

膳食调查及其在辐射防护中的应用

中国医学科学院放射医学研究所 诸洪达 综述

北京放射医学研究所 叶常青 审

提 要: 简要介绍了膳食调查的种类并加以比较, 综述了膳食调查在辐射防护领域中的主要应用: 人群食入所致放射性核素摄入量监测及其背景值的确定; 食品中放射性物质导出限值制定依据; 参考人的重要生理参数。最后, 根据当前动态介绍了作者对今后膳食调查发展趋势的看法。

膳食调查通常包括人群膳食组成的调查和人群经由膳食对特定成分(如营养素、毒物、常量或微量元素)摄入量的调查。由于食品是环境物质进入人体的主要环节, 膳食调查就成为了解人体营养状况及经由食物所致污染程度必不可少的手段。

本文仅就膳食调查分类、在辐射防护领域中的应用及其发展动向作简要介绍。

一、膳食调查种类及其优缺点

了解膳食组成的方法大体分为两种: ①食品平衡法。即先以国家为单位计算有关食品的生产、进出口数据, 以总消费量除以人口数求出人均消费量; ②居民营养调查法。即以家庭为单位, 通过食谱实际调查获得有关人群膳食组成。前者从整体出发, 利于对比不同国家均值, 但得不到国内不同人群的差别; 后者从家庭食谱出发, 利于不同人群的比较^[1]。

各种成分摄入量的膳食调查可分为总膳食调查和各别食品调查两类^[2]。

总膳食调查是采集一定时期膳食混成样品一起进行分析, 可直接计算欲测成分的摄入量。样品可以是实际食用的重复样品, 也可以是按“标准食谱”配制的混合膳食样品。Michelson等报道过按美国五城市消费所制备的“少年膳食”二周混合样所测得的²²⁶Ra平均日摄入量为0.11Bq(3.02pCi), 平均浓度为28mBq(0.76pCi)/kg, 相当于68mBq/gCa(1.85pCi/gCa), 1960年又进行了²²⁶Ra、⁴⁰K和²¹⁰Pb的总膳食调查^[3, 4]。Kauranen在报道北极地区饲养驯鹿的拉普人(Lapps)食物链的²¹⁰Po和²¹⁰Pb文章中还对引用了Holtzman等分别测定的非北极西方人混合膳食中²¹⁰Po和²¹⁰Pb平均日摄入量(见表1), 表明了北极地区拉普人组织中高²¹⁰Po和²¹⁰Pb含量来自驯鹿肉为主的膳食, 其²¹⁰Po和²¹⁰Pb日摄入量分别比非北极西方人高一个数量级和2~3倍^[5]。

美国早期多用总膳食调查方法, 如Magnano报道过1966年美国各地总膳食和大气的²¹⁰Pb摄入量, 结果表明, 经大气摄入量有

表1. 北极地区拉普人和非北极西方人总膳食中²¹⁰Po和²¹⁰Pb日摄入量的比较, Bq/人·天(pCi/人·天)

地区(国家)	作者	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb
北极(芬兰)	Kauranen	2.6 (69)	3.2×10^{-1} (8.6)
非北极(美)	Holtzman	6.7×10^{-2} (1.8)	6.7×10^{-2} (1.8)
(英)	Hill	1.2×10^{-1} (3.2)	1.2×10^{-1} (3.2)
(德)	Globee	1.7×10^{-1} (4.6)	1.7×10^{-1} (4.6)

明显地区差异,而总膳食摄入量却未见明显地区性差别;由这些来源美国居民平均有 $(5.6\sim 7.8) \times 10^{-3}\text{Bq/日}$ ($0.15\sim 0.21\text{pCi/日}$) ^{210}Pb 进入血行,其中70~90%来自食入^[6]。Shiraishi等在1986年报道了为确定日本参考人生理参数用总膳食调查法分析测定了13种元素的日摄入量^[7]。

