

## 土壤-植物体系放射生态学研究问题\*

高拯民

### 一、土壤-植物体系放射生态学的产生及其科学与实践意义

土壤-植物体系的放射生态学是放射生态学的一个重要组成部分,后者又是放射生物学的一个最年轻的分支<sup>[1]</sup>。放射生态学研究人类在原子能时代所面临的一个新问题,即人和周围环境中放射性物质的一系列复杂关系及作用的内在机制。土壤-植物体系的放射生态学主要可以归纳为下列三方面内容<sup>[37,11-13]</sup>:

(1) 研究土壤-植物体系放射性本底的变化,某些特殊的裂变产物与天然放射性元素的分布、运动、水平消长及其生物学的意义;

(2) 模拟天然条件,引入人工放射性同位素,观察它们在进入土壤-植物体系后的积累、分布、转移及其可能影响人的生命活动的途径和规律;

(3) 根据不同情况(具体时间、地点与条件)拟定放射性物质污染生物链(尤其是食物链)的防治对策。

土壤-植物体系是生物圈的重要组成部分,作为土壤科学和放射生物学的一部分,土壤-植物体系的放射生态学负有解决原子能时代人们所面临的一系列新问题的有关责任;通过对它的研究,可以阐明低剂量放射性对生物系统的生长和发育的影响,有助于了解地球上生命起源及生物进化过程等基本理论问题。同时,它又能服务于放射性安全防护的需要,促进和平利用原子能事业的发展。

### 二、自然本底的研究

自然界原来就存在电离辐射剂量,可以用各种探测仪器加以测量,此称为自然本底。自然本底主要来自高空宇宙线及各种天然放射性同位素:铀、镭、钍、钍及在生物圈广泛分布的 $K^{40}$ 、 $C^{14}$ 等。根据 Spiers 和 Burch 在英国 Leeds 城所作的调查资料(1952),自然本底的剂量率约为 0.11 伦/年<sup>[1]</sup>。

自然本底一般变化很微小,只有在经过一段漫长的地质年代后才能被觉察到。但是在如今原子能时代,自然本底起着迅速的变化,原因有以下几方面:

- (1) 放射性矿藏的大规模开采;
- (2) 原子能反应堆及加速器的普遍建立;
- (3) 人工放射性同位素的大量生产及和平利用;
- (4) 核武器及热核武器的爆炸。

微量与超微量的天然电离辐射对地球上的生物是无害的,甚至有时是有益的,因为在地球上生命出现以前就存在天然放射性本底(当时的放射性水平可能比现在更高)。但是生命的产生与发展,生物种的形成与进化,都没有受到妨碍,相反地,它们已成为生物生存环境中一个不可缺少的物理因素。目前医学上常用含天然放射性物质的泉水作某些特殊疾病的治疗,有时还能获得很好的临床效果;微量的放射性能促进植物生长、加速分生组织的活动,提高植物体内糖、淀粉和抗坏血酸的含量,有时往往还能起到增产的作用<sup>[14-15]</sup>。

自然本底只有增加到一定程度后才能表现出对生物机体的直接损伤作用,这种情况一般几乎是很少见的。但自从人工放射性物质(其中特别是重核裂变产物)大量的释放到生物圈以后,由于生物有机体具有浓集外界环境中的某些放射性物质的特殊能力,有的生物能使自己机体组织内放射性物质的浓度高出周围环境数十倍、数百倍一直到数万倍之多<sup>[16]</sup>,因而生物链(尤其是食物链)遭受放射性污染的问题就显得十分尖锐。

自然本底的研究主要通过通过对生物圈的主要组成部分进行系统的调查与分析,研究的对象最低限度包括:大气沉降物(fall-out)、雨和雪、地面水源、土壤、粮食作物、蔬菜与奶类等。在土壤-植物体系的放射生态学方面,必需系统深入地研究土

\* 本文承曾昭顺、庄宗浩、齐恩山、李竹林、陈銓荣、陈冠雄等同志校阅,并提供宝贵意见,谨志谢意。

壤与植物样本中放射性物质的来龙去脉和自然本底的消长规律等。工作方法主要包括:选点、采样、放射化学分离与分析、放射性同位素的鉴定与物理测量、实验数据的计算与统计处理等。目前世界各地都先后大量建立了自然本底调查站,定期进行采样、分析和观察,从第二次世界大战到现在,已经积累了大量的科学资料<sup>[38-41]</sup>。

### 三、天然放射性的研究

自然界存在铀、钍、镭、镭四个天然放射性系,前三个系中各有一个半衰期很长的母核,即  $U^{238}$ 、 $U^{235}$ 、 $Th^{232}$ , 尽管放射性核素不断连续衰变,但因它们的物理半衰期接近或稍低于地球的绝对年龄( $10 \times 10^{10}$  年),故它们在自然界中至今仍然存在。第四个系中有母核  $Np^{237}$ , 它的物理半衰期相对较短,在地球进化过程中,几乎已经衰变完了,因此现在很难再发现它<sup>[2-4]</sup>。

