

综述

氚的生物学效应研究进展

邹淑爱

(核工业部辐射防护研究所, 太原)

摘要 本文综述了最近发表的有关氚对哺乳动物的生物效应的文献资料, 其中包括整体和细胞的致死效应, 诱发肿瘤和细胞恶性转化, 平均寿命缩短, 造血功能的改变, 生殖细胞损伤和对后代的影响, 染色体畸变以及染色单体互换等方面。

关键词 氚, 氚水, 生物学效应, 相对生物学效应(RBE)。

引言

除天然存在氚外, 核裂变试验也产生大量氚。同时, 随着核工业的发展和核电站不断增加, 所产生的氚可能以低水平剂量缓慢弥散进入生物圈。

氚的毒性主要来自辐射效应和生化作用。从实验生物学的意义来看, 氚 β 粒子的电离辐射作用是主要的。一般认为, 氚和其他主要放射性核素相比, 毒性较低。例如, 与铯相比, 根据ICRP推荐, 铯-239的最大容许体负荷为 $4 \times 370 \text{ Bq}$, 而氚的最大容许体负荷为 $3.7 \times 10^7 \text{ Bq}$, (以氚水为存在形式)^[1]约为铯的 2.5×10^4 倍。在各种放射性核素中, 氚具有特殊的位置。这是因为氚是氢的同位素, 而氢是生物体中最广泛的元素之一, 故氚可以结合在活体中任何有氢的部分。此外, 氚水(^3HOH 或 HTO)是氚的最常见的化学状态, 它可参与自然界水的循环而被生物所利用, 构成人类生存和食物链的循环。

近几年, 国际上多次举行有关氚的生物学效应会议。例如, 召开核工业释放的放射性核素氚的生物效应专题讨论会; 氚的毒理学讨论会; 氚生物学和保健物理会议; 氚辐射危害的专门会议; 环境污染和人类的国际讨论会; 会议分别由IAEA、美国、日本、比利时、南非主办。可见各国都非常重视这一核素的研究。

有关氚的生物学效应研究, 世界各国都作了大量动物实验和体外培养方面的工作。本文着重介绍有关氚对哺乳动物的生物学效应。

致死效应

1. 个体致死效应

人们曾观察过氚水的CF1小鼠30天死亡率, 实验设5个剂量组: 分别按每克体重(0.7、0.84、0.94、1.13和1.41) $\times 3.7 \times 10^7 \text{ Bq}$ 氚水, 一次腹腔内注入。从实验求得 $\text{LD}_{50/30}$ 为 $0.9 \times 3.7 \times 10^7 \text{ Bq/g}$ 体重, 累积剂量为8.04 Gy, 小鼠的体内有效半减期为2天。作者同时作了与 ^{60}Co γ 射线对比的实验, 亦分5个组, 剂量范围为12.3~16.5 Gy, 结果得出 $\text{LD}_{50/30}$ 为13.5 Gy。据小鼠急性致死效应得到的氚水的RBE为1.7^[2]。有人报道过二起在工业生产过程中受到大剂量氚照射后引起死亡的事件, 受害者共7人, 都是发光涂料工人, 他们接触了几千 $3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (居里)的氚和氚水, 受到氚的严重照射, 在后期出现恶心和倦怠等放射性病的症状, 其中2人最后死于

全骨髓细胞减少症^[3]。

2. 细胞致死效应

应用细胞培养技术, 观察氚对细胞的杀伤能力比整体动物实验剂量计算精确, 并能获得在整体动物中得不到的资料。

初期, 作者多使用小鼠白血病细胞(L₅₁₇₈-Y), 培养于低温, 加入氚-胸腺嘧啶核苷(³H-TdR)或氚水^[4~5], 他们认为, 在低温下进行照射, 细胞停止分裂, 杀伤细胞值更为准确。但亦有作者^[6]是在 37℃进行培养, 使用小剂量照射, (³HOH 为 (2~100) 3.7×10^4 Bq/ml, ³H-TdR 为 $5 \times 3.7 \times 10^2$ Bq/ml)在此剂量范围, 当细胞照射至 100 小时, 存活值降低至最低点。

为了进一步了解人类细胞对氚水的敏感性 LeMotte 等^[7]用人二倍体纤维母细胞系(AG 1522), 人色素瘤细胞系(C 143)、小鼠胚胎纤维母细胞 10T 1/2 和早代地鼠胚胎细胞(R 04)作了比较。实验结果表明, 人类细胞对氚水作用比鼠类细胞敏感。同时, 这种敏感性与温度有关。在 0℃时, 敏感性差异缩小。