各别食品膳食调查是按膳食组成采集各类食品(通常是代表性食品或按食用量混成的各类食品)分别进行分析测定,然后按各自实际食用量或“典型食谱”组成计算摄入量。其典型例子是Fisenne等1970年报道的美国纽约、旧金山按19个食品组测出浓度和农业部的美国标准膳食组成计算出 ^{226}Ra 摄入量,1978年5月又对纽约市各类食品调查并计算了 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{233}U 、 ^{230}Th 、 ^{232}Th 及 ^{226}Ra 日摄入量^[8、9]。由于后者同时测定

了水和空气中这些核素的浓度,并估算了相应的摄入量,所以成为一次较全面的总摄入量调查。1981年龟谷胜昭等^[11]报道了东京市场18种食品中 ^{226}Ra 和 ^{210}Pb 浓度,并按厚生省公布的平均消费量^[10]估算了当地 ^{226}Ra 和 ^{210}Pb 日摄入量相应为0.037和0.22Bq/人·天。美国食品及药物管理局(FDA)自1961年起至今,每年进行一次膳食调查,对选定地区、年龄-性别组膳食的食物中放射性核素、农药残留、有毒元素、工业化学品和某些营养素的水平和摄入量进行系统监测,以供有关当局决策,也可帮助农业和食品加工部门及时发现和改进公共卫生的有关问题,并协助制定食品添加剂和营养强化的政策。

联合国原子辐射影响科学委员会(UNSCEAR)陆续总结世界各地科研进展,获得了大部分人工和天然放射性核素在各地人

表2.各地不同食品对 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 人均日摄入量贡献, 10^{-2}Bq (pCi)

地 区		正常外照射本底								高外照射本底		
核 素		^{226}Ra					^{228}Ra		^{226}Ra	^{228}Ra		
国家及地区	阿根廷	印 度		苏联中 亚某城	英 国	美 国		美国		印度	印度	
		孟买	塔拉普尔			纽约	旧金山	纽约	旧金山	喀拉拉邦	喀拉拉邦	
稻谷和粮食	0.74	1.6	1.4	13.3	0.63	2.1	1.4	1.6	1.4	5.48	12.0	
	(0.20)	(0.42)	(0.39)	(3.60)	(0.17)	(0.56)	(0.39)	(0.42)	(0.37)	(1.48)	(3.23)	
肉、鱼、蛋	0.52	0.18	0.30	2.4	1.4	1.7	0.26	0.52	0.30	1.8	232	
	(0.14)	(0.05)	(0.08)	(0.66)	(0.38)	(0.46)	(0.07)	(0.14)	(0.08)	(0.50)	(62.70)	
牛奶和奶制品	0.18	0.15	0.04	3.6	0.52	0.52	0.18	0.18	0.4	0.70	56.6	
	(0.05)	(0.04)	(0.01)	(0.98)	(0.14)	(0.14)	(0.05)	(0.05)	(0.10)	(0.19)	(15.30)	
蔬菜、水果、豆 类	0.85	0.63	0.18	10.0	1.2	2.0	0.89	1.6	1.4	3.0	33.9	
	(0.23)	(0.17)	(0.05)	(2.70)	(0.32)	(0.54)	(0.24)	(0.44)	(0.38)	(0.81)	(9.17)	
根类蔬菜	0.52				0.37	0.22	0.15	0.44	0.30		109.4	
	(0.14)				(0.10)	(0.06)	(0.04)	(0.12)	(0.08)		(29.58)	
水		0.22	0.07	32.6	0.26	0.07	0.11			1.07	0.04	
		(0.06)	(0.02)	(8.8)	(0.07)	(0.02)	(0.03)			(0.29)	(0.01)	
其 它	0.04	0.07								0.26	157.2	
	(0.01)	(0.02)								(0.07)	(42.50)	
总 计	10^{-2}Bq	3.0	3.0	1.8	63	4.4	6.7	3.0	4.4	3.7	12.2	592
	(pCi)	(0.8)	(0.8)	(0.5)	(17)	(1.2)	(1.8)	(0.8)	(1.2)	(1.0)	(3.3)	(160)
	pCi/gCa	1.1	1.6	1.0	17	1.1	1.8	0.8	1.2	1.0	6.6	320