除上述四个天然放射性系外,自然界还存在单独的放射性核素,随着  $\alpha$ 、 $\beta$  衰变或伴生  $\gamma$  辐射后即生成稳定性同位素,它们当中大部分具有比地球年龄更大的物理半衰期。根据它们在自然界的分布特性和生物学上的意义可以划分为下列三类<sup>[11]</sup>:

1. 分布很广,最能活泼地参与生物小循环的,有  $K^{40}$  及  $Rb^{87}$  等;
2. 分布不广,生物学的意义不够明显的,有  $Ca^{45}$ 、 $Zr^{96}$ 、 $In^{113}$ 、 $In^{115}$ 、 $Sn^{124}$  等;
3. 在宇宙高能粒子轰击下形成的,有  $C^{14}$ 、 $H^3$ 、 $Be^7$ 、 $Be^{10}$  等。

目前对岩石中镭、铀、钍、钾等天然放射性元素的分析已积累了大量资料,发现在酸性岩中它们的含量都高于碱性岩,其中特别是 Th 与 U(Ra) 的地球化学与酸性岩的生成是不可分割的<sup>[3-4]</sup>。土壤中 U、Ra 的平均含量低于岩石和成土母质,这是由于在含有碳酸盐、重碳酸盐和有机质的土壤溶液中,铀可形成活性很大的高价化合物—— $UO_2K_4(CO_3)_3$ , 它很容易从土壤中流失。而 Th 则相反,它能形成难溶的化合物,留在土壤表面,结果造成土壤表层中 Th 的含量一般较下层土壤或成土母质要高。

土壤中 Ra-U 间理论上应存在放射性平衡,并可以根据 Ra 的含量去计算 U ( $U = Ra \times 3 \times 10^{-6}$ ), 但实际工作中直接测得的 U 含量往往低于理论计算值(有时可差一个数量级之多),这也正

是由于铀能形成活泼的高价化合物从土壤中流失,使 Ra-U 间的放射性平衡遭受破坏的结果<sup>[5,17-19]</sup>。

除岩石与土壤外,目前在水源、空气以及动植物机体中天然放射性元素的研究方面也积累了很多资料,但总的看来,在研究方法上目前还存在下列困难和缺点<sup>[19-20,6]</sup>:

- (1) 有机体对天然放射性元素的需要量极为微小,目前使用一般放射性探测仪器很难测定出来,因此往往不能精确地判断土壤及有机体中放射性元素的缺乏程度;
- (2) 人及动物食物中天然放射性元素的临界剂量尚未确定;
- (3) 低剂量放射性对动、植物的剂量阈值未研究清楚;
- (4) 不同土壤中天然放射性元素含量及植物有效态的放射性元素含量的研究目前仍处于空白状态。

世界各国对天然放射性的研究都处于积累资料的阶段。在有关的报告中,都强调了研究天然放射性元素的重要意义,并说明由于天然放射性资料的缺乏,已经严重地阻碍着某些其他有关学科的向前发展。并认为今后应着手编制土壤天然放射性分布图,开展天然放射性与土壤化学、土壤物理化学间相互关系的综合研究。

### 四、重核裂变产物的研究

重核铀<sup>235</sup>及钚<sup>239</sup>的裂变产物包括周期表上元素有  $_{30}Zn^{72}$ - $_{63}Eu^{158}$ , 共达 34 种,而由这些元素衍生的放射性同位素共有 189 种之多。其中三分之二以上有着 < 1 天的物理半衰期,在生物学上意义很小;有 26 种同位素( $I^{131}$  为代表)的物理半衰期为 1—30 天,在核裂变过程的初期对生物肯定有影响,但随着时间的延长,它们的影响也逐渐减弱或消失;有 22 种同位素(以  $Sr^{90}$ 、 $Cs^{137}$  为代表)的物理半衰期为 1 个月至 100 年,它们在生物学上占有特别重要的地位;最后还剩下 10 种同位素,它们虽具有  $> 10^4$  年的物理半衰期,但由于它们的产率很低,故在生物学上也很少被注意<sup>[13,42-43]</sup>。

核裂变过程中,还可能生成象  $Zn^{65}$ 、 $Fe^{59}$ 、 $Si^{31}$ 、 $Al^{28}$ 、 $Na^{21}$ 、 $C^{14}$ 、 $H^3$  等诱发性的同位素(它们不是重核裂变的直接产物),由于它们在核裂变发生后第五天便只剩下最初放射性强度的 1%, 其

生物学的意义目前还不够清楚<sup>[13]</sup>。

核爆炸能形成大量放射性沉降物, 它们的物理形态、粒径大小与化学组成随着爆炸物的吨位级、爆炸的时间、地点与气象条件等不同而有所变化, 因而它们的生物学意义也可能有所不同。根据来源不同, 沉降物又可分为局部沉降、对流层沉降和同温层沉降三种类型, 由于它们沉降过程的规律、沉降物的化学组成及生物有效性都各有差异, 因此在土壤-植物体系的放射生态学研究中也应当分别加以对待。

