

农业应用核技术

(农林业应用核技术系列书之九)

顾光沛 宣家伦等 编著

原子能出版社

全国“星火计划”丛书

农业应用核技术

(农林业应用核技术系列书之九)

顾光炜 董家伦等 编著

原子能出版社

(京)新登字 077 号

内 容 简 介

本书综合介绍了核技术在农业中的应用。全书共分十章,分别介绍了应用基础、示踪原子法、食品辐射保藏、辐射育种、辐射防治害虫、小剂量刺激在农作物生产中的应用,农用射线检测技术、 γ 法探测地下水以及农用放射性实验室等内容。本书叙述简明、内容实用,是一本农用核技术较为完整的图书。

本书可供农业科技人员、生产人员和大专院校有关专业师生参考。

全国“星火计划”丛书

农业应用核技术

(农林业应用核技术系列书之九)

顾光炜 董家伦等 编著

责任编辑 石庆元

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社照排胶印中心排版印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经营

☆

开本 787×1092 1/16·印张 24.5·字数 608 千字

1992 年 12 月北京第一版·1992 年 12 月北京第一次印刷

印数 1—900

ISBN7-5022-0556-X

S·1 定价:30.00 元

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员 (以姓氏笔划为序)

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委员 (以姓氏笔划为序)

王晓方 向华明 宋景九 应日珽

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一，是在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，极需出版一套“星火计划”丛书，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《全国“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

编者的话

自 1896 年发现天然放射性以来,经过世界各国科学工作者的努力,相继发现了不少新的放射性元素,并且实现了人工核反应,制造出人工放射性同位素。电子、质子和中子的发现,加深了人们对原子核的认识,从而促成加速器的诞生。从本世纪 30 年代起,科学工作者研制成各种类型的加速器,为放射性同位素的生产提供了有力工具。

1942 年世界上第一座反应堆的建成标志着人类进入了原子能时代。核反应堆提供了一种强大的中子源,为中子的研究和应用创造了条件,同时也为放射性同位素的大量生产提供了源泉。现在,放射性同位素、放射源、放射性标记化合物、放射性药物和同位素仪表等的研究和应用,已逐步走上商品化的道路,成为国民经济中一个重要组成部分。

目前,核技术和射线已广泛地应用在农林业生物科学的各个领域,大大促进了农林业生物科学的发展,对农林业现代化建设起着重要作用。

编写出版这套农林业应用核技术系列书的目的是,普及核农学基本知识,宣传和推广核技术在农林业各方面的应用,介绍农用核技术的新方法和新成就。本系列书共九种,分别涉及到辐射育种、农产品畜产品水产品的辐射保鲜和贮藏、昆虫辐射不育防治害虫、生物的辐射刺激增产、同位素示踪技术等内容,基本反映了我国农用核技术的现状。愿这套系列书能为核技术在农林业生物科学中的推广应用,作出有益的贡献。

前 言

核技术在我国农业科学中应用是从 50 年代开始的,经历时间虽然不长,但是在理论研究和生产实践中已取得了一定的成果和较好的经济效益。随着核技术和农业科学的发展,这一新技术的应用正在向深广发展。可以预料,核技术今后在我国农业科学中将会发挥更大的作用和产生更大的影响。

示踪技术在生物研究中的应用,辐射杀虫灭菌,辐射保藏食品,辐射育种和刺激增产,以及利用射线的检测技术,是目前核技术在农业中应用的主要方面。

本书第一章介绍农业应用核技术的基础,第二、三章分别介绍放射性同位素示踪原子法和稳定性同位素 ^{15}N 示踪原子法。示踪原子法能够比较真实地反映某一元素(或化合物)在生物体内或农业环境中的代谢过程和化学行为,它所具有的优点,目前是其它方法不能替代的。结合农业应用特点的示踪技术,在目前来说是十分需要的。

农业研究和生产的对象是生物。人们观察到,核辐射与生物相互作用,可引起激励和抑制生物生长、发育和致死的效应。人们用控制剂量的方法来控制这几种效应的出现,以达到为农业生产服务的目的。例如利用致死剂量杀死害虫和灭菌消毒、利用抑制剂量延迟果实的成熟和抑制块茎的发芽、利用小剂量刺激种子、蚕卵的生长发育等等。由于这些应用具有较为明显的经济效益,因此引起各方面的关注。本书第四章介绍食品的辐射保藏;第六章介绍辐射防治害虫;第七章介绍小剂量刺激农作物增产的应用。