致癌和寿命缩短

有关氚的致癌效应, 用 ³H-TdR 注入小鼠, 剂量范围在 $(0.1 \sim 10) \times 3.7 \times 10^4$ Bq/g 体重, 多数作者都能获得阳性结果^[8~9]。肿瘤的发生数均较相应年龄的对照组有明显增加, 新生小鼠具有更高的敏感性。

Cahill 和 Wright 等^[10], 曾用 S. D. (Sprague Dawley) 大鼠做过实验, 使 125 天鼠龄的雌雄大鼠进行交配, 一旦阴道精子阳性, 即给雌鼠注入足够剂量的氚水, 继而饮用氚水, 使体水中氚的活性分别为 1、10、50 和 370×10^4 Bq/ml, 经 22 天, 累积剂量达 0.066、0.66、3.30 和 6.60 Gy。共用了 145 只孕鼠。仔鼠出生后, 经 21 天哺乳, 便分笼饲养, 观察母鼠和仔鼠中的肿瘤发生情况和寿命。实验得出, 随着剂量增大, 母鼠各种肿瘤的发生率增高, 乳腺纤维瘤出现时间缩短, 但在两个高剂量组的子代雌鼠中乳腺纤维瘤的发生率比对照组低。仔鼠雌性的肿瘤发生率比雄性高, 但前者的寿命都比后者略长。

Стредцова, 等^[11]模拟动物生活习性, 使 3 月龄两性大鼠(共 540 只, 分 6 组)饮用氚水, 其活性分别为 10.84×10^5 、 5.44×10^5 、 2.74×10^5 、 1.37×10^5 和 3.4×10^4 Bq/ml, 另设有不饮氚水的对照组。以上各种浓度在机体中的剂量率分别为 0.032、0.016、0.008、0.004 和 0.001 Gy/d。实验结果各剂量的大鼠恶性肿瘤发生率分别是 41.1%、29.7%、23.5%、31.2% 和 30%, 与对照组相比, 有三个组的差别有统计学意义。肿瘤的总发生率随剂量的增大而增高。从实验数据推算, 恶性肿瘤发生的危险度为 725×10^{-6} cGy⁻¹, 乳腺恶性肿瘤发生的危险度为 $107 \sim 140 \times 10^{-6}$ cGy⁻¹、白血病发生的危险度为 350×10^{-6} cGy⁻¹。在长期摄入氚水所致的肿瘤中, 内分泌器官和乳腺的肿瘤占较大比重。平均寿命比对照组短。

Ребцна, 等^[12]就氚水与 ¹³⁷Cs γ-射线对 Wistar 大鼠(140~150g)的生物作用进行了比较。氚水组每周灌胃 5 次, 共灌 6 个月, 累积剂量为 25.3 Gy, γ-射线组所受剂量共 24.8 Gy, 实验结果表明, 据平均寿命得出氚的 RBE 为 1; 据恶性肿瘤和白血病得出的 RBE 分别为 4.2 和 2.5。

Yokoro, K 和 Seyama, T. 等^[13]报道了给 C₅₇BL/6 N × C3H/He)F1 雌性小鼠腹腔注入氚水, 其剂量为 $7.4 \times 10^8 \sim 1.4 \times 10^8$ Bq/只时, 动物出现肿瘤。

Little 等^[14]用 BALB/3T 3 细胞转化实验, 氚水浓度在 $(0.025 \sim 0.5) \times 3.7 \times 10^7$ Bq/ml 范围, 照射时间为 5~168 小时, 细胞恶性转化随剂量加大和照射时间延长而增加, 在低剂量时表现更为明

显。实验中未得出转化的阈值。CHL-1 细胞经氚水 β 射线照射($1.76 \times 10^{-4} \text{ Gy} \times 4$), 其恶性转化率为 13.76%^[15]。

造血系统的效应

造血系统对氚的作用具有高度敏感性。Harris^[16]报道, 小鼠饮用 $6 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 氚水时, 外周血中 CFU-S 和 CFU-C 的数目都明显减少。血液中 CFU 数目的减少, 反映着骨髓中干细胞数目及其在造血器官之间转移的变化。小鼠饮用氚水的浓度降为 $3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 和 $3.7 \times 10^3 \text{ Bq/ml}$, 若连续饮用 4 周, 骨髓细胞轻度减少, 骨髓中造血干细胞数终生减少^[17]。若把饮用氚水的时间延长至三个月, 其剂量分别为 0.1、1 和 $10 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$ 体重, 此时动物外周血的有形成分数, 骨髓中有核细胞数以及集落形成单位数(CFU)与每日摄取的剂量大小有关。造血干细胞数量的降低最为明显。说明造血系统发生损伤。但如饮用的浓度为 $(0.059 \sim 0.063) \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$ 体重的氚水时, 不会引起造血干细胞减少^[18]。

