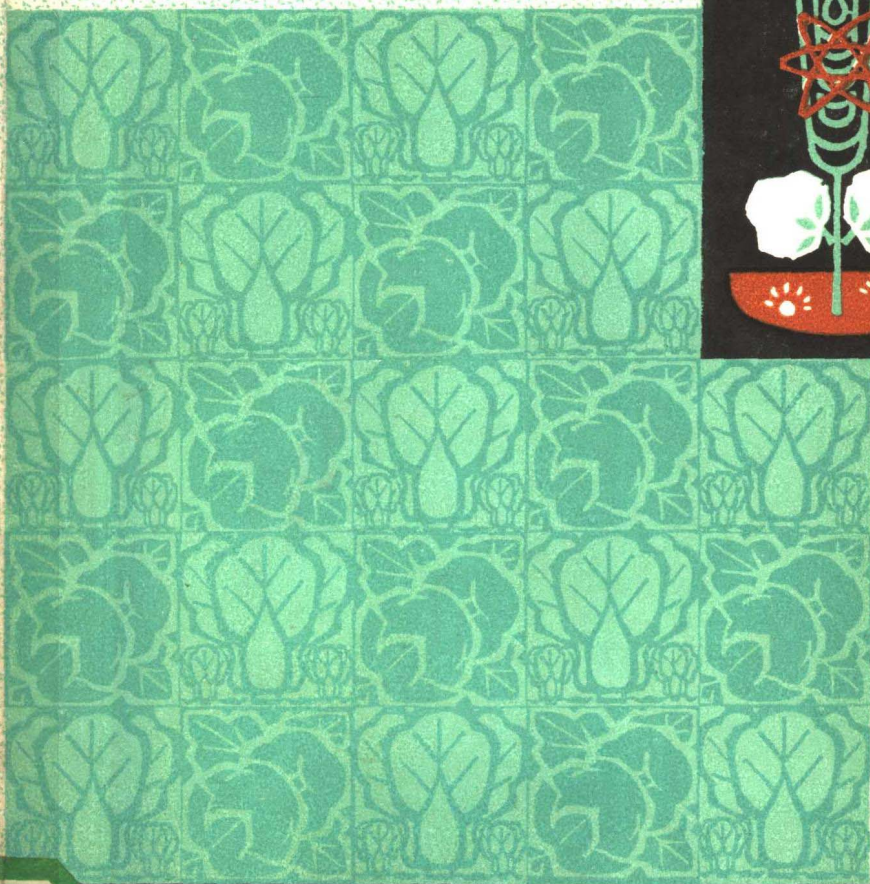


43 作物和土壤示踪教程

ZUO WU HE TU RANG SHI
ZONG JIAO CHENG



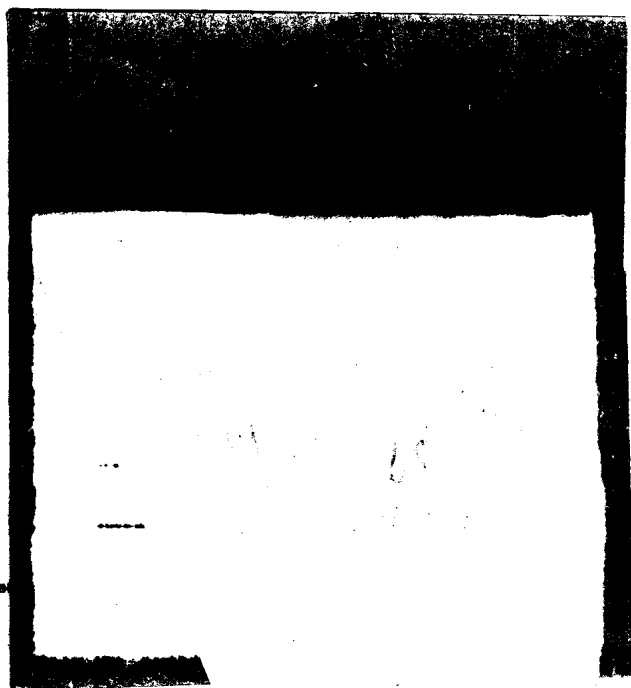
原子能出版社

国际原子能机构技术

报告丛书第171号

作物和土壤示踪教程

中国农业科学院原子能利用研究所三室
北京农业大学农业物理及农业气象系同位素教研室 译



内 容 简 介

本书为国际原子能机构和联合国粮农组织联合粮农处为同位素应用技术训练班编写的教材。书中较全面地介绍了在作物及土壤研究中如何应用示踪同位素。全书共分五部分：基础知识、肥料和土壤营养评价、土壤和水分管理、土壤有机质的研究及基本术语和概念汇编，具体介绍了35个实验的材料、设备及实验技术。可供从事农业同位素应用的科技人员参考，也可作为农业院校有关专业实验课的参考书。

Tracer Manual on Crops and Soils. Technical
Reports Series No. 171 IAEA/FAO 1976

作物和土壤示踪教程

中国农业科学院原子能利用研究所三室
北京农业大学农业物理及农业气象系同位素教研室 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售



开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $10 \frac{1}{2}$ ·字数278千字

1980年9月北京第一版·1980年9月北京第一次印刷

印数001—2350·统一书号：15175·198

定价：1.60元

原 书 前 言

同位素和辐射已被证明是农业科学研究的有力工具。它不断地需要有更可靠的、更精确的和数量更多的资料，并且随着仪器和方法的改进，这个工具的重要性正在增长。