利用核辐射引起遗传物质的突变、诱发农作物产生变异是农业应用核技术的又一个方面。第五章介绍辐射育种。用人工的方法来创造新的基因型,改变作物育种长期以来完全依靠自然基因库的状况,其意义是重大的。

最近 20 多年来发展起来的射线检测技术;其方法简单、检测迅速,特别是可以在不破坏待测样品的状况下进行连续监测,在农业应用中有着特别重要的意义。第八章介绍一般农业单位易于做到的一些检测技术,如利用中子、 γ 射线检测农产品水分、土壤密度、叶片厚度等等。第九章介绍利用地壳中的天然放射性来探测地下水,借此技术已为我国许多贫水地区找到了地下水资源,为农田灌溉带来了很好的经济效益。此章根据在实际应用中的经验,为读者具体地提供了应用这一技术的依据和方法。

第十章介绍农用放射性实验室,这是在实际应用中必然遇到的问题。本书中只作简单的介绍,并尽量做到符合目前农业生产水平和实际应用的需要。

使用放射性同位素和辐射源,有一定的安全、卫生要求。在使用放射性同位素时必须征得卫生防疫部门的同意,并严格遵守有关的操作规程。

本书的第一章由方杰(南京大学)、顾光炜(江苏农学院)、凌铭然(国营五三〇八厂计算中心)编写;第二章由董家伦(甘肃农业大学)编写;第三章由曹亚澄(中国科学院土壤研究所)编写;第四章由陈科文(四川省工业卫生研究所)、刘昭、赵光(河南省科学院)编写;第五章由顾光炜、马飞(江苏农学院)编写;第六章由谢宗传(江苏省农业科学院)编写;第七章由马飞、顾光炜编写;第八章由谢宗传、刘圣康(南京大学)编写;第九章由金可则(四川省原子核技术研究所)编写;第十章由顾光炜、马飞编写;附录由董家伦、顾光炜编写。

由于编著者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

1989 年 12 月

目 录

第一章 农业应用核技术基础	(1)
一、核素和核辐射	(1)
(一)核素	(1)
(二)稳定性核素和放射性核素	(1)
(三)核辐射	(2)
(四)放射性衰变规律和衰变纲图	(4)
1. 核衰变类型	(4)
2. 核衰变规律	(5)
3. 核衰变纲图	(5)
(五) α 、 γ 和中子在物质中的减弱和吸收	(10)
1. α 射线在物质中的减弱和吸收	(10)
2. γ 射线在物质中的减弱和吸收	(11)
3. 中子在物质中的减弱和吸收	(12)
二、剂量和剂量测定	(14)
(一)有关的几个量和单位	(14)
1. 粒子的注量 ϕ	(14)
2. 能量注量 Ψ	(14)
3. 照射量 X	(14)
4. 吸收剂量 D	(14)
5. 比释动能 K	(15)
(二)农作物吸收剂量的计算方法	(15)
1. γ 射线吸收剂量的计算	(15)
2. 中子吸收剂量的计算	(18)
(三)剂量测量	(20)
1. γ 射线的剂量测量	(20)
2. 中子的剂量测量	(23)
三、放射性活度及其测量	(24)
(一)放射性活度及单位	(24)
1. 贝可勒尔(Bq)	(24)
2. 居里(Ci)	(24)
(二)农业常用的放射性探测装置	(24)
1. G-M 计数管测量装置	(24)
2. 液体闪烁计数器装置	(29)
3. 放射性色层扫描装置	(36)
4. 几种低本底测量装置	(36)
(三)放射性活度的测量方法	(37)