裂变产物对人的作用有两个方面:

1. 引起外照射的: 有  $Zr^{95}$ - $Nb^{95}$ 、 $Ru^{106}$  等释放  $\gamma$  射线的放射性同位素;

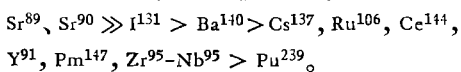
2. 引起内照射的: 有  $I^{131}$ 、 $Sr^{90}$ 、 $Cs^{137}$  等释放  $\beta$  射线或  $\beta$  和  $\gamma$  射线的同位素, 它们主要通过食物链的放射性污染而进入人体。

当具体分析某一种裂变产物的生物学意义时, 还必需同时全面考虑到它们的产率、射线能量、物理半衰期、沉降物的物理形态与化学组成、转入生物圈的可能途径与能力、生物半衰期和有效半衰期\*等因素<sup>[13]</sup>。

食物链的放射性污染取决于内外两方面因素: 内因指裂变元素的物理、化学性质(物理半衰期、溶解度、价键、颗粒大小等); 外因指裂变元素所处的环境因素(气象条件、地表水运动、土壤与生物特性等)。对于沉降物的降落过程, 雨水这一因素起着决定性的影响。

食物链的污染可分为直接污染与间接污染两大途径。前者指裂变产物以沉降物形式直接从大气污染地面植物, 这是一种较短的食物链, 在此过程中, 土壤这个因素起着次要的作用。间接污染是指通过土壤等一系列复杂的环境因素由植物根系的吸收而使食物链受放射性的污染, 在此过程中, 土壤因素起着主导的作用。土壤-植物体系的放射生态学必需全面地研究这两方面的问题, 但确定后者作为自己的中心任务。

在土壤-植物体系的放射生态研究方面, 最早着重于探索裂变产物从土壤进入植物体后分配与积累的基本规律, 并注意研究土壤因素对此过程的影响。Nishita 等(1961)通过大量试验指出裂变产物从土壤进入植物的顺序为<sup>[14]</sup>:



他们又进一步提出不同植物从土壤中吸收裂变元

素的“浓集系数”是:  $Sr^{90}$ : 1.19—23.2;  $Ru^{106}$ : 0.03—0.41;  $Cs^{137}$ : 0.04—0.16。

根据上列资料可以确信,  $Sr^{90}$  在土壤-植物体系的放射生态学研究中有特别重要的位置。

И. В. Гулякин 等通过大量实验证明: 植物地上部分器官积累  $Sr^{90}$  等重要裂变元素的能力按照叶 > 茎 > 种壳 > 籽实的顺序递减, 并指出影响植物吸收裂变元素的主要土壤因素有: 机械组成、腐植质含量、盐基饱和度与交换性阳离子组成以及 pH 值等<sup>[22, 45]</sup>。

最近几年来, 土壤-植物体系的放射生态学特别着重于裂变元素不同污染途径的防治对策研究<sup>[12, 13, 23, 37, 46]</sup>。这方面可以归纳为三大类型的措施: 第一类是土壤措施, 包括施加化学药品, 进行同位素稀释或化学固定, 以及采用耕作或灌溉冲洗等手段; 第二类是根外措施, 主要是掌握植物发育阶段的适当“临界期”喷施某些特定的刺激素和相应的稳定性同位素的溶液, 其关键是克服某些裂变元素在植物体内代谢过程的单向性, 这种措施对减少  $Sr^{90}$  等裂变元素在禾谷类作物籽实中的积累量提供了新的可能性; 第三类是生物学措施, 包括土壤生物净化以及用育种方法创造出某些吸收裂变元素能力特别低或特别高的品种等。以上这三类措施到目前为止还大都停留在实验室研究或田间小规模试验阶段, 无论那一方面, 都不能作出肯定性的结论。从这几年来各国的实践经验得到证明, 由于自然条件的复杂多样, 看来, 不可能有一种万能的措施。应该根据不同对象和条件, 因地制宜地来拟定综合性的防治措施。

## 五、土壤-植物体系的放射生态学 与生物地球化学研究

生物圈中化学元素的移动、扩散与浓集作用取决于下列二个相反而又统一的过程:

(1) 有机体吸收水、空气、岩石与土壤中不断释放出来的元素, 构成自己机体的一部分;

(2) 有机体死亡后的矿化作用, 又析出无机元素归还给周围环境中。

以上二个过程的矛盾与统一被 В. Р. Вильямс 称为“生物小循环”。

\* 放射性同位素的物理半衰期 ( $T_{ph}$ )、生物半衰期 ( $T_b$ ) 和有效半衰期 ( $T_{eff}$ ) 三者数学关系为:

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{ph}} + \frac{1}{T_b}.$$

植物灰分中矿质元素的组成与生物的系统发育密切相关,从古代到今天,植物灰分含量逐渐有所增加;禾本科植物、木贼以及某些地衣和苔藓灰分中出现了大量的硅。Ю. А. Поляков 根据野外调查资料发现苏联中纬度地带的地衣和苔藓吸收  $\text{Sr}^{90}$  的能力比普通其他植物要高出 7—9 倍,作者认为它们可被利用作为  $\text{Sr}^{90}$  水平的指示植物<sup>[24]</sup>。

