

实验中, 子孙数在第十代为对照组的一半以上, 这个减少的效应在氚水组比给 ^3H -胸腺嘧啶核苷组大。在第九代进行显性致死突变检定实验, 若观察 F2 的排卵数和生育的胎儿数之比, 则对照组 (1.9) $<$ ^3H -胸腺嘧

啶核苷 (3.3) $<$ 氚水 (4.2), 给予氚水组的效应大。这个 F2 本身在精子或胚胎状态不受照, 而显性致死突变却显著增加。

(江口精美: 放射线科学 22(6): 119, 1979(日文) 陈文霞译 张景源校)

环境辐射、辐射流行病学和群体辐射危害分析

本文根据参加第六届国际辐射研究会议和国际远期效应小组协会(简称IALEG)广岛会议所了解的情况和资料, 会后在日本有关研究单位参观访问所得的资料, 结合与一些国家(主要是美国和日本)的科学家交谈、讨论得到的印象, 对环境辐射、辐射流行病学和辐射危害分析的研究动态作一简要介绍。有些文章因已在最近召开的各专业会议上发表, 在这次会议中未再报告, 所以这里介绍的资料并不能反映全面的情况。

一、环境辐射方面的研究主要针对四个方面的问题

1. 核能利用和生产造成的环境辐射。它受到重视是因为核能在实际中已较为广泛地应用, 而且正在发展, 因而它的卫生问题不只涉及直接从事这项工作的职工, 而且涉及到附近的居民和广大居民。日本从1967年起对敦贺等地区的核电站和核企业进行环境辐射测量和卫生分析, 现在监测的核电站有10个, 核企业3个, 包括反应堆16个(沸水堆6个, 压水堆9个, 气冷堆1个)。估计到2000年, 核电站将成倍地增长。现在监测的范围包括广大居民住区和海洋。除了对裂变产物中的主要核素、感生放射性核素、钚等进行研究外, 突出地重视 ^3H 的测量和与之有关的生态学、毒理学、剂量学和危害分析的研究。在ICRR全体大会上, 西德的著名科学家L·E·Feinendegen指出: 预计聚变反应堆的生产将释放出相当数量的 ^3H 进入生物环境中, 从而通过氚化水和含有氚化水的食物进入人体形成全身照射。在计算 ^3H 的内照

射剂量当量时, 不只要考虑它的 β 辐射能量、RBE, 而且要考虑 ^3H 的能量转换对剂量当量的贡献。在进行剂量计算和危害评价时, 一个重要的方面是了解 ^3H 在体内, 尤其是在细胞核内的代谢和更新率, 而目前对此的了解是不够的。 ^3H 以氚化水的形式进入人体后, 它主要以体内游离水的形式参与代谢, 迅速自体内排出。然而, 在有机分子中, ^3H 可与其中的稳定氢进行交换, 从而形成有机化合物的非交换部分, 即组织结合氚(tissue-bound tritium), 这样, 它的代谢和更新就慢得多了。 ^3H 的能量小, 在组织内射程短(平均射程1微米), 但在微米体积的组织内, 却可以把它的大部分能量传递给分子, 因而在这些地方形成大的比能。从关心遗传和致癌效应出发, 这当然是值得重视的事。在制定 ^3H 的年限制摄入量时要予以考虑。L·E·Feinendegen提出, 为使含氚化水的食物对人体的照射剂量计算得准确些, 可以氚化水所致的剂量为标准, 然后以含相同氚化水的食物所致的剂量与之比较, 得出计算食物剂量的修正系数, 对低水平 ^3H 的测量多采用电解浓缩法。

为了了解核企业排出的核素从释放到人体组织内产生剂量的各个环节, 放射生态学和放射毒理学也有较大的发展。例如核素在植物内的代谢(如水稻、豆类), 对水生物的影响, 深部海洋因放置固体废物而造成的可能污染及对生态的影响, 头足纲动物对放射性核素的浓集因子等。