1. α 射线活度的测量方法	(37)
2. β 射线活度的测量方法	(38)
3. γ 射线活度的相对测量	(38)
(四) 农业生物样品在液体闪烁计数测量中的几个技术问题	(38)
1. 制样技术及指标	(38)
2. 淬灭校正	(41)
3. 契伦科夫计数技术	(42)
四、放射性测量数据的处理方法和计算程序	(44)
(一) 实验数据的整理和分析	(44)
1. 实验数据的随机性	(44)
2. 实验数据的分析	(44)
3. 随机变量的数字特征计算	(45)
(二) 放射性测量中常用的统计分布及其程序	(46)
1. 二项分布	(46)
2. 泊松分布	(47)
3. 正态分布	(48)
(三) 实验数据的统计检验	(49)
1. 实验数据数字特征值的统计检验	(49)
2. 实验数据的拟合检验及其程序	(50)
3. 实验数据的合理性检验	(52)
(四) 统计学原理在放射性测量中的应用	(52)
1. 误差的传播	(52)
2. 放射性样品的净计数率的误差表示方法	(53)
3. 关于样品和本底测量时间的最优分配	(53)
4. 一元线性回归及其程序	(54)
参考文献	(57)
第二章 放射性同位素示踪原子法	(59)
一、放射性同位素示踪原子法的原理和技术	(59)
(一) 应用示踪原子法的基本依据	(59)
(二) 同位素稀释法	(60)
1. 正稀释法	(60)
2. 反稀释法	(61)
3. 双同位素稀释法	(62)
(三) 放射自显影法	(63)
1. 放射自显影的基本原理	(63)
2. 放射自显影技术中的几个问题	(65)
(四) 放射色层扫描法	(67)
二、放射性同位素示踪试验方法	(70)
(一) 放射性同位素示踪试验的设计	(70)
(二) 放射性同位素示踪剂的选择	(72)
(三) 开瓶分装及调配	(73)
(四) 放射性示踪剂的引入	(75)
(五) 放射性示踪试验的田间管理	(80)

三、样品制备	(83)
(一)样品的采集	(83)
(二)样品的预处理	(84)
1. 样品制备的要求	(84)
2. 样品的预处理	(85)
(三)各类样品的制备	(88)
1. 气体计数样品	(88)
2. 液体计数样品	(89)
3. 固体计数样品	(89)
(四)液体闪烁探测技术中的制样技术	(91)
1. 液体闪烁探测技术中制备样品方法的几个问题	(91)
2. 均相测量制样的一般原则	(92)
3. 非均相测量的制样技术	(92)
4. 契伦科夫计数的制样技术	(92)
5. 制样方法索引	(93)
(五)活体测量	(98)
四、放射性同位素示踪原子法在农业中的应用	(99)
(一)在土壤、农业化学中的应用	(99)
1. 土壤有效养分的测定(A 值、 L 值及 B 值)	(99)
2. 土壤阳离子代换量(CEC 值)的测定	(101)
3. 植物根系分布的研究	(101)
4. 有机物质生产的同化及运输	(101)
(二)环境保护及植物保护中的应用	(102)
1. 有机化合物在土壤中的运输、残留、降解的实验	(102)
2. 昆虫毒理学研究	(103)
(三)植物育种中的应用	(104)
参考文献	(104)
第三章 稳定性同位素^{15}N示踪原子法	(106)
一、稳定性同位素及其示踪原理	(106)
(一)稳定性同位素的特点	(106)
(二)稳定性同位素的示踪原理	(107)
二、 ^{15}N 示踪技术	(108)
(一) ^{15}N 示踪物质的制备	(108)
1. ^{15}N 的富集和分离	(108)
2. ^{15}N 标记化合物的制备	(109)
3. ^{15}N 标记氮气的制备	(110)
4. ^{15}N 标记的植物和土壤材料的制备	(111)
(二) ^{15}N 测定方法	(111)
1. ^{15}N 质谱测定法	(112)
2. ^{15}N 光谱测定法	(115)
(三)贫化 ^{15}N 和 $\Delta^{15}\text{N}$ 示踪法	(119)
1. 贫化 ^{15}N 示踪法	(119)
2. $\Delta^{15}\text{N}$ 的应用	(121)