群的摄入量和世界平均值。各别食品的膳食调查可了解各类食品对总摄入量的相对贡献。以 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 为例, UNSCEAR1972年报告书总结了不同类型地区和国家居民人均日摄入量及各类食品的贡献(见表2)。总结表明, 世界正常外照射地区 ^{226}Ra 人均日摄入量约为 1 pCi/gCa ; 高本底地区高摄入量主要由于当地岩石和土壤中天然放射性元素含量高; 苏联中亚某城市 ^{226}Ra 摄入量高达 0.63 Bq/天 , 其主要原因是水和粮食中含量异常高^[12]。UNSCEAR1977年报告书又收集到意大利、日本、波多黎各的 ^{226}Ra 摄入量调查结果^[13], 这些总结资料至今仍被广泛引用。

我国1958年进行了全国第一次营养调查。由于国民经济和人民生活水平的变化, 当时膳食组成的调查结果现在显然已不适用。1982年进行了全国第二次营养调查^[14], 所得我国成年男子平均膳食组成可作为估算我国居民各种物质摄入量的重要基础资料。1983~1986年中国医学科学院放射医学研究

表3. 我国成年男子食入所致年摄入量和待积剂量当量1982~1984年调查结果

核素或元素	年摄入量 (Bq)	所致待积剂量当量 (Sv)
^{40}K	2.3×10^4	1.8×10^{-4}
^{87}Rb	1.3×10^3	6×10^{-6}
^{210}Pb	69.1	9.7×10^{-5}
^{210}Po	59.8	2.6×10^{-5}
^{228}Ra	30.2	1.0×10^{-5}
^{226}Ra	22.1	6.9×10^{-6}
U	10.0	6.7×10^{-7}
Th	3.3	3.9×10^{-6}
^{227}Ac	0.3	1.1×10^{-6}
^{14}C	1.6×10^4	9.0×10^{-6}
^3H	2.1×10^3	3.5×10^{-8}
^{90}Sr	59.7	2.2×10^{-6}
^{137}Cs	34.7	4.9×10^{-7}
^{144}Ce	6.0	3.2×10^{-8}
^{106}Ru	6.8	3.9×10^{-8}
总 计	4.2×10^4	3.4×10^{-4}

所等30个单位协作, 在14个正常辐射本底的省、自治区和三个环境放射性可能升高地区按膳食组成采集了14类主要食品, 分析测定了22种主要放射性核素的比活度, 进而估算了15种放射性核素的年摄入量及所致待积剂量当量(见表3)^[15]。结果表明, 对我国居民食入所致待积剂量当量贡献最大的放射性核素是 ^{40}K , 其后依次为 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 、 ^{228}Ra 、 ^{14}C 、 ^{226}Ra 、 ^{87}Rb 和Th, 其余各核素贡献均小于1%。调查结果还表明, 对剂量贡献最大的食品(不包括体内平衡的 ^{40}K 和 ^{87}Rb)是蔬菜(32.3%)、薯类(18.6%)、面粉(16.5%)、大米(16.1%), 其次是猪肉、干豆类, 其余各类贡献都小于2%。这些结果对于估算我国国民剂量和制定食品放射性物质限制浓度标准都有重要意义。

综前所述, 总膳食调查方法简便易行, 分析工作量小, 但可获信息少, 在早期应用较多; 而各别食品膳食调查可获的信息多, 可了解各类食品对总摄入量的相对贡献, 并进而了解各类食品浓集放射性核素的相对能力或对人体内照射重要性, 以便必要时分析异常原因乃至采取相应补救措施。尽管后者工作量大, 但由于其突出的优点, 近年应用日增。