2. 关于核试验落下灰造成环境污染的

问题, 在ICRR的专题讨论会和论文报告会上也有部分文章发表。这些文章主要是日本国立放射医学综合研究所(NIRS)和位于日本北部的秋田大学等研究单位宣读的。据日本发表的材料说, 核试验形成的放射性累积量, 其沉降于地面者有82%集中于北半球, 大部分沉降于北纬30°至60°, 而日本恰好是在这个范围内。在中国进行大气核试验时, 由于气象的原因, 含有早期落下灰的气流经日本的北部。在中国核试验期(爆后)他们侧重收集热粒子、降水(雨)、空气中悬浮的灰尘(采样600米³)和沉降灰, 及时报告污染水平, 当然也作其它分析。平时则侧重放射生态学的研究。这方面对海产和果树(主要是橘、橙)的污染似乎研究最多(⁹⁰Sr、¹³⁷Cs等), 这可能与日本人的饮食习惯有关。对⁹⁰Sr在人骨中的铍单位也进行了长期的研究。近年来对落下灰中的铀和钚也很重视。据Y·Migake在专题讨论会上的报告, 到1979年。核试验释放出的²³⁹Pu和²⁴⁰Pu已有40万居里, 其中30万居里在平流层内。²³⁹Pu和²⁴⁰Pu在东京的累积沉降量为1.2毫居里/公里², 沉降最高的一年是1963年(200微居里/公里²·年)

对铀的生态和日本人体内的铀含量也进行了研究。为了计算内照射剂量, 制定日本的辐射防护标准。对“参考日本人”的各种参数也进行了研究, 并在ICRR会议上作了介绍。日本参考人的研究已作了体重、各器官重量、每日摄入的食品量和品种, 各元素在日本人体内的代谢和分布等。解剖学参数和生理学参数的研究正在进行中。

3. 对民用物品、医用X射线和医用核素所引起的照射和剂量也有较多的研究。在广大居民的集体剂量中医用X射线仍然是主要的。

4. 关于天然放射性核素的辐射和天然辐射本底的研究, 这次在ICRR会议中报告不多, 因为1978年4月在美国Houseton刚刚开过第三屆环境天然辐射的国际会议。

据了解, 日本从1967年至1977年对日本全国的天然辐射本底(外照射)作了普查, 包括地壳和宇宙射线所致的γ辐射。共分成778个地区, 每一地区测1~32个地段; 每一地段居民数约为100000; 每一地段一般测5个点。所有数据均为白天的。测量仪器为电离室和晶体辐射仪。照射量率全国平均为9.0微伦/小时。其中来自宇宙线的约为3.4微伦/小时。目前已采集土壤样品准备进行分析, 并准备测量建筑物的放射性。他们认为地质状况和地质物理(geophysics)因素是主要的。

伊朗科学家在ICRR论文报告会上介绍了伊朗Ramsar城的高辐射本底地区调查情况。这一调查工作已进行了10年。他们过去主要集中研究²²⁸Ra在环境中的量以及高本底地区和一般本底地区的辐射水平。目前在研究地区空气中²²²Rn及其子体浓度, 使用个人的和地区的氡测量仪〔用红染硝酸纤维素(red-dyed cellulose nitrate)记录α粒子〕。

我国科学家在ICRR论文报告会上和广岛RERF的专家讨论会上介绍了我国广东高本底地区 and 对照地区的辐射本底和居民健康状况的调查。

在ICRR论文报告会上, 日本科学家介绍了用γ谱仪〔Ge(Li)探头〕和X射线粉末衍射技术测量分析日本某些地区土壤中的铀系核素, 分析了粒子大小与核素分布的关系, 以及²³⁰Th与²³⁸U、²²⁶Ra及²¹⁰Po与²³⁸U的比值。