(四) ¹⁵ N 示踪试验方法	(122)
1. 示踪物质 ¹⁵ N 丰度的选择	(122)
2. ¹⁵ N 示踪田间试验方法	(123)
3. ¹⁵ N 示踪试验的结果计算和误差来源	(124)
参考文献	(127)
第四章 食品的辐射贮藏	(128)
一、食品辐射贮藏概况	(128)
(一)食品辐射贮藏的简况	(128)
(二)食品辐射贮藏的特点	(129)
(三)食品辐射贮藏的意义	(129)
(四)国际上批准和应用情况	(134)
二、食品辐照技术	(136)
(一)剂量和剂量率	(186)
(二)辐照条件	(137)
(三)综合处理	(138)
1. 防腐剂与电离辐射	(139)
2. 加热与电离辐射	(139)
(四)重复照射	(140)
(五)包装材料	(140)
1. 硬包装容器的研制	(141)
2. 轻的多层薄膜包装材料的研制	(141)
(六)食品辐照程序	(142)
三、辐照贮藏食品的应用	(143)
(一)粮食	(143)
(二)蔬菜	(143)
(三)干鲜果品	(145)
(四)肉类和水产品	(145)
(五)香辛调料	(146)
四、辐照食品的卫生学	(146)
(一)关于引起食品放射性的问题	(146)
(二)辐照食品的营养学	(147)
1. 辐照对蛋白质和氨基酸的影响	(148)
2. 辐照对脂类的影响	(150)
3. 辐照对糖类的影响	(152)
4. 辐照对维生素的影响	(154)
(三)对存在于辐照食品中的生物体的影响	(157)
参考文献	(159)
第五章 作物辐射育种	(161)
一、辐射诱变原理	(161)
(一)发生突变的可能机制	(161)
1. DNA 的结构损伤	(161)
2. 碱基异构化	(161)
3. 碱基 π 键级的降低	(162)

4. 碱基的转换和颠换	(163)
(二) 农作物对辐射损伤的修复	(164)
二、辐射敏感性和诱变剂量	(164)
(一) 作物辐射敏感性的测定	(165)
(二) 作物辐射敏感性的比较	(169)
(三) 作物的诱变剂量	(170)
三、突变扇形体	(173)
(一) 突变扇形体的测定	(174)
(二) 突变扇形体的大小和分布	(174)
(三) 作物的嵌合现象与减少嵌合体干扰的方法	(175)
1. 作物的嵌合现象与提高选择效果的关系	(175)
2. 减少嵌合体干扰的方法	(177)
四、处理的方法和条件	(178)
(一) 辐射育种中常用的诱变源和处理方法	(178)
1. 质子	(178)
2. π^- 介子	(178)
3. γ 射线	(179)
4. 中子	(179)
5. β 射线	(180)
(二) 诱变因素的选择	(182)
(三) 氧、温度、含水量及贮藏效应	(182)
(四) 诱变因素的综合考虑、急慢性照射和重复照射	(187)
(五) 照射材料的选择	(189)
五、有性繁殖作物的辐射育种程序 and 选择方法	(191)
(一) 出发材料的选择和世代群体数量的估计	(191)
(二) 各世代的种植、采收和选择	(193)
六、无性繁殖作物的辐射育种程序 and 选择方法	(198)
(一) 诱变材料的选择和处理	(199)
1. 诱变材料的选择	(199)
2. 无性繁殖作物处理方法	(199)
(二) 突变体分离选择技术	(200)
1. 突变芽的选择	(200)
2. 分离突变组织和突变体	(201)
(三) 无性繁殖系作物的选育程序	(202)
1. 果树的选育程序	(202)
2. 块茎作物的选育程序	(203)
(四) 无性繁殖系作物的不定芽技术	(204)
七、辐射育种中组织、细胞的培养技术	(205)
(一) 离体细胞、组织的辐射敏感性和诱变剂量	(205)
(二) 细胞培养中的几个辐射效应	(207)
1. 剂量效应	(207)
2. 分散剂量效应、短时间间隔效应	(207)
3. 间接作用的影响	(207)

4. 延迟平板培养的修复作用	(208)
(三) 突变细胞或突变体的分离、选择技术	(208)
参考文献	(211)
第六章 利用核辐射防治害虫	(212)
一、利用核辐射防治害虫的概况	(212)
(一) 现状	(212)
(二) 意义和特点	(214)
(三) 经济效益	(215)
二、辐射不育治虫技术	(215)
(一) 一般原理和特点	(215)
(二) 辐射不育治虫技术	(218)
1. 防治对象的选择	(218)
2. 适宜剂量和照射方法	(219)
3. 人工饲养	(222)
4. 包装运输和大田释放	(226)
5. 害虫的种群动态、迁飞能力与治虫效果的关系	(227)
(三) 辐射半不育法防治害虫	(227)
(四) 辐射对昆虫细胞遗传和生殖生理的影响	(228)
1. 各种细胞对辐射的敏感性	(228)
2. 辐射突变	(228)
3. 辐射对雌性昆虫生殖腺的作用	(228)
4. 辐射对雄虫生殖腺的作用	(229)
5. 辐射半不育的遗传学基础	(229)
三、辐射诱变在防治害虫上的应用	(229)
(一) 一般原理	(229)
(二) 害虫突变体的利用	(230)
1. 诱发条件性致死突变	(230)
2. 性比偏离	(231)
(三) 农作物突变体的利用	(231)
1. 植物抗虫性的机制	(231)
2. 多抗性品种	(231)
3. 辐射突变体的利用	(232)
四、利用核辐射直接杀死害虫	(232)
(一) 一般原理	(232)
(二) 致死剂量和照射方法	(232)
1. 昆虫对辐射的敏感性	(232)
2. 辐射对昆虫不同变态的作用	(233)
3. 影响昆虫辐射敏感性的因素	(236)
(三) 辐射直接杀虫的应用	(237)
1. 贮粮害虫	(237)
2. 食品害虫	(238)
3. 田间害虫	(238)
4. 档案图书害虫	(238)