Bowen 和 Dymond 等 (1955) 发现:在自然界存在某些吸收  $\text{Sr}^{90}$  能力特别高的植物——*Carex humilis*, *Arabis stricta*, *Cirsium arvense* (它们的  $\text{Sr}^{90}/\text{Ca}$  比率也相应很高);此外还发现 *Euphorbia helioscopia* 的种子能大量浓集  $\text{Sr}^{90}$  (这和一般规律完全相反)<sup>[37]</sup>。

在南瑞士,发现大多数植物所含  $\beta$  放射性要比它们所在的土壤高出 2—6 倍,最高达 16 倍。并且又发现高山植物对低空云雾中的放射性物质具有某种特殊的过滤作用。进一步根据  $\gamma$  能谱分析结果,还发现植物试样中普遍含有  $\text{Zr}^{95} + \text{Nb}^{95}$ 、 $\text{Ce}^{141}$  和  $\text{Ru}^{103}$  等放射性同位素,由于这些裂变元素的存在,在很大程度上干扰了放射性探矿工作的正常进行<sup>[47]</sup>。

在采用生物地球化学观点研究土壤-植物体系的放射生态学问题时,最重要的是必需正确又熟练地掌握整套的土壤与植物样本的放射化学分析方法。

土壤和植物样本中通常都含有 Ca、Mg、K、Fe、Al、P 等大量元素,但所含的放射性元素却都属于微量及超微量级,其绝对含量一般  $< 10^{-12}$  克,在此情况下不能采用普通化学中沉淀法进行定量分离,因为首先达不到溶度积。目前土壤和植物样本的放射化学分析流程主要包括下列环节:样本的分解与浸提  $\rightarrow$  放射性元素的分离  $\rightarrow$  被测放射性元素的放射性纯化  $\rightarrow$  被测放射性元素的物理学鉴定  $\rightarrow$  放射性强度的测量。在所有土壤与植物样本的放射化学分析流程中,都必需加入毫克量级的同位素载体作为不可缺少的条件<sup>[11,25]</sup>。目前在文献中已出现有比较成熟的测定土壤或植物样品中个别裂变元素的放射化学分析流程<sup>[11,25-26,48-50]</sup>,也有采用一个试样系统分析多种裂变元素的流程<sup>[27]</sup>,由于所有这些方法都花费较长的时间,操作手续也比较繁复,故有时为了迅速取得结果,还可以根据需要与可能,采用较简捷的速测方法<sup>[28,51-52]</sup>。

值得注意的是在放射化学分析方面,目前已

经开始采用近代物理化学方法:层析法、萃取法与各种电化学方法等<sup>[11,15]</sup>,这些方法最大的优点是具有较高的专一性,并且在分析流程中,一般可不用加入载体,分析速度也较常规方法快得多。但是,也必需注意到它们终究不是万能的,对于研究土壤-植物体系的放射生态学,比较合理的是根据具体情况,采用各种方法相互配合。

## 六、土壤-植物体系的 $\text{Sr}^{90}$ -Ca 离子交换反应的热力学特性以及有关“甄别系数”意义的探讨

裂变元素中  $\text{Sr}^{90}$ 、 $\text{Cs}^{137}$  的化学性质与 Ca、K 相似,在土壤-植物体系的放射生态研究中,通常采用铯单位 (简称 S. U) 与铷单位 (简称 C. U) 这二个名词来分别表达它们之间的密切关系<sup>[53-55, 29-31]</sup>。但另一方面,生物学家在研究  $\text{Sr}^{90}$ -Ca 和  $\text{Cs}^{137}$ -K 参与代谢过程的实质时,发现它们之间仍然存在差别,于是便提出了“甄别系数” (Discrimination factor, 简称 Df) 以及“观察值” (Observed ratio, 简称 OR 值) 等名词来说明这些概念<sup>[55-56]</sup>。

近年来,土壤学家对于裂变元素在土壤中的吸附及其动态规律进行了大量研究,明确了  $\text{Sr}^{90}$  与  $\text{Cs}^{137}$  在土壤中处于两种完全不同的形态: $\text{Sr}^{90}$  主要以离子交换形态存在于土壤中,而  $\text{Cs}^{137}$  主要以某种特殊的结合方式存在于土壤粘粒矿物表面和它们的晶格中,由于结合形式与能量截然不同,它们在土壤中对植物的有效性也就相差悬殊<sup>[13]</sup>。