美国科学家介绍了铀矿石加工和尾矿储存引起的对人辐射问题。对典型工厂进行了约定剂量当量的估算, 并对其危险度作了估计。

会上, 有的报告对火力发电站(用煤作燃料)排出的灰尘作了放射性分析, 其中天然放射性核素主要是²²⁸Ra、²²⁸Ra、²³⁰Th、²¹⁰Po、²¹⁰Pb。他们共调查了3个以煤作燃料的工厂排出的灰尘并计算了集体剂量当

量：在工厂30公里半径范围内为17(全身)、162(骨)、18.3(肺)人·雷姆/年，并与核电站造成的集体剂量当量进行了比较。

二、关于群体辐射危害的分析

在ICRR会议和IALEG广岛会议上对群体辐射危害分析的研究报告有以下的内容。

1. 侧重于大的人群受小剂量或低剂量率照射后远期影响的分析和危险度的估计。在远期影响中又侧重于癌的发生和遗传损害，对非致癌和非遗传效应(如眼晶体混浊，寿命缩短等)也进行了一定的研究。但从比重上来说，后者要少得多。

在两个国际会议上发表的日本原子弹幸存者的流行病学调查材料是三十多年细致的调查、检查、统计分析的结果。有不同剂量水平的分组，有不同受照年龄和性别，被观察者有健康档案(或病历)记录，又有登记、定期体检、核实的制度，因此这些材料是很有价值的。目前各国际放射防护机构和国家放射防护机构在作辐射危险度分析时都引用这些资料，结合其它材料，推算照射剂量与损害发生率的关系和高LET与低LET照射之间的关系，求得RBE或Q值。

辐射危害分析又和相应的实验研究、基础研究密切相关，互补有无。在这两次国际会议上，这方面的材料也较多。

2. 根据会上的报告和会下与美国、日本等国科学家交谈，我们得到的印象是在群体辐射危害分析中，致癌问题最受重视。

ABCC-RERF(1975年ABCC改为RERF，即放射线影响研究所，由原来以美国为主改为以日本为主，美国为辅)三十年来通过健康检查、死亡率调查统计、病理研究(每个尸体作解剖)和其它项目的研究，并与广岛大学、广岛原爆病院协作，对大约110000原子弹受照活存者及相应的对照人群进行了观察。从已得结果来看，最主要的晚期影响是恶性肿瘤的发生率增加。从统计

学上能肯定下来的是白血病、甲状腺癌、乳腺癌和肺癌。白血病在五十年代中期发生率逐渐下降(中间也有起伏)，但目前距爆心投影点近的受照者的发生率还是比离爆心投影点远的受照者高。胃癌、唾液腺肿瘤、淋巴瘤、多发性骨髓瘤的发生率有增长的趋势，随着受照者年龄的增长，估计癌的发生率有可能升高。自1950年以来，广岛、长崎的受照人群中约增加400~500例肿瘤死亡。据S·C·Finch的报告，1950~1974年受照剂量大于100拉德的人群的发病率和死亡率统计表明，乳腺癌、甲状腺癌和肺癌的相对危险度(受照群体与对照群体危险度之比)相应为3.3, 2.5, 1.8;绝对危险度(受照人群与同等数量的对照人群相比，发生数多的部分以每百万人、每年、每拉德表示)相应为1.9, 1.3, 0.35。这些数据与1976年报道的数据相比有一些小的改变。白血病的危险度未重新估计(文献中已有多次报道)。

广岛和长崎两城市的剂量-反应(肿瘤)关系不同，就大多数肿瘤来说，广岛的危险度大于长崎，这可能是因为广岛受照者受到中子的照射较多的缘故，但乳腺癌是例外，即两城市近似。两城市的剂量-反应曲线不相同，广岛的一些肿瘤发生率与剂量呈直线关系，而长崎呈二次方程的关系。但目前对比释动能(Kerma)小于20拉德与发生率的关系曲线还未能建立。年龄组不同，肿瘤的危险度也不同，受照时小于10岁者，总的肿瘤发生数高于其他年龄组，但在某些肿瘤发生率方面(如胃癌、乳腺癌和多发性骨髓瘤)这个年龄组反而低。受照时年龄大于50岁者，肺癌的危险度最高。照射剂量似乎并不影响潜伏期的长短。从组织学检查来看，辐射诱发的肿瘤在类型上与其它原因引起的肿瘤很少差异。