对生殖细胞的影响

生殖腺是对辐射敏感的器官, 对氚的作用也很敏感。

1. 雄性生殖细胞

Lambert^[19]等报道, DBA 小鼠在注入剂量为 $(0.5 \sim 40) \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$ 体重的氚水 72 小时后, 睾丸的摄入量为 $6.8 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$ 。初级精母细胞可减少 27%, 相对于 X 射线的 RBE 值为 1.6~2.4。³H-TdR 的效能为氚水的 4 倍。在 Carr^[20]的实验中, 按 $(1-20) \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$ 体重给 CBA 系小鼠注入氚水, 观察 24 周。发现在 4~5 周时, 睾丸重量减少 30%, 相对于 ⁶⁰Co-射线的 RBE 值为 1.43, 还发现 ³H-TdR 的效能为氚水的 5 倍。

Bhatia^[21]给交配后 16 天的妊娠小鼠饮用 $5 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 的氚水。并分别在 3、4、5 周龄时将生出的仔鼠处死, 取其睾丸进行定性和定量研究, 发现 3 周龄仔鼠的睾丸病理变化最明显, 与对照组相比, A 型精原细胞、中间型和 B 型精原细胞分别保留 80%、70% 和 60%, 而精母细胞保留 70%。在 4 周龄和 5 周龄时, 精子细胞均为对照组的 45%。

2. 雌性生殖细胞

雌性生殖细胞在胎儿发育后期或出生后不复增殖, 因此, 辐射引起的雄性生殖细胞的减少是得不到补偿的。氚对雌性生殖细胞的生物学作用, 近年来倍受重视。

Hass^[22]用 Wistar 大鼠作实验, 从妊娠等 9 天起每天给大鼠 $(290 \sim 5800) \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$ 的氚水, 直至仔鼠出生。作者发现仔鼠卵母细胞减少与剂量有关, 剂量为 $1450 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$ 时, 卵母细胞仅为对照组的 50%。剂量为 $5800 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$ 时, 全部仔鼠的卵巢均发育不全。还观察了 ³H-TdR 的作用, 氚水的效能是 ³H-TdR 的 1/10。

Dobson^[23~25]等做了一系列实验, 着重研究了低剂量氚水对不同种系小鼠(A/J 系、Swiss-Webster 系)的影响。从母鼠妊娠初期即注入氚水, 继而使动物饮用, 分娩后继续饮用 14 天, 使体液中氚水含量分别达到 $(0.085 \sim 8.5) \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 。发现体液浓度为 $2 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 时, 仔鼠初级卵母细胞数为对照组的 50%。并认为, 仔鼠的卵母细胞减少效应是无阈的。相对于 ⁶⁰Co γ 射线的 RBE 值为 3。此值在低剂量范围高于高剂量, 这点对于辐射防护工作有着重要意义。此外, Dobson^[24]还用鼠猴(Squirrel)作了类似实验, 母猴体液中氚浓度为 $0.5 \times 3.7 \times 10^4 \text{ Bq/ml}$ 时(0.001 Gy/d)可使雌性生殖细胞减少一半。此浓度仅为小鼠所需的 1/4。若浓度达 $3 \times 3.7 \times$

10^4Bq/ml 此时, 新生仔猴卵巢中的生殖细胞 99% 受到破坏, 达 $4.5 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 时, 受损伤的生殖细胞可达 99.9%。其他猴类雌性生殖细胞的敏感性均低于鼠猴。Kopoor^[26] 用未成年小鼠的卵巢作体外器官培养, 于培养液中加入氚水, 其所得结果与整体动物实验相仿。