Ю. А. Поляков 对土壤中  $\text{Sr}^{90}$ -Ca 的离子交换反应的热力学特性进行了研究。他通过实验,间接地推算出土壤中  $\text{Sr}^{90}$  与 Ca 的交换反应的平衡常数  $K$  值等于 1.2;根据  $K$  值解 Van't-Hoff 方程  $\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$  而计算出  $\Delta H_{298} \cong 0$ , 证明土壤中  $\text{Sr}^{90}$ -Ca 的交换过程为等热反应;他进一步根据公式  $\Delta F_{298} = -RT \ln K$  而求得  $\Delta F_{298} = -67.2$  卡;最后又从热力学第二定律  $\Delta F = \Delta H - T \Delta S$  求得  $\Delta S_{298} = +0.2$  卡/度。根据以上三个热力学函数的计算说明:土壤- $\text{Sr}^{90}$  的体系较之于土壤-Ca 的体系在热力学上更加稳定,换句话说,在自然界土壤与  $\text{Sr}^{90}$  的结合的可能性要比土壤与 Ca 的结合可能性大一些<sup>[32-35]</sup>。

必须注意到,植物吸收土壤中裂变元素实际上是植物根胶体系与土壤复合体对裂变元素的相

互争夺过程,如果把植物根胶体体系看作是一个小小的 Donnan 平衡体系,根据原子价法则,植物根胶阳离子的交换量与植物吸收土壤中多价的裂变元素(例如  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{Y}^{90}$ )之间,应当存在一定的正相关性:即在根胶阳离子交换量较高的双子叶植物中有可能找出一些吸收土壤中  $\text{Sr}^{90}$  能力较强的植物<sup>[57]</sup>。但是不能忘记:植物吸收土壤中裂变元素的过程毕竟不是简单的物理化学过程,而是复杂的生物学过程;在这里,必需深入研究植物作为一个开放系统的不可逆热力学过程及特殊的生物物理化学动力学的规律。因而,我们应当辩证地理解前后两者之间的关系:土壤根胶附近的物理化学过程为植物吸收土壤中裂变元素创造了条件,但起着决定性的还是植物体内的生理代谢的能力,后者反过来在一定条件下起着促进或抑制前一过程的作用。只有全面地理解这两方面辩证的关系,才能真正掌握植物从土壤中吸收裂变元素的过程实质,也才有可能为了定向地控制和改变这些过程的方向与速度而提出切实有效的措施。

在土壤-植物体系的  $\text{Sr}^{90}$ —Ca 和  $\text{Cs}^{137}$ —K 的“甄别系数”问题研究方面,目前已积累了相当数量的资料。尤其以 Langham (1961) 的研究工作较为典型<sup>[58]</sup>,根据他的计算,土壤-植物体系的  $Df$  ( $\text{Sr}^{90}$ —Ca) 值  $\cong 1.0$ , 而  $Df$  ( $\text{Cs}^{137}$ —K) 值  $\cong 0.01$ , 两者相差将近 100 倍,由此可见,土壤因素对不同裂变元素有着多么不同的意义。

应当强调,求  $Df$  值必需首先满足下列四个条件<sup>[59]</sup>:

- (1) 放射性污染的途径只能来自一个方面;
- (2) 放射性同位素与相应的非同位素载体(例如  $\text{Sr}^{90}$  与 Ca)间应在土壤中绝对混匀,并且与相同的阴离子结合;
- (3) 不因植物与土壤的环境条件变化而有所影响;
- (4) 不因时间变化而有所影响。

实际上,由于生物与土壤-气候带的复杂多样,土壤中化学元素与裂变元素的存在形态往往随时间而有所变化,加上试验者可能采用不同的工作方法,因此,很难满足这些要求。目前在文献中常能发现各国学者所发表的“甄别系数”有着较大的变幅范围,就是以上原因所造成的。我们认为“甄别系数”值的资料可以作为研究问题的参考,但是不能就某些数字本身过分地夸大它们的

生物学意义。

## 七、土壤-植物体系放射生态学研究 中几种较特殊的放射性探测技术

在进行自然本底调查时,为了保持一定的测定精确度,一个样本往往需要连续测量数小时以上,这对研究工作当然很不方便。根据统计学的分析,在保证一定的测定精确度下,为了要缩短放射性测量的时间,应当从降低测定装置的本底与提高计数效率两方面努力<sup>[60-61]</sup>,而其中关键是必需采用低水平探测技术<sup>[7]</sup>。

在低水平探测技术发展的初期,只是采用物质屏蔽来消除宇宙射线中软成分以及周围环境中  $\gamma$  放射性对本底的贡献;后来便进一步采用电子学屏蔽法消除宇宙射线中硬成分对本底的贡献,如此计数装置的本底可降至 2—0.9 脉冲/分<sup>[62-63]</sup>。所谓电子学屏蔽主要指采用的反符合方法,它的原理是在中心计数管的周围安装另一套计数系统,即反符合环。目前各国都先后设计了各种特殊形式的 G—M 反符合计数管<sup>[64-66,8-9]</sup>及闪烁塑料,闪烁液体的反符合环<sup>[10,67-68]</sup>。当宇宙射线中的高能介子射入中心计数管引起本底脉冲时,同时也穿过反符合环而在其中引起脉冲,这二个计数系统发出“同时间”的信号,经过反符合电路而相互抵消,因而最终起着降低本底的作用。