3. 关于辐射致遗传损害的危险度估计。这部分的介绍主要是根据J·F·Crow在ICRR全体大会上的报告，RERF的W·J·

Schull等在会议上的报告以及其它有关会上的发言和会下交谈所得材料整理的。

1927年, H·J·Muller发现电离辐射可以诱发果蝇的基因发生突变,此后对植物、动物、包括哺乳动物的研究也证明了这种改变,因而电离辐射引起遗传影响的问题逐步得到重视。五十年代科学界对小剂量电离辐射诱发基因突变和染色体畸变的危险度开始进行分析,总的来说,那时的分析是看得更严重些。此后,分子生物学有了很大的进展,辐射流行病学和群体遗传学的研究工作得以深入,又加上W·L·Russell等的大数量哺乳动物(小鼠)的剂量-效应研究结果,人们对电离辐射对人类遗传影响的认识有了很大的发展。近年来认为虽然辐射的遗传影响问题仍很重要,但它的严重程度显然要比五十年代中期估计的要小。在损害的积累方面,剂量率、分割照射方面也有了新的认识。目前认为在分析大人群的辐射损害时不能单单考虑遗传影响,更要考虑致癌影响,同时对胚胎受照的影响和非随机性损害也应考虑,但是非随机性效应在环境辐射(很低的剂量率和大的人群)中,比较来说是不重要的。

一个相当完善,在长期生存的环境中已经适应的机体系统中产生突变体,几乎都是有害的,最好也是中性的。如果选择松弛,突变的作用会增长;但是如果没有新的突变发生,原有的变异就将耗竭,因此有突变也不是可怕的事。突变率增加,突变体会增加,障害($\text{impact} = \text{严重程度} \times \text{人群数}$)也会增加,但由于选择,会达到平衡,严重程度愈大,被选择的机率也愈大。另一方面,适应度(fitness)增加,即使突变率不增加,障害也会增加。这可以用两种方法进行测定:对已知的遗传性疾病患者活存及生育情况的调查;近亲结婚所生后代活存和生育状况的调查。

由于选择,突变体终归要被排除(当然又有新的突变体产生),选择系数愈大(适

应度与之成反比),持续的代数愈少。此外,人类的突变基因发生同质结合的机率极低,隐性基因不发生同质结合就不会表现出损害的性状,因此诱发的纯隐性基因的危险度是很小的。问题是不完全隐性,带有若干显性的基因会传下去,在群体中会形成积累,但这种基因损害轻微,对个体影响不大,而且突变体只有约四十分之一传到子一代。况且在辐射诱发的突变中比例极小(环境中的化学物质则可能不是这样)。因此, J·F·Crow认为:当前最急需的是研究严重性大的显性突变和染色体畸变的危险度,时间尺度对它们并不太重要,只要观察几代就可以了。

ABCC-RERF对广岛、长崎受照者后代的遗传学研究是对人类大群体观察时间最长的辐射遗传研究。从四十年代后期开始,作了妇女怀孕、生育情况的调查(了解遗传性死亡和部分先天畸形的发生率是否增加)(1948~1953);广岛新生儿性别比例(也是研究遗传性死亡的方法)(1954~1962);儿童的死亡率统计(1946~1958)。上述这些研究均未发现受照者后代与对照人群有明显的差异。

近年来RERF在辐射遗传方面主要作了以下三方面的工作。

(1)用生化学方法(测定酶)检查大群体(人)的基因突变率。因为不同的基因决定不同的酶,因而测定各种酶系统有可能了解基因突变的情况。在子代发现异常时,测定他们父母的相应的酶,以弄清是否为新的突变。1972~1975年作准备性研究。然后在广岛、长崎进行大规模的人群调查,到1978年底止,共取儿童血样8500份(父母为近距离受照者5000份,对照3500份)。用电泳法检查了28种蛋白质系统,现在研究工作正在进行中。