对胚胎发育的影响

从上述诸实验的结果表明, 氚对生殖细胞的作用是很明显的, 对后代发育可能带来影响, 不少作者对此作了详细研究。

S. D. 大鼠于妊娠早期饮用氚水, 在其体液中的氚保持在 $(1 \sim 100) \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 水平, 所受剂量分别为 $0.066 \sim 6.60\text{ Gy}$ 时, 可见仔鼠有生长障碍, 此反应的程度与剂量密切相关。体液中氚的水平为 $3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 时, 仔鼠外观正常, 但其肝和心脏肥大; 氚含量为 $10 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 时, 性腺和脑的重量减轻; 大于 $20 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 时, 胚胎发育停滞, 表现为仔鼠身长变短, 体重减轻, 以及各器官的重量普遍下降; 体液中氚含量为 $100 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 的实验组, 死胎增多^[27~28]。同样, 在 NMRI 小鼠实验中, 给孕鼠一次注入剂量为 $(7 \sim 135) \times 3.7 \times 10^5\text{Bq/g}$ 体重的氚水, 也可见相类似的结果^[29]。Mewissen^[30] 用 $\text{C}_{57}\text{BL/6 M}$ 亚系小鼠, 在出生后 28 天时, 使幼龄雄鼠接受一次 $3.7 \times 10^4\text{Bq/g}$ 体重的 $^3\text{H-TdR}$ 注射, 或令其饮用 $10 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 氚水 5 周, 对照组和雌鼠均饮用自来水, 在 10 周龄时, 使全部实验动物进行交配。追踪观察至 11 代, 观察到: 与对照组相比, 实验组的仔鼠长度和新生鼠的死亡率, 以及受精卵植入前丢失值经统计学方法处理, 均有明显差异。国内周湘艳等^[31] 也报道了氚水和 $^{60}\text{Co}\gamma$ -射线诱发 LACA 小鼠显性致死突变相对生物效应的实验, 其值为 $2.7 \sim 2.85$ 。

从上面各实验看来, 无论母体或父体接受氚作用后, 其后代的发育都受到不同程度的影响, 主要表现为性腺出现病理改变, 甚至坏死, 生殖能力减弱, 仔鼠发育受障碍, 显性致死突变增加, 脑发育不良等。

细胞遗传学效应

最早研究氚对细胞染色体影响是用中国地鼠细胞 B-14 FAF-28^[32]。在整体实验中, Brooks^[33] 使 BNL 小鼠饮用氚水 $3 \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 90~700 天, 并在不同时间点取部分肝组织, 观察肝细胞染色体畸变情况, 作者发现在 330 天或 500 天时, 小鼠染色体损伤明显增加。Hori^[34] 把 $^3\text{H-TdR}$ ($10^{-3} \sim 10$) $\times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 和氚水 ($10^{-3} \sim 10^2$) $\times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 加入人淋巴细胞的培养液中培养 48 小时。结果表明, 两者都可以使细胞的染色体发生畸变, 而且畸变率与剂量相关。在高剂量时, 畸变随剂量呈直线增加, 但在低剂量时, 明显高于所预测得的直线关系。Prosser^[35] 做了相似的实验, 并与 250 kVp 的 X 射线作了比较, 测得的 RBE 值为 1.13 ± 0.18 。若将大剂量 ($70 \times 3.7 \times 10^7\text{Bq/ml}$ 并作用 20—150 min, 使剂量达 $0.25 \sim 7\text{ Gy}$, 则所得的结果, 包括细胞损伤率, 有着丝点的环, 无着丝点环和双着丝点的出现率都与剂量呈正相关。与 X 射线所致人淋巴细胞染色体畸变数相比, 在 0.25 Gy 时, RBE 为 2.6, 剂量增大, 此值下降^[36]。张秀珍等^[37] 报道, 将人全血 (0.2 ml) 在含氚水 $(1 \sim 200) \times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 或 $^3\text{H-TdR}$ ($0.01 \sim 1$) $\times 3.7 \times 10^4\text{Bq/ml}$ 的培养液中培养 24 小时, 可观察到每个细胞中染色单体断裂 (Y) 随剂量 (D) 呈线性增加, 染色体畸变的剂量效应关系适于用 $Y = aD + bD^2$ 模式表示, 若以 $^{60}\text{Co}\gamma$ -射线作为参考辐射, 所得 RBE 值在 $1.4 \sim 3.7$ 之间, 此值随剂量增加而降低。

氚水亦能使姐妹染色单体互换率 (S.C.E.) 增加。Ikushima^[38] 曾给 Hale toner S Brookhaven

系小鼠饮用氚水 $3 \times 3.7 \times 10^4 \text{Bq/ml}$, 并在 28~261 天之间分别多次采骨髓制片。观察了细胞增殖动力学和姐妹染色单体互换数。饮氚水的小鼠在 81, 163, 192, 247 和 261 天时 S.C.E. 数均有增加, 都随饮用氚水时间的延长而呈直线上升, 与对照组相比, 统计学上有明显差异。