5. 植物检疫	(239)
6. 其他害虫防治方面	(239)
参考文献	(239)
第七章 小剂量刺激作用在作物生产上的应用	(241)
一、概况	(241)
二、影响小剂量刺激作用的几个因素	(242)
(一) 适宜剂量	(242)
(二) 种子的生物因素	(243)
(三) 种子基因型的控制作用和环境条件对刺激作用的影响	(243)
(四) 贮藏效应	(244)
三、可能用于作物生产的刺激效应	(245)
(一) 提高发芽势和发芽率	(245)
(二) 促进作物生长	(245)
(三) 促进发育, 提早结果	(246)
(四) 改进品质	(246)
(五) 在不良条件下发挥原品种基因型范围内的增产潜力	(246)
四、展望	(247)
参考文献	(247)
第八章 农用射线检测技术	(249)
一、中子测水分	(249)
(一) 概述	(249)
(二) 中子源	(250)
1. 常用同位素中子源的性能	(250)
2. 选择中子源的原则	(252)
3. 中子源的使用	(253)
(三) 中子探测器	(253)
1. 三氟化硼正比计数管	(253)
2. 电晕管	(255)
3. ^3He 计数管	(256)
4. 锂玻璃闪烁体	(256)
(四) 插入型中子水分计	(257)
1. 原理	(257)
2. 结构	(258)
3. 实例	(259)
4. 测量体积	(260)
5. 标定	(261)
6. 影响测量值的因素	(262)
7. 灵敏度与误差	(265)
(五) 表面型中子水分计	(267)
1. 原理	(267)
2. 结构	(267)
3. 标定	(268)
4. 实例	(268)

(六)透射型中子水分计	(269)
1. 原理	(269)
2. 结构	(270)
3. 实例	(271)
4. 标定	(271)
5. 灵敏度与误差	(272)
二、透射式 γ 土壤水分计	(273)
(一)原理	(273)
(二)仪器结构	(274)
(三)仪器部件	(276)
(四)测定方法	(277)
(五)影响因素	(278)
三、 γ 土壤密度计	(278)
(一)透射式 γ 土壤密度计	(278)
1. 原理	(278)
2. 结构	(278)
3. 标定方法	(279)
(二)散射式 γ 土壤密度计	(280)
1. 原理	(280)
2. 结构	(281)
3. 测定方法	(282)
(三)土壤湿度、密度计	(282)
四、叶片厚度、水分 β 测定仪	(283)
(一)原理	(283)
(二)结构	(284)
(三)标定方法	(285)
(四)应用	(286)
五、其它农用射线式检测仪表	(286)
(一)江河水中含沙量和淤泥容重的测定	(286)
(二) β 露点测定仪	(286)
(三)江河水的流速测定	(287)
(四)植物病害射线诊断仪	(287)
(五)积雪厚度测定	(288)
(六)木材密度、厚度测定	(288)
(七)其它	(288)
参考文献	(289)
第九章 γ 法探测地下水源	(290)
一、概述	(290)
二、 γ 法原理	(290)
(一)天然放射性核素及其辐射的 γ 射线	(290)
(二)岩圈天然放射性核素分布的稀疏不均匀性与局部相对均匀场的存在	(294)
(三)基岩断裂层、破碎带、裂隙储水构造与天然放射性增强的密切对应性和相关性	(295)
三、探测仪器	(297)