(2)受照者后代的细胞遗传学研究。自1967年起,RERF对原子弹幸存者子女和对照人群进行了体细胞染色体的检查,其

目的是试图弄清亲代的生殖细胞受到照射后，它的遗传性损害的危险度是否能在子代的染色体诱发畸变率中表现出来，即染色体畸变率是否增加。从理论上估计，这种畸变应是遗传性稳定（对称）的染色体重排（rearrangements），一般表现为易位异型结合体（translocation heterozygotes）。但对于由于不分离而引起的染色体数变化，如常染色体的三体性和性染色体的非整倍体也予以检查，因为现在还不能排除射线引起不分离的可能性。

到目前为止，已对7540个儿童（广岛、长崎）进行了染色体分析（其中对照2879名）他们的父母未受照射或者虽受照射但剂量小于1拉德），结果可概括如下表：

	受照者子女		对 照	
	发生数	发生率	发生数	发生率
常染色体重排	10		4	
性染色体数异常	12		8	
总 计	22	0.47%	12	0.42%

从目前所得结果来看，受照者子女与对照组无统计学差异。

（3）受照活存者子女的死亡率。对1946年至1976年的死亡率进行了分析（ χ^2 和回归分析），未发现父母受照射影响到子女活存的情况。

4. 关于辐射引起其它损害的问题。在ICRR的一次专题讨论会上作了讨论。有些损害如电离辐射对血管的影响，对免疫系统的影响，结缔组织在辐射晚期效应的作用等正在研究中，在小剂量，低剂量率的情况下还不能得出明确的结论。从人类的资料看来，除致癌和遗传效应以外能肯定下来的电离辐射重要损害效应是早期胚胎受照后出生后生长发育迟缓，头小，智力障碍；眼晶体混浊发生率增加以及大的治疗剂量引起的某些组织学变化。G.W.Beebe认为，畸胎效应（主要指头小畸形和智力障碍）的发生率随剂量增长而变化。无阈值，即可能是随机性损害效应。

RERF对原子弹受照者长期观察未发现：生育能力降低。发生新病种和非寻常性疾病。也未证实由于非癌性疾病使死亡率增加或寿命缩短。

（第六届国际辐射研究大会中国代表团成员 魏履新整理）

海洋及大陆的放射生态学

第六届国际辐射研究大会在5月14日到18日的科学讨论会及座谈会上，共发表了930篇论文，其中包括保健物理及放射生态学范畴的论文约60篇。在环境辐射及与环境放射性有关的学术会议上共发表论文21篇，海洋放射生态学11篇，大陆放射生态学10篇。

在海洋放射生态学的学术会议上，日本研究人员发表了9篇论文。论文涉及内容非常广泛，不仅使人感到主题是多方面的，有放射化学、放射测量、生物污染以及废物处理等，而且作为研究对象的放射性核素范围也很广阔，充分反映了海洋放射生态学领域的广度。

用冠醚（Crownether）进行放射性Sr的定量方法，或者用液体闪烁计数器测定 ^{90}Zr - ^{90}Nb 和

^{60}Co 等环境样品中的微量放射性核素的应用等，创造了测定环境放射性的新方法而受到了人们的重视。同样，用可移动型Ge(Li)半导体探测装置测定环境辐射，为测定仪器的应用范围开辟了广阔的前途。另一方面，以前所指出的关于放射性核素向水生生物方面的转移，用铯和钴为例说明了由于转移途径或存在状态等不同给生物的累积和排除带来差异的可能性。有的报告指出在海产软体动物中，钴极其特异地浓聚在章鱼的鳃、心脏里。那些头足类动物在海洋中的垂直移动，加上生物的生理生态及放射污染的关系，使人们寄与了很大的关注。就超铀元素而言，是来自核爆炸试验还是来自和平利用原子能而产生的放射性废物，这是需要加以区别的。瑞典研究人员的报告令人感到在欧洲等多数国