结 语

随着原子能广泛使用, 核武器研制仍在进行, 环境中氚的污染将继续增加。它给人类带来的影响如何, 仍需要做大量工作。迄今, 人们仍将氚视为一种低毒核素, 最大容许体负荷定为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ 。但从以上资料看, 据不同生物学终点得出的氚的 RBE 值, 绝大多数都大于 1 见表 1。因

表 1 氚水 β 射线的 RBE

Table 1 Relative biological effectiveness for beta-rays of tritiated water

指标 End-points	RBE	对比射线 Reference radiation	作者 Authors
小鼠急性致死 Acute lethality in mice	1.7	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	Furchner (1957)
V ₇₉ B 细胞系致死 Lethality of V ₇₉ B cell strain	1.7~1.9	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	Bedford (1975)
大鼠恶性肿瘤发生率 Incidence of malignant tumour in rast	4.2	γ 射线 ^{137}Cs ^{137}Cs gamma-rays	Ребцна (1984)
大鼠白血病发生率 Incidence of leukemia in rats	2.5	γ 射线 ^{137}Cs ^{137}Cs gamma-rays	Ребцна (1984)
大鼠骨髓细胞减少 Myelocytopenia in rats	1	γ 射线 ^{137}Cs ^{137}Cs gamma-rays	Carsten(1979)
小鼠精原细胞致死 Lethality of spermatogonia in mice	1.6~2.6	X 射线 200 kVp X-rays 200 kVp	Lambert (1969)
小鼠睾丸萎缩 Atrophy of testis in mice	1.43	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	Carr (1979)
小鼠卵细胞致死 Lethality of oocytes in mice	1.6~3	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	Dobson (1976)
中国地鼠细胞 B-14 FAF-28 染色体畸变 Chromosome aberrations in Chinese hamster cell B-14 FAF-28	1.2	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	Dewey (1965)
人淋巴细胞培养, 染色体畸变 Chromosome aberrations in InVitro-cultured human lymphocytes	1.4~3.7	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	张秀珍 Zhang Xiu Zheng (1982)
人淋巴细胞培养, 染色体畸变 Chromosome aberrations in In Vitro-cultured human lymphocytes	1.13	X 射线 250 kVp X-rays 250 kVp	Prosser (1983)
人淋巴细胞培养, 染色体畸变 Chromosome aberrations in In Vitro-cultured human lymphocytes	2.6	X 射线 X-rays	Vulpis (1984)
小鼠显性致死突变 Dominant lethal mutation in mice	2.8	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co gamma-rays	周湘艳 Zhou Xiang Yian (1982)
小鼠 F ₁ 显性骨骼突变 Dominant skeleton mutatin in mice F ₁	4.2	γ 射线 ^{60}Co ^{60}Co Gamma-rays	周湘艳 Zhou Xiang Yian (1986)

此,有关氚的最大容许体负荷似乎是需要重新考虑的问题。

目前,对氚的研究多着重于长期低剂量的生物学效应,这是由于人们希望能了解人类生活环境受氚污染所能造成的影响,从上述的结果表明,骨髓干细胞、显性致死突变(DLM)、人淋巴细胞染色体畸变、姐妹染色体互换数、以及细胞的恶性转化率都是比较敏感的生物终点,似可作为监测污染的生物效应的指标。

此外,文中介绍的资料,绝大部分是动物实验资料,将这些数据外推到人类是否合适,均需要有人类的资料加以证实。要得到人的资料,似乎从两个方面着手。一是进行流行病学调查,对接受不同剂量的人群作详细健康检查;二是用离体的人类细胞进行实验,直接观察到氚水对人类细胞的作用。这些工作均有待进一步完成。