在上述基础上为了进一步降低本底,就必需对计数管本身结构材料中所含的  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  放射性进行处理或选择,这样才能使本底降到 0.61—0.5 脉冲/分;如果用  $\beta$  射线闪烁谱仪代替普通云母底窗计数管,则对于测定能量为 0.5—0.25 百万电子伏粒子的计数装置能最后使本底降至 0.15 脉冲/分<sup>[69]</sup>,采用  $2\pi$  或  $4\pi$  气流式中心计数管也同样能获得良好效果<sup>[70,36]</sup>。

提高装置的计数效率主要途径有:对测量样品进行适当处理,增加几何效率,减少自吸收(对软  $\beta$  源尤其重要),提高对射入射线的计数效率等,以上这些工作近年来都取得了较大的进展。

目前世界各国都已开始应用  $\gamma$  能谱仪测量放射性混合物的同位素组成<sup>[11,25]</sup>,为了提高仪器的计数效率,使能测量较弱的放射性,现在都采用 NaI(Tl) 及 CsI(Tl) 大晶体(直径与高度 40—80 毫米);但另一方面晶体增大后却又减弱了它本身的分辨本领,特别当  $\gamma$  量子能量低时更显得严重,因此,在实践中进一步提高仪器工作效率的方法

应当从改进放射源的装置着手,必要时还应采用低水平探测装置。

应用  $\gamma$  能谱仪可以得到同位素混合物一系列的谱线,通过对谱线逐步分析的方法,还能对某一种放射性同位素进行定量,用这种办法能测量有显著  $\gamma$  射线和产率较高的裂变元素,其测定精确度大约可达 10%,普通放射化学分析也大致接近于这样的精确度。 $\gamma$  能谱仪可分为单道与多道两大类型(例如苏联最近生产的《Диафрагма》型号  $\gamma$  能谱仪是 256 道)。单道  $\gamma$  能谱仪测量放射性的下限为  $10^{-10}$  居里。多道  $\gamma$  能谱仪能提高测量精密程度,例如测量  $Cs^{137}$  的下限为  $1.5 \times 10^{-11}$  居里。此外,多道  $\gamma$  能谱仪还具有下列优点:分析同位素混合物组成时速度较快,特别适用于分析物理半衰期很短的同位素混合物组成。但是多道  $\gamma$  能谱仪在实际操作过程中性能可能不够稳定,掌握技术也较复杂,而单道  $\gamma$  能谱仪却恰能避免这些缺点,故在土壤-植物体系的放射生态研究中,一般可以考虑采用单道  $\gamma$  能谱仪,基本上已满足要求。除上面提到的两种较特殊的探测技术以外,目前各国都已广泛采用厚层核乳胶的方法来研究  $\alpha$  放射性,此方法灵敏度很高,不需要复杂的操作技术,可以在较长时间内曝射,用它能进行  $\alpha$  射线强度的定量<sup>[11]</sup>。

\* \* \*

一个科学新分支的产生与发展是和社会生产实践的需要分不开的。土壤-植物体系的放射生态学研究带有较高的综合性,它不仅需要较广泛的生物学与地学方面的知识作为基础,而且必需用近代物理化学和技术科学的成就武装起来。目前,这个领域还处于萌芽状态,主要还集中力量于探索研究方法和积累实验资料阶段,它还没有形成一个独立的科学分支,也还没有广泛地为人们所了解。但在二十世纪原子能科学飞速发展的时代,特别在我们这样一个幅员辽阔,生物与土壤-气候带极其错综复杂的伟大的社会主义国家,可以肯定地说,这门学科的发展前途是十分宽广的。

限于知识及工作经验水平,本文只对土壤-植物体系的放射生态学问题作了初步的分析、归纳和介绍,其中有一些是作者自己的粗浅体会或看法,可能有错误或不当,衷心地希望读者多加批评与指导。