二、膳食调查在辐射防护中的应用

膳食调查目前已在人群营养素与毒物摄入量监测和为当局决策提供依据上日益发挥其作用, 现仅就辐射防护中的应用作简要介绍。

1. 膳食放射性调查是估算人群食入所致辐射剂量的常用方法

膳食组成由于地区、民族、职业、年龄及经济条件不同而有很大差异。日本、美国等国多年来一直在进行此类基础资料的调查。日本报道过1960~1977年各类食品人均食用量的逐年变迁^[16], 表明日本人膳食中谷物食用量逐年下降, 肉、家禽、蛋和奶食用

表4. 七个国家的食品供应量比较, (kg鲜重/人·年)

食品种类	英国	美国	新西兰	意大利	日本	阿根廷	印度
谷 类	70.6	61.8	76.2	131.1	117.9	98.7	136.0
土豆、淀粉	90.4	47.9	51.8	36.7	28.5	83.6	10.6
糖和甜料	48.6	50.1	36.0	30.5	26.2	40.3	24.5
豆、籽、坚果仁	4.9	8.1	3.2	8.1	10.4	3.6	19.5
蔬 菜	60.5	94.7	128.0	155.7	131.9	76.4	46.7
水 果	47.1	72.3	73.3	100.8	57.3	106.0	23.3
肉、家禽、大动物	73.5	110.1	113.5	65.2	28.6	98.2	1.5
蛋	13.8	16.0	17.1	11.3	16.2	6.9	0.1
海产品	7.9	6.9	4.7	10.8	34.1	4.7	2.3
奶和奶产品	363.6	246.1	396.9	189.7	57.0	82.1	33.8
油和脂肪	15.1	22.5	6.7	21.9	11.9	16.8	4.5

量明显上升, 呈现明显西方化趋势。

关于各国膳食差别, 日本农林水产省官房调查课曾编集了19个国家的食品供应量, 进行国际间比较, 现按照不同类型引用其中七国资料于表4^[16]。

曾有人按膳食组成差别将各国分成四种膳食类型^[17]: ①绝大多数欧洲、北美和大洋洲膳食, 含钙量大于0.8g/人·天, 其中70~90%来自奶和奶制品; ②南欧、拉美国家膳食含钙量为0.6~0.7g/人·天, 其中60~80%来自奶和奶制品, 蔬菜日食量较前组为多; ③阿联、土耳其、印度等国膳食, 含钙量为0.3~0.45g/人·天, 谷类、豆类和蔬菜更显得重要; ④锡兰、日本等国膳食, 含钙量为0.2~0.35g/人·天, 主要来自谷类、豆类和蔬菜, 奶并不是主要钙来源。由于各种食品浓集放射性核素能力的差异及在膳食中比重的不同, 在放射性核素转移入人体中的作用也不同, 对第①类国家, ^{90}Sr 主要膳食来源是奶类, 而对第④类国家则是谷类和蔬菜。

在我国近年开展的膳食放射性调查中, 曾对膳食习惯明显不同的南、北方农区及牧区居民膳食放射性核素摄入量进行了比较, 结果表明, 各种放射性核素摄入量, 尤其是各类食品和放射性核素对摄入量或所致内剂量的相对贡献均呈现相当大的差别^[15]。

近年来不少国家重视正常辐射本底地区国民剂量估算。基于近年各国资料, UNSCEAR在其1988年报告书中认为: 世界正常本底辐射地区天然辐射来源人均年有效剂量当量约为2.4mSv, 其中内照射约为1.6mSv, 相应核素部分为 $1.48 \times 10^{-4}\text{Sv}$ ^[18]。我国这次膳食放射性调查这些核素食入部分估算值为 $1.44 \times 10^{-4}\text{Sv}$ ^[16], 两个估算值相当接近。一个国家(或地区)膳食放射性核素摄入量及所致的国民剂量(或人群剂量)可作为监测放射性经食品污染人体或人为活动所致天然放射性核素含量水平升高的背景值。如这次对苏联切尔诺贝利核电站事故大范围食品放射性污染的评价, 各国大多采用各自原先膳食调查结果作为对照。