许多发展中国家试图利用核技术帮助进行农业科学研究时，所面临的主要困难是缺乏熟练的工作人员。FAO/IAEA 联合粮农处每年组织若干次国际的和区域的训练班以帮助成员国克服这个困难。自1964年10月创办以来，联合粮农处 举行了多次训练班，其中有11次是应用同位素和辐射研究土壤、水及植物之间关系的训练班，来自发展中国家的200多名科学工作者从这些专门化的训练班中得到了益处。

训练班是在不同的地区组织的，由不同的人员讲课和带做实验，因而能用于计划和详细准备实验的时间常常是有限的，所以如有现成的训练班实验手册，则对训练班的组织者、邀请讲课的人员、带做实验的人员以及参加者等所有的人员都有很大的帮助。

训练班计划向土壤科学工作者介绍有关了解电离辐射、它的探测和测量及安全防护需要的基本概念和原理，并介绍若干一般的应用。也适当考虑介绍稳定同位素的探测和在作物与土壤中应用稳定性同位素的可能性。为了从同位素的应用中获得最多的资料和设计最有效的试验，这些知识是很重要的。

国际原子能机构于1964年出版了技术报告丛书第29号，即《应用同位素和辐射研究土壤与植物的关系》，FAO/IAEA 联合粮农处发现该书对世界各地的土壤科学工作者是有帮助的。后来觉得有必要修订和再版，尤其是注意到了原书的明显缺点，例如土壤物理部分的篇幅较少，未采用半导体仪器及忽视了 ^{15}N 的探测和应用等。

在修订中增加了若干讲课内容和实验，修订过的书中所包括的每个实验均在训练班做过，并检验过是否合适。为了减轻组织

者准备和安排训练班教学大纲的负担，书中提供了每个实验的详细资料，指出了完成实验所需要的时间、必要的设备、玻璃器皿、同位素和化学试剂等。书中包括了内容丰富的词汇表，目的是使科学工作者容易了解本书中常用的术语、单位和符号。

本书主要是为参加应用同位素和辐射研究土壤、水及植物之间关系训练班的发展中国家的土壤科学工作者而编写的，通常这些科学工作者缺乏应用核技术的经验，物理和数学基础知识也往往不够。组织这类训练班的科学研究单位和参加讲课的人员在安排训练班计划及准备他们的讲稿和实验时，查阅本书也是有帮助的。此外本书也可作为世界各地计划应用核技术以解决具体问题的农业科学工作的参考书。