(一)航空 γ 找水仪	(297)
(二)汽车 γ 测量仪器	(298)
(三)我国目前主要使用的步行 γ 探测仪器	(298)
(四)天然放射性统计涨落处理	(300)
四、野外测量	(300)
(一)车载 γ 测量	(300)
(二)步行测量	(301)
(三)适用条件	(302)
(四)主要的自然干扰因素	(302)
1. 宇宙射线的干扰	(302)
2. 气候影响	(302)
3. 构造运动影响	(303)
4. 表土层或岩层结构组成变异引起 γ 异常	(303)
5. 裂隙带的倾斜影响	(304)
(五)富水性的估计	(304)
(六) γ 法探测的有效深度	(305)
五、应用举例	(305)
(一)侏罗纪红色泥岩、砂岩互层地区	(305)
(二)灰岩地区	(306)
(三)花岗岩地区	(306)
(四)探测温泉	(307)
(五)其他	(308)
参考文献	(308)
第十章 农用放射性实验室	(309)
一、农用放射性示踪实验室、钴室、中子实验室	(309)
(一)放射性示踪实验室	(309)
1. 实验室的布置原则	(309)
2. 实验室的几种布置图	(311)
3. 对各工作场所的要求	(311)
4. 放射性示踪实验室的工作守则	(315)
(二)农用钴照射室	(318)
1. 对钴室各部分的要求	(318)
2. 几种钴室的平面布置图	(321)
(三)中子实验室	(323)
1. 同位素中子源	(323)
2. 发生器中子源	(325)
二、几种农业常用标记化合物及其制备方法	(326)
(一)农药	(333)
1. ^{14}C -辛硫磷	(333)
2. ^{14}C -多菌灵	(333)
3. ^{14}C -六六六(丙体)	(334)
(二)氮肥增效剂	(334)
1. ^{14}C -4 氨基-1,2,4-三唑盐酸盐(ATC)	(334)

2. ^{14}C -脘基硫尿	(334)
(三)植物激素及其它生理物质	(334)
1. ^3H -脱落酸(^3H -ABA)	(334)
2. ^{14}C -乙烯利	(335)
3. ^3H -ATP	(335)
4. 氚水	(335)
5. $[5\text{-}^3\text{H}]$ -尿嘧啶和尿核苷	(335)
6. ^3H -胸腺嘧啶和胸腺嘧啶核苷	(336)
7. 几种常用的氚标记氨基酸	(336)
(四) ^{14}C -淀粉	(338)
(五) ^{32}P 标记肥料	(338)
1. ^{32}P 标记过磷酸钙的过程	(338)
2. 用 ^{32}P 标记的熔融成磷肥的方法	(339)
(六)农用 ^{15}N 标记的肥料	(339)
三、放射性实验室的去污和废物处理	(339)
(一)放射性实验室的去污	(340)
(二)农业放射性实验室常用的放射性废物处理方法	(341)
参考文献	(343)
附录	(345)
附表 1 辐射量及其单位	(345)
附表 2 农业常用核素表	(346)
附表 3 农业放射性实验室常用国产电子仪器及主要技术参数	(350)
附表 4 国产计数管的型号和技术参数	(355)
附表 5 常用防护材料的密度	(357)
附表 6 一些材料的有效原子序数	(357)
附表 7 各向同性点源 γ 射线减弱倍数 K 所需的水厚度(cm)	(357)
附表 8 各向同性点源 γ 射线减弱倍数 K 所需的混凝土厚度(cm)	(358)
附表 9 各向同性点源 γ 射线减弱倍数 K 所需的铁厚度(cm)	(359)
附表 10 各向同性点源 γ 射线减弱倍数 K 所需的铅厚度(cm)	(360)
附表 11 各种中子源的剂量换算因子	(361)
附表 12 一些常用屏蔽材料中的中子减弱因子	(362)
附表 13 ^{252}Cf 与 $^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})$ 中子源的剂量参数	(362)
附表 14 ^{252}Cf 中子的比释动能换算系数及有效能量	(362)
附表 15 死时间为 $100\mu\text{s}$ 时的修正计数率	(363)
附表 16 放射性衰变计算表	(364)
附表 17 常用放射性同位素的质量(g)与活度(Bq)的关系表	(365)
附表 18 一些标准源的 γ 射线能量	(365)
附表 19 一些标准源的 α 粒子能量	(367)
附表 20 原子-电子结合能	(367)
附表 21 某些原子、原子团和分子的电离电位	(372)
附表 22 分子中某些化学键断裂所需的能量	(373)