2. 膳食放射性调查资料是食品放射性物质导出浓度制定的重要依据

食品放射性物质导出浓度是基于基本剂量限值通过代谢和剂量模式及参数的联系而导出的食品中放射性物质浓度的推定限值, 是假定一生长期持续摄入条件下相应于基本剂量限值的浓度。长期均衡食入放射性核素所致内剂量的一种简便估算方法就是通过观察平衡条件下放射性核素在生态转移各环节之间的转移因子后, 直接从相邻环节的测量值推算全身或器官负荷量、甚至剂量的方

法。UNSCEAR 1988年报告书仍将放射性核素从进入环境直至导致人体剂量的过程模式化如图1, 其中, 从膳食(环节3)向组织(环节4)的转移系数(P_{34})是组织中活性积分浓度与膳食中活性积分浓度之比, 在平衡条件下是常数。同样, 从膳食向剂量(环节5)的换算因子即在 P_{35} ^[18], 这样就可从基本剂量限值导出年摄入量限值, 进一步根据膳食组成, 导出各类食品的放射性物质导出浓度。此外, 正常条件下膳食调查获得的公众摄入量也是衡量所制定限值可行性的依据之一。

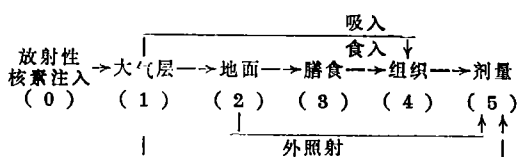


图1 放射性核素环境转移分区模式

3. 膳食组成和元素日摄入量是参考人的重要生理参数

在辐射防护中参考人是为了在共同的生物学基础上处理问题而提出的, 这个模型是由一系列描述人体特征的总元素含量、解剖学和生理学参数所规定的, 能代表放射工作者的成年人, 其参数详见ICRP第23号出版物^[19]。由于当时参考人资料主要来自西欧、北美, 缺少其它地区代表性, ICRP正在计划根据更广泛的资料予以修订。不少国家, 特别是亚太地区国家正在收集代表本国居民特征的参考人参数。参考人的生理资料包括膳食组成、水平衡和51个元素的代谢平衡, 这些数据大多有赖于膳食调查的结果。元素摄入量调查的必要性在于: ①不少元素(如铀、钍、钋等)本身就是放射性元素; ②不少元素含有放射性核素, 其元素行为可代表放射性核素(如 ^{90}Sr 的锶, ^{137}Cs 的铯, ^{131}I 的碘等); ③有些元素是放射性核素的化学类似物, 了解其代谢行为有助于对放射性核素代谢特性的判断(如钙对于 ^{90}Sr , 钾对于 ^{137}Cs)。为了建立日本参考人资料, Shir-

aishi等近年来用总膳食调查估算了日本膳食中13种元素的摄入量, 表5列出了日本成年男子对这些元素日摄入量测出值并与现行ICRP参考人建议值进行比较。结果表明, 尽管两组对Fe和Rb的数值相同, 但对Na、Mn和Sr日本测出值稍高, 而对Ca、Cu、Ni和Mo日本测出值只相当于ICRP建议值的一半^[7、22]。

表5.13种元素日本人日摄入量与ICRP建议值, g

元素	日本人测出值	ICRP建议值
Na	4.39 ± 0.45	4.4
K	1.63 ± 0.26	3.3
Ca	0.502 ± 0.087	1.1
Mg	0.186 ± 0.028	0.34 (男); 0.27 (女)
Fe	11.4 ± 2.8	16 (男); 12 (女)
Zn	7.24 ± 0.76	13
Al	4.37 ± 1.10	45
Mn	3.75 ± 0.50	3.7
Sr	2.10 ± 0.40	1.0
Rb	1.89 ± 0.33	2.2
Cu	1.30 ± 0.32	3.5
Ni	0.25 ± 0.08	0.40
Mo	0.16 ± 0.04	0.3