本书由下列人员编写：

V. 米德尔伯 (Middleboe)，罗亚尔农业和兽医大学 (丹麦哥本哈根)

D.R. 尼尔森 (Nielsen)，加利福尼亚大学 (美国加利福尼亚州戴维斯)

D.A. 伦尼 (Rennie)，萨斯喀彻温大学 (加拿大萨斯卡通)

此外联合粮农处 Y. 巴勒达 (Barrada) 在本书编写的各个阶段做了协调工作，对本书有一些特殊贡献。

对本书提供各种补充意见的还有：

J.H. 法利 (Farley)，帝国埃索公司 (加拿大卡尔加里)

L.E. 约翰斯 (Johns)，萨斯喀彻温大学 (加拿大萨斯卡通)

J.E. 约翰逊 (Johnson)，科罗拉多国立大学 (美国科罗拉多州柯林斯堡)

C. 柯达 (Kirda)，加利福尼亚大学 (美国加利福尼亚州戴维斯)

J.L. 麦金太尔 (MacIntyre)，加利福尼亚大学 (美国加利福尼亚州戴维斯)

W.B. 麦吉尔 (McGill)，艾伯塔大学 (加拿大埃德蒙顿)

E.A. 保罗 (Paul)，萨斯喀彻温大学 (加拿大萨斯卡通)

D. E. 罗尔斯顿 (Rolston), 加利福尼亚大学 (美国加利福尼亚州戴维斯)

M. J. 罗厄尔 (Rowell), 艾伯塔大学 (加拿大埃德蒙顿)

J. A. 希尔兹 (Shields), 土壤研究所 (加拿大渥太华)

A. 华莱士 (Wallace), 加利福尼亚大学 (美国加利福尼亚州洛杉矶)

FAO 和 IAEA 深切感谢参加本书编写工作的所有人员, 并衷心希望本书对世界各地农业科学工作者有较大的帮助。

译者序

本书系根据国际原子能机构(IAEA)1976年出版的《Tracer Manual on Crops and Soils》一书译出。该书是联合国粮农组织及国际原子能机构为来自发展中国家的土壤科学工作者举办的同位素应用技术训练班而编写的教材。全书共分五个部分：基础知识、肥料和土壤营养评价、土壤和水管理、土壤有机质的研究、基本术语和概念汇编。扼要地介绍了农学及生物学领域中应用同位素示踪技术的有关基础知识及基本实验技术。在应用方面着重介绍了应用放射性同位素及稳定性同位素研究土壤、水分及植物之间关系的实验技术，提供了每个实验的详细方法、材料和必需的仪器设备情况，并讨论了如何理解和处理每个同位素示踪实验的结果。书中还包括了广泛的有关同位素及射线的基础词汇及概念。这些对初学者或准备在自己研究领域中的应用同位素示踪技术的科学工作者都可作为入门的基础读物，也可作为高等农业院校的教学参考书。书中每章都附有主要参考文献及可供读者进一步查阅的有关资料。

参加本书翻译工作的有马昌焯、周永津、王福钧、杨长生等同志。在本书翻译过程中徐冠仁、叶和才、夏荣基和温贤芳同志曾审阅部分章节，陈子元、陈传群同志对本书提出许多宝贵意见，在此一并致谢。

由于译者水平有限，难免有错误之处，希读者批评指正。

译者

1979

常用的基本符号和单位

原子质量单位	amu
时间 (一般表示)	t
放射性原子数	N
放射性衰变常数	λ
放射性半衰期	$T_{1/2}$
放射性强度或活性	A^*
稳定同位素的丰度	A (原子%)
放射性强度单位 [†]	dps (衰变数/秒)
放射性强度单位	Ci (居里) $= 37 \times 10^9 \text{ dps}$
累计计数	C
计数期间 (计数时间)	T
计数率 (C / T)	r
计数率单位	cps (计数/秒)
计数效率	ϵ
示踪物放射性的量度 (例如经校正的计数率) R	
被示踪物数量	S
放射性同位素的比放射性强度 (R / S)	
或稳定性同位素的原子百分超	a
比放射性强度单位	$\mu\text{Ci} \cdot \text{g}^{-1}, \text{cps} \cdot \text{mg}^{-1},$ $\text{cps} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 等等
生物半减期	$(T_{1/2})_t$
衰变率常数	k
厚度 (一般表示)	x
吸收体等的比厚度	X