## 参 考 文 献

- [1] 宁复京:放射生态学。放射生物学,366—388页,人民教育出版社,1961。
- [2] 南京大学地质系编:地球化学。科学出版社,1961。
- [3] K. 兰卡瑞著(朱锡涛译):同位素地质学(第一部分)。地质出版社,1960。
- [4] 郭承基著:放射性元素矿物化学。科学出版社,1959。
- [5] Баранов, В. И. (于铭强译):放射性测量参考手册。地质出版社,1959。
- [6] Властук, П. А. (李功藩等译):植物营养中的微量元素及放射性同位素。科学出版社,1958。
- [7] 范广厦等:低水平 $\beta$ 放射性测量装置。原子能,8期,723—730页,1964。
- [8] Grumitt, W. E. et al.: 低本底盖革-弥勒计数管的新发展。原子能译丛,第4期,310—315页,1962。
- [9] Lal, D. et al.: 测量固体的 $\beta$ 放射性用的低水平薄壁流通计数管。原子能快报,21,9,1960。
- [10] Alberigi—Quarenta, A. et al.: 低水平计数的 $2\pi$ 气流计数器。原子能译丛,第4期,314—320页,1963。
- [11] Шведов, В. П. и Др.: Радиоактивные загрязнения внешней среды. 132—138, 28—69, 75—79, 80—86, М., 1962。
- [12] Гулякин, И. В., Юдинцева, Е. В.: Радиоактивные продукты деления в почве и растениях. 168—208, Госатомиздат, 1962。
- [13] Алексахин, Р. М.: Радиоактивное загрязнение почвы и растений. 5—25, 88—110, 68—87, М. Изд-ов АН СССР, 1963。
- [14] Белоусова, И. М. и Др.: Естественная радиоактивность. М., Медгиз, 1961。
- [15] Дробков, А. А.: Микроэлементы и естественные радиоактивные элементы в жизни растений и животных. М. Изд. АН СССР, 1958。
- [16] Агре, А. Л.: Некоторые данные по миграции радиоцезия и радиостронция из слабопроточных водоемов. Бюллетень Московского общества испытателей природы. новая серия, отдел биологический. вып. 2: 45—52, том LXVII, 1962。
- [17] Баранов, В. И., Цейтлин С. Г.: Содержание радиоактивных элементов в некоторых почвах союза ССР. ДАН СССР, т. 30, № 4, 328—331, 1941。
- [18] Тродзинский, Д. М.: Естественная радиоактивность почв как фактор внешнего облучения растений. Применение микроэлементов, полимеров и радиоактивных изотопов в с/х, Изд. УАСХН, 1962。
- [19] Виноградов, А. П.: Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. I, 1950, Изд. II, 1957。

- [20] Власюк, П. А.: Естественная радиоактивность растения и калийные удобрения. Доклады ВАСХНИЛ. № 2, 1959.
- [21] Авдонин, Н. С. и Др.: Труды 2-го международного совещания по микроэлементам. Изд. МГУ, 1961.
- [22] Гулякин, И. В., Юдинцева Е. В.: Агрохимия осколочных элементов. Докл. советских почвоведов к VII международному конгрессу в США. Изд. АН СССР, 1960.
- [23] Мельникова, М. К. и Др.: Возможность уменьшения поглощения растениями радиоактивного стронция из почв. Докл. советских почвоведов к VII международному конгрессу в США. Изд. АН СССР, 106—108, 1960.
- [24] Поляков, Ю. А. и Др.: К вопросу о выпадении  $Sr^{90}$  в средних широтах СССР. Почвоведение, № 11 45—56, 1962.
- [25] Лаврухина, А. К. и Др.: Радиохимический анализ. Изд. АН СССР, М. 144—148, 1963.
- [26] Шведов, В. П. и Другие: Новый метод количественного выделения сурьмы. «Радиохимия», № 1, 109—111, 1959.
- [27] Шведов, В. П. и Др.: О радиохимическом определении  $Cs^{137}$  в малоактивных пробах. Радиохимия, № 6: 732—736, 1961.
- [28] Павлошкая, Ф. И. и Др.: К вопросу о методике определения стронция-90, стабильного стронция и кальция в почвах и растительных остатках. Почвоведение, № 2, 105—112, 1964.
- [29] Балубуха, В. С., Фрадкин Г. Е.: Накопление радиоактивных элементов в организме и их выведение. Медгиз. М., 1958.
- [30] Мельникова, М. К. и Др.: Радиостронций и возможности уменьшения поглощения его растениями из почвы. Сборник трудов по агрофизической физике. вып. 8, М., 1960.
- [31] Гулякин, И. В. и Др.: Отношение радиостронция к кальцию, радиоцезия к калию в почве и в растениях. «Известия ТСХА», вып. 5, 1958.
- [32] Поляков, Ю. А.: Примененные радиоизотопной методики для изучения обменной адсорбции ионов  $Ca^{++}$  и  $NH_4^+$  на почвах. Почвоведение, № 7, 59—66, 1955.
- [33] Поляков, Ю. А.: Поглощение почвами и растениями стронция. Вопрос физикохимии почв и методы исследования, АН СССР, 1959.
- [34] Поляков, Ю. А.: Температурные и энергетические характеристики ионообменных реакций в почвах. Докл. VI международного конгр. Почвоведов, 1956.
- [35] Поляков, Ю. А.: Определение термодинамических характеристик обменной адсорбции ионов кальция и стронция в почвах. Докл. советских почвоведов к VII международному конгрессу в США, Изд. АН СССР, 100—104, 1960.
- [36] Петражж, К. А. и Др.: Счетчики для измерения слабых активностей. Приборы и техника эксперимента. № 2, 34—37, 1960.
- [37] Richards et al.: A Symposium on Radioisotopes in the Biosphere. 79—96, 201—226, 1960.
- [38] Lowder, M. W. and Solon, L. R.: Background radiation: a literature search. Health and Safety Laboratory, U. S. Atomic Energy Com., NYO—4712.
- [39] Merrill Eisenbud: Environmental Radioactivity. pp. 1—402, McGraw-Hill Book Comp., INC., New York—London.
- [40] Lyle, T. Alexander et al.: Radioisotopes in soils: particularly with reference to Strontium. A symposium on radioisotopes in the Biosphere, 1—22, 1960.
- [41] Hansen, R. O. et al.: Radioisotopes in soils: physical-chemical composition. A Sym. on Radioisotopes in the Biosphere, 23—36, 1960.
- [42] Kulp, J. L. et al.: Strontium-90 in food. *J. Agric. and Food Chem.*, 7: 7, 466—469.
- [43] J. P. G. M. Smeets: Radioactive contamination in the food chain. *Euratom*, N. 9, 10—15, 1963.
- [44] Nishita, H. et al.: Uptake of radioactive fission products by crop plants. *J. Agric. and Food Chemistry*, 9: 2, 101—105.
- [45] Klechkovsky, V. M. et al.: Behaviour of tracer amount of Sr, Cs, Ru, Zr in soils and plants, according to the data of investigations with radioactive isotopes of these elements. *Radioisotopes in Scientific Research*. v. IV, 150—172, Pergamon Press, London—New York—Paris—Los Angeles. 1958.
- [46] Essigton, E. et al.: Influence of cheletes on availability of fission products to plants grown in a contaminated soils. *Soil Sci.*, 94: 2, 96—105, 1962.
- [47] Poutus Ljunggrus Lund: Biogeochemical enrichment of fission products. *Nature*, Sept. 19, Vol. 184, 1959.
- [48] Kahn, B.: Leaching of some fission Products from Soil. *Analyt. Chem.*, Vol. 28, 216. 1956.
- [49] Graham, E. R.: Determining  $Sr^{90}$  in soil by electro dialysis and ion exchange method. *Soil Sci.*, v. 88: 11—15, 1959.
- [50] Bryant, F. J. et al.: Radiostrontium in soil. milk and bone in U. K. 1956. *J. Nucl. Energy*, 6: 1—2, 1957.
- [51] Hiroyuki Tsubota and Yasushi Kitano: A rapid method for determining alkali and alkaline earth elements using ion exchanger.