此外, 利用膳食调查对某些紧要人群已经进行了大量辐射卫生研究, 如: 印度、巴西和我国阳江高本底地区调查; 北极地区食品链导致当地居民 ^{137}Cs 、 ^{210}Po 和 ^{65}Fe 的升高辐照调查; 近海地区渔民由于大量食用海产食品所致升高辐照调查等。

三、今后膳食调查的趋势

膳食调查是了解人群摄入各种物质质量的重要方法, 可以预期在辐射防护研究中今后将有更广泛的应用, 近年文献报道可见有以下发展趋势:

1. 对不同性别和年龄组的膳食调查正在加强

ICRP现行的参考人参数和ALI只适用于职业受照成人。如ICRP26号出版物指出,

在计算公众由摄入放射性核素所致剂量时,必须考虑儿童的代谢特征和器官大小。近年来对公众辐照以及对剂量年龄依赖关系研究表明,婴儿和儿童的剂量换算因子常比成人大得多^[20、21]。日本在对13种元素摄入量调查时考虑了不同性别的3、16、40和70岁8个人群组^[22]。考虑到ICRP23号出版物指出了一旦资料可用,参数应包括不同性别和年龄组,并提到了6个年龄组的划分,参照文献中重视的年龄组和ICRP成立的剂量年龄依赖关系任务组的年龄分组,当前最被重视的年龄组是1岁婴儿、10岁儿童和成年。预期新的参考人参数也会对相应年龄组予以补充和修正。由于不同年龄组有不同的膳食组成,必然导致不同的摄入量和剂量换算因子,所以对公众的膳食调查应该重视年龄依赖关系。

2. 膳食组成的调查应成为国家长期积累的供卫生评价用的基本资料

如上所述,各国(或地区)的膳食组成总是处于变迁中,各种物质的摄入量则随膳食组成和浓度而变动。为了提高膳食调查结果的可比性,应定期按统一要求对不同人群膳食组成进行调查,并贮存于数据库备用。

3. 进一步提高膳食调查的科学性

膳食调查结果的可靠性主要取决于方案设计的科学性和监测分析技术的先进性。

方案设计的科学性主要涉及样品、人群的代表性和食品的分组。过去食品分组较为混乱,导致不同资料比较的困难。对公众的评价应包括不同性别-年龄组,但为了防止“稀释作用”,一般认为16~19岁男性人群饮食量最大,可用以估计污染物的最高摄入量。各食品组包括很多种食品,应采用消费量最多的代表性食品分析,以代表核素经该类食品的摄入量。在食品归类时要根据膳食中相对重要性、相近的浓集待测物质的能力以及数量上的等价性等。饮水应视为主要食品之一,它在不少调查中常被忽略,实际上可能

是主要来源。例如表2,中苏联某中亚城市居民异常高的²²⁶Ra摄入量主要来自地下来源的饮水。随着分析技术的日益先进,调查结果的准确度和灵敏度也在不断提高,如由于原子吸收光谱及中子活化分析技术的应用,可测微量元素项目大大增多,近年来α谱仪和γ谱仪的应用对同一元素的不同放射性同位素能进行准确测定。为了减少工作量和膳食采样量,多种元素或放射性核素的联合分析已为人们重视。

4. 膳食调查对象元素的变化

随着各种新兴工业的发展,工业毒物的种类不断增加,调查项目随之变化。就辐射防护关心的放射性核素而言,六十年代初主要关心大气核试验沉降灰,调查主要集中于裂变产物⁹⁰Sr、¹³⁷Cs和¹³¹I,后来随着核武器试验的减少和核能和平利用的发展,增加了对²³⁹Pu、²²⁶Ra和²¹⁰Po等核素的重视。