半厚度 (半值层)

标准偏差

近似等于

* 注: 在 SI (Système International, 国际制) 中每秒衰变的单位是贝可勒耳 (Bq)。为了简明起见, 全书使用缩写符号 dps。

目 录

常用的基本符号和单位

第一编 总 论

第一章 基础知识	(2)
1. 放射性核素和射线的性质	(2)
1.1 原子模型及放射性	(2)
1.2 爱因斯坦方程	(4)
1.3 放射性衰变定律及‘比放射性’	(5)
1.4 放射性碳鉴定年代的原理	(8)
1.5 射线的能量	(9)
1.6 辐射与物质的相互作用	(10)
2. 射线的探测和放射性强度的鉴定	(17)
2.1 放射自显影	(17)
2.2 电离探测器	(18)
2.3 固体闪烁计数	(21)
2.4 液体闪烁计数	(24)
2.5 计数效率(计数产额)	(26)
2.6 计数的统计(自然误差)	(28)
3. 辐射防护	(30)
3.1 单位和基本概念	(31)
3.2 工作人员的防护	(32)
3.3 污染的控制	(36)
3.4 废物处置	(39)
4. 稳定性同位素:氮-15	(39)
4.1 同位素丰度的测定	(40)
4.2 ^{15}N 分析中游离氮的制备	(41)
5. 示踪方法	(43)
5.1 鉴别踪迹	(43)
5.2 示踪稀释法	(44)
5.3 示踪动力学	(47)
6. 中子减速技术和 γ 射线衰减技术	(54)
6.1 中子水分仪	(54)
6.2 γ 密度探头	(57)

第二章	习题	(59)
第三章	附录	(62)
第四章	生物吸收磷-32的初步演示	(71)
第五章	实习	(72)
实验1	盖革计数器的使用	(72)
实验2	NaI 晶体计数器的使用	(81)
实验3	液体闪烁计数和契连科夫计数	(90)
实验4	β 样品的自减弱	(96)
实验5	稀释分析法	(102)
实验6	碳标记化合物的燃烧	(108)
实验7	离子交换和吸收	(111)
实验8	放射性污染的去除和监测	(116)
实验9	氮-15的发射光谱分析	(119)
第六章	进一步阅读的参考文献	(125)
第七章	示踪同位素的半衰期和辐射特征	(127)
第二编 土壤和肥料养分的评定		
第一章	在大田和培育室实验中使用同位素标记肥料的原 理及准则	(130)
1.	同位素测获指标的解释	(130)
2.	土壤及植物实验需要的同位素量	(133)
3.	实验10 计数系统的效率	(134)
4.	用于土壤植物实验的 ^{32}P 标记磷肥的放射性比度	(137)
5.	植物实验需要的 ^{15}N 的原子百分超	(139)
6.	主要参考文献	(140)
第二章	测定土壤磷和肥料磷对植物的有效性	(141)
1.	引言	(141)
2.	实验11 测定土壤中同位素可交换的磷 (E_1)	(142)
3.	实验12 测定“ A ”值及“ L ”值以估计植物可利用的磷	(145)
第三章	土壤和肥料氮素	(153)
1.	实验13 测定 ^{15}N 标记肥料在茎叶、根系及土壤中的分布	(153)
第四章	根系的范围及数量	(165)
1.	实验14 用 ^{32}P 植株注射法估计植物根系分布	(165)
第五章	放射自显影技术	(171)
1.	引言	(171)

