘核素	丰度及热中子 活化截面 (靶)	半衰期	分类	衰变类型及 粒子能量 (MeV)	γ线及内转 换电子能量 (MeV)	内转换 系数 (IC)	主要生产 方式
^{130m} I		53min	A	β ⁺ 3.9 EC	γ 0.60 0.61		
¹³⁰ I		30min(50)	G	β ⁺			质子轰击 α轰击Sb
¹³¹ I		2.12h (85)	A	β ⁺ 1.2 EC 91%	γ Te-kx 0.212(90%) 0.27(3%) 0.12(6%) 0.511(18%) (β ⁺)		¹³¹ Sb(2.4n)
¹³² I		3.5min(54)	A	β ⁺ 3.12 2.6 1.8 EC 24%	γ Te-kx 0.511(152%) (β ⁺) 0.564		¹³¹ Sb(2.3n) ¹³¹ Te(p,n)