- Bulletin of the Chemical Society of Japan, 33: 6, 770—773, 1960.
- [52] Noboru Yamagata and Toshiko Yamagata: The rapid radiochemical determination of  $Cs^{137}$ . *The Analyst*, 85: 1009, 282—285, 1960.
- [53] Loutit, J. F.: Radioactive fission products in the human food chem. *Radiation Biology*, Editor J. H. Martin, London, 1959.
- [54] Ellis, F. B. et al.: The deposition of  $Sr^{89}$  and  $Sr^{90}$  on agriculture land and their entry into milk after the reactor accident at Windscale in October 1957. AHSB (RP) R. 2, (UKAEA) 1960.
- [55] Martin, R. P. et al.: Discrimination between strontium and calcium in plants and soils, Radioisotopes in Scientific Research, vol. IV, 173—190, 1958.
- [56] Comar, C. L. et al.: Strontium-calcium movement from soil to man. *Science*, Vol. 1, 126, No. 3272, 485—492, 1957.
- [57] Mouat, M. C. H.: Interspecific differences in strontium uptake by pasture plants as a function of root cation-exchange capacity. *Nature*, 188: 4749, 513—514, 1960.
- [58] Langham, W. H.: Some considerations of Present biospheric Contamination by radioactive fall out. *J. Agric. and food chem.*, 9: 2, 91—95.
- [59] Kornberg, H. A.: The use of element-pairs in radiations hazard assessment. *Health physics*, 6: 1/2.
- [60] Ernest C., Anderson et al.: Recent advances in Low Level counting techniques. *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 6. 303—316, 1956.
- [61] Arthur, J. Freedman et al.: Low-Level counting techniques. *Nucleonics*, Vol. 10, No. 8, 57—59, 1952.
- [62] Johnston, W. H.: Low-level counting Methods for Isotopic Tracers. *Science*, 124: 801—807, 1956.
- [63] Grummitt, W. E. et al.: Recent developments in low background Geiger-Müller Counters. *Can. J. Chem.*, 34: 206—213, 1956.
- [64] Barendsen, C. W.: Low-level counting of beta Emitters, Peaceful Uses of Atomic Energy. 21: 150—153, 1958.
- [65] Geiss, T. et al.: Special Low-level counters. Peaceful Uses of Atomic Energy, 21: 147—149, 1958.
- [66] K. Van. Duuren et al.: Compact low-level counting arrangement. Proc. 2-nd Intern. Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, v. 14: 339, 1958.
- [67] Gat, J. R. et al.: *Nucl. Instru. and Methods*, 8: 232, 1960.
- [68] Parker, R. B.: *Nucl. instru. and Meth.*, 8, 339, 1960.
- [69] Eiichi Tanaka: A low background beta-ray scintillation spectrometer using a coincidence method with a geiger Counter. *Nucl. Instru. and Meth.*, 13: 1, 43—49, 1961.
- [70] Manor, G. G.: Low-level  $\beta$  and  $\gamma$  counting in the region 0-10 disintegrations per minute. Metrology of radionucleides. 253—268, IAEA, Vienna, 1959.