2. 同位素和感光材料	(171)
3. 实验15 ^{32}P 标记植物材料的放射自显影	(173)
第六章 离子吸收	(180)
1. 根系的作用	(180)
2. 实验16 整合剂对植物吸收铁及锌的影响	(183)
3. 实验17 ^{86}Rb 及 ^{22}Na 在切下的菜豆 (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) 茎中的转移	(186)
第七章 参考文献	(190)

第三编 土壤水的管理

第一章 实验室实验	(206)
1. 引言	(206)
2. 实验18 测定土壤和水的 γ 射线衰减系数	(206)
3. 实验19 利用 γ 射线衰减法测定土壤含水量	(211)
4. 实验20 用于测定植物叶片中含水量的 β 射线衰减法	(217)
5. 实验21 测定中子水分探头的空间分辨力	(221)
6. 实验22 土壤淋洗特性	(225)
7. 实验23 加水速度对淋洗的影响	(232)
8. 实验24 阳离子交换容量对淋洗的影响	(235)
9. 实验25 淋洗过程中土壤氮的转化	(238)
第二章 田间实验	(242)
1. 引言	(242)
2. 实验26 田间校正中子水分仪和 γ 密度探头	(242)
3. 实验27 土壤水在剖面内的运动	(248)
4. 实验28 土壤水分特性曲线	(252)
5. 实验29 土壤水传导特性	(256)
6. 实验30 田间土壤的淋洗特性	(260)
第三章 参考文献	(266)

第四编 土壤有机质的研究

第一章 实验	(274)
1. 实验31 测定土壤中天然存在的放射性碳, 以估计土壤氮素供应能力	(274)
2. 实验32 ^{14}C 标记的植物材料的制备	(283)
3. 实验33 用培养瓶法估计土壤中 ^{14}C 标记蛋白质和纤维素的半减期	(287)
4. 实验34 用于估计土壤中 ^{14}C 标记作物残株半减期的田间和 实验室方法	(291)
5. 实验35 利用放射性呼吸计估计微生物的活性	(299)

第二章 参考文献	(305)
第五编 基本术语及概念汇编	

第 一 编

总 论

第一章 基础知识

1. 放射性核素和射线的性质

1.1 原子模型及放射性

原子由带正电荷的原子核和围绕着它的带负电荷的壳层电子* (轨道电子)组成。原子核含有占主要质量组成的质子和中子。质子带有正电荷(基本电荷),中子不带电荷。原子核直径约为 10^{-12} 厘米,它几乎占有原子的全部质量。原子(包括轨道电子)的直径约为 10^{-8} 厘米(或1埃)。

核中质子的数目(Z)称为原子序数,它是化学元素的特征。然而同一种元素原子核中的中子数可能并不都是相同的。凡是 Z 相同而中子数不同的原子称为(Z 相同的化学元素的)同位素,因为它们元素周期表上占有同一个位置。

因为中子和质子代表原子质量的主要部分,它们都近似等于1个原子“重量”单位,即1个原子质量单位**,而质量数 A 等于中子数和质子数的总和,所以质量数就是和原子量最接近的整数。于是

$$Z + N = A \approx M \text{ (原子质量单位)}$$

核素(任何种类的原子核)以下列符号表示:

$${}^A_ZX, {}^AX \text{ 或 } X-A,$$

其中 X 是化学元素的符号。

某些核素的核是不稳定的,会自发地按各自核的特征速率一

* 用黑点标出的字将在第五编基本术语和概念汇编中解释。

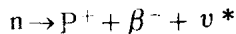
** 原子质量单位 (amu) 精确的定义为碳-12原子质量的 $1/12$ 。

个接一个地衰变，这些核素称为‘放射性的’核素。在自然界中，人们知道有许多不稳定的核素，现在几乎每种元素的放射性同位素都可用人工生产（例如在原子反应堆里或用粒子加速器）。伴随放射性核的衰变发射出了各种电离辐射。有放射性的核素称为放射性核素（Radionuclides），也使用其它简称。