5. 膳食调查从被动监测转变为主动监督

最早的膳食调查是对核武器试验放射性污染的可能危害的监测,后来发展为对各种工业污染物的主动监督,并协助有关当局作出补救决策。如:膳食调查发现某地叶菜类混合食品样中Cd水平高,经追踪发现与某工厂菠菜罐头有关。该工厂决定,不再在土壤有Cd污染的地区购进原料。其后的膳食调查证实了该决策的有效性^[23]。

参 考 文 献

1. 山果登: 微量元素 柴之芳、祝汉民译,人民卫生出版社,1983年1月第一版
2. 住谷みさ子: 放射線科学 1980, 23(10): 195
3. Michelson I, et al, J Nutrition 1962, 78: 371
4. Michelson I, Health Phys 1963, 9: 944
5. Kauranen P, Health Phys 1969, 16: 287

6. Magno PJ, et al, Health Phys 1970, 18 : 383
7. Kunio S, et al, J Radiat Res 1986, 27 : 121
8. Fisenne IM, et al, Rep HASL-224, US-AEC 1970, Washington D.C
9. Fisenne IM, et al, Health Phys 1987, 53(4) : 357
10. Ministry of Health and Welfare, Table of intake of Nutrients, Tokyo, 1978
11. 亀谷勝昭, 他, Radioisotopes 1981, 30 (12) : 681
12. UNSCEAR, A Report of UNSCEAR to the General Assembly, with Annexes, Vol. I, levels, New York, 1972
13. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1977 Report to the General Assembly, with Annexes, New York, 1977
14. 中国预防医学中心卫生研究所: 一九八二年全国营养调查总结, 1985
15. 张景源、诸洪达主编: 中国食品放射性及所致内剂量 中国环境科学出版社, 1989年2月第一版
16. 住谷みさ子: 放射線科学 1980, 23 (9) : 170
17. Middleton LJ, In "Agricultural and Public Health Aspects of Radioactive Contamination in Normal and Emergency Situation", 123, Sponsored jointly by FAO, WHO and IAEA, 1964
18. UNSCEAR, 1988 Report to the General Assembly, with Annexes, New York, 1988
19. ICRP, Publication 23, 1975, Oxford
20. ICRP, Statement from the 1983 Washington meeting of the ICRP, Annals of the ICRP 1984, 14(2) Pergamon Press, Oxford
21. 周永增、李素云: 辐射防护 1988, 8 (4/5) : 367
22. Kunio Shiraishi, et al, J Nutr Sci Vitaminol 1988, 34 : 55
23. Carson L: 在中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所讲课资料 1988年1月4~5日。

(上接第16页)

- 1982, 2 (2) : 52
22. Erdman HE, Radiat Res 1965, 25 : 341
23. McGregor JF, et al, Radiat Res 1972, 52 : 536
24. Ward WF, et al, Radiat Res 1970, 32 : 125
25. 鞠桂芝, 等: 中华放射医学与防护杂志 1985, 5 (5) : 331
26. 刘伟宏, 等: 中华放射医学与防护杂志 1987, 7 (5) : 336
27. Dixon FJ, J Exptl Med 1963, 117 : 833
28. 刘树铮: 中华放射医学与防护杂志 1985, 5 : 124
29. Ullrich RL, et al, Radiat Res 1976, 68 : 115
30. Jacobson AP, et al, Am J Publ Health 1976, 66 : 31
31. 翟少剑, 等: 中华放射医学与防护杂志 1982, 2 (2) : 48
32. Lurie AG, et al, Radiat Res 1977, 76 : 611
33. 《辐射防护通讯》编辑组: 电离辐射: 辐射源与生物效应 (UNSCEAR 1982报告) 辐射防护通讯 1983, P894