参 考 文 献

- [1] ICRP Publication 2, Pergamon Press, New York 41(1959).
- [2] Furchner, J. E, Radiat. Res., 6,483(1957).
- [3] Seelentag, W. In: Tritium (Moghissi and Carter eds.) Messenger Graphics, Phoenix, 267(1975).
- [4] Burki, H. J. Radiat. Res., 41,409(1970).
- [5] Bedford, J. S. Radiat. Res., 63,531 (1975).
- [6] Budzicka, E. IAEA-SM-237/81, 277 (1979).
- [7] LeMotte, P. K. Radiat. Res., 95,359 (1983).
- [8] Baserga, R. Radiat. Res., 29,583 (1966).
- [9] Johnson, H. A. Radiat. Res., 30,488(1967).
- [10] Cahill, D. F. J. Natl. Cancer Inst., 55,371(1975).
- [11] Стрельцова, В. Н. Мегия Радюол, 1,41 (1981).
- [12] Ребцна, В. С. Радцобцология, 24,697 (1984).
- [13] Yokoro, K. Radiat. Protec. Dosimetry, Vol. 16 № 1-2 165(1986).
- [14] Little, J. B. Radiat. Res., 107, 225(1986).
- [15] 邹淑爱 ICBER 会议汇编材料 (1987).
- [16] Harriss, E. R. Radiology, 23(3),45 (1980).
- [17] Carsten, A. L. IAEA-SM-237/45 269(1979).
- [18] Лузаноб, В. М. Радцобцология, 21,232(1981).
- [19] Lambert, B. E. Health Phys., 17,547 (1969).
- [20] Carr, T. E. Health Phys., 36,135 (1979).
- [21] Bhatia, A. L. Strahlentherapie, 158,752 (1982).
- [22] Hass, R. J. Intl. J. Rad. Biol., 23,603 (1973).
- [23] Dobson, R. L. Radiat. Res., 58,91 (1974).
- [24] Dobson, R. L. In: Proceedings of workshop on tritium radiobiology and health physics Chiba City, Japan 27~28 Oct. (1981).
- [25] Dobson, R. L. In: Proceedings of European on the risks from tritium exposure Mole, Belgium Nov. 22~24 (1982).
- [26] Kapoor, G. J. Radiat. Res., 21,163 (1980).
- [27] Cahill, D. F. Radiat. Res., 44,727 (1970).
- [28] Laskey, J. W. Radiat. Res., 56,171 (1973).
- [29] Török, P. IAEA-SM-237/24, 241 (1979).
- [30] Mewissen, D. J. IAEA-SM-237/67, 215 (1979).
- [31] 周湘艳,中华放射医学与防护杂志, (4),19 (1984).
- [32] Dewey, W. C. Radiat. Res., 24,214 (1965).
- [33] Brooks, A. L. Radiat. Res., 68,480 (1976).
- [34] Hori, T. A. Mutation Res., 50,101 (1978).
- [35] Prosser, J. S. Radiat. Protec. Dosimetry, 42,21 (1983).

- [36] Vulpis, N. *Radiat. Res.*, 97,511(1984).
[37] 张秀珍, 国际“三致”讲习交流会议资料, (1983).
[38] Ikushima, T. *Intl. J. Radiat. Biol.*, 45,251 (1984).
[39] 周湘艳, 辐射防护, 3,170 (1986).

(稿件收到日期: 1986年11月20日)

PROGRESS IN THE STUDY ON BIOLOGICAL EFFECTS OF TRITIUM

Zou Shuai

(*Institute for Radiation Protection M.N.I.*)

ABSTRACT This paper is a recent review on biological effects of tritium on mammals, which covers the lethal effect on organisms and cells, tumour induction and malignant transformation of cells, the mean lifespan, changes in haemopoiesis, damage in germ cells, chromosome aberrations and sister chromatid exchanges.

KEY WORDS Tritium; Tritiated water; Biological effect; Relative biological effect

(上接第11页)

A RESEARCH OF RADIATION EFFECTS ON POLYVINYL FLUORIDE

Wang Zongyang Yu Xingying Liang Yinchun Song Aibao

(*Institute of Applied Technical Physics of Zhejiang Province, HangZhou*)

ABSTRACT A research of radiation effects on polyvinyl fluoride by means of measuring intrinsic viscosity, analysing infrared spectra and determining its loss of weight was described in this paper. A decrease of intrinsic viscosity and molecular weight of polyvinyl fluoride with the increase of irradiation doses was observed.

It was found that there were some new absorption peaks occurring in the IR spectra at 1640 cm^{-1} , 1750 cm^{-1} , 1845 cm^{-1} , and 3440 cm^{-1} when the irradiation doses reached more than $1 \times 10^4\text{ Gy}$, and intensity of the peaks corresponding to 1750 cm^{-1} and 1845 cm^{-1} was decreased by heating treatment and that of the another peak (1640 cm^{-1}) was increased at the same time. The relationship between the intensities of carbonyl and carboxyl peaks and the irradiation doses was determined.

At the beginning the weight of irradiated polyvinyl fluoride increased, then it decreased and at last reached constant level. It was concluded that the loss of weight was related to irradiation doses and temperature.

KEY WORDS Polyvinyl fluoride; Radiation effects; Infrared spectra; Intrinsic viscosity; Loss of weight.