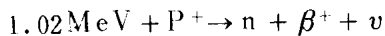
放射性核衰变时，可以放出 α 粒子或 β 粒子以及 γ 射线。 α 粒子是高速运动着的氦核（ ${}^4_2\text{He}$ ）。 β 粒子是高速运动着的带负电荷的电子（ β^- ）或带正电荷的电子（ β^+ ）。 γ 射线是比可见光波长短得多的电磁能量束（光子），以光的特征速度传播。

在低 Z 值元素的天然同位素的核中，除普通氢以外，有大致上相同的中子数和质子数（ $N \approx Z$ ），这些同位素常常是稳定的。随着元素原子序数的增加，在保持原子核稳定的条件下，中子数愈来愈多地超过质子数，而最后只存在不稳定的核（超过 $Z = 83$ ，铋）。因此在自然界中发现的大部分高 Z 值元素的放射性同位素，其中子和质子之比约为 $1\frac{1}{2}:1$ ，放射 α 粒子是这些重的不稳定元素的特性。 α 粒子由两个中子和两个质子组成，是一个非常稳定的核，当重原子核衰变时， α 粒子作为单个的粒子从重核中发射出来。

对每种元素的稳定性看来存在着大体确定的最佳 $N:Z$ 比。当核的中子数目过剩时，从核内放出 β^- 粒子使 N 值趋于减小，放射出 β^- 粒子的同时中子转变成质子：



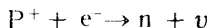
核内的质子数过剩时，也可以存在一种相反过程，放出正电子，即带正电的 β^+ 粒子[关于能量单位百万电子伏（MeV）的定义，见1.5节]：



1.02百万电子伏是放射 β^+ 粒子时所需要的最小能量，它相当于正电子加电子的静止质量。核中质子过剩可以通过另一途径而减少：

* 中微子（ ν ）具有能量但无电荷，实际上无质量，所以同位素示踪技术中利用的任何仪器都不能探测到它。

由核俘获原子自身轨道上的一个电子，这种过程称电子俘获 (EC) 或称K俘获：

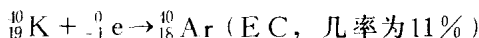
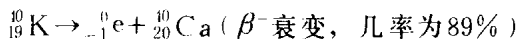


发生EC的同时放射出特征X射线，它常代表生成元素的L壳层电子和K壳层电子之间的能级差(在K壳层上的一个‘空穴’由一个L壳层电子填满)。

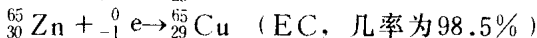
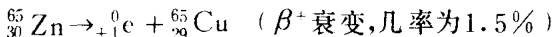
放出 α 粒子、 β 粒子或EC以后，子体核的能级可能不在基态，激发态核的过剩能量以一个或几个 γ 光子形式释放出来。

然而，激发态的核和衰变原子的轨道电子可以相互作用，从一个电子以一定的速度从原子中被驱赶出来而不放射出所期望的 γ 光子。这个过程引起快速电子和特征X射线并合发射，称为内转换(IC)。X射线的光子可以依次再经过IC过程而发射出电子，即所谓俄歇电子。

在某些情况下，核衰变可以有两种交替的模式，例如：



在EC模式的情况下，也放射一个 γ 光子。又例如：

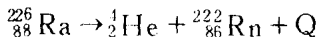


在这种情况下，有45.5%的几率随着EC反应而放射 γ 光子。

当 ${}^{235}\text{U}$ 重核俘获一个中子时，核总是分裂成质量几乎相等的两部分，这个过程称为裂变。初级裂变产物是不稳定的(N过剩)，每个裂变产物形成一系列终止于天然存在的稳定性核素的子体放射性核素。

1.2 爱因斯坦方程

在每个原子反应或核反应中，几乎都有少量的质量转化成能量，反之亦然。兹介绍在 α 衰变中能量Q转换的一个例子：



核反应的能量Q和原子质量减少的关系符合普通的爱因斯坦