



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



核技术农业应用

王福钧 主编

农学 植保 土化等专业用

北京农业大学出版社

2

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教材指导委员会审定

核技术农业应用

主 编 王福钧

副主编 ~~孙锦荷~~

农学、植保、土化、~~土壤~~、~~环境~~、
畜牧、~~农业物理~~专业用

北京农业大学出版社

(京) 第164号

图书在版编目(CIP)数据

核技术农业应用/王福钧主编. —北京: 北京农业大学出版社,

1993.8

全国高等农业院校教材

ISBN 7-81002-454-X

I.核…

I.王…

II.核技术应用-农学

IV.S124

北京农业大学出版社出版发行

(北京市海淀区圆明园西路2号)

三环印刷厂印刷 新华书店发行

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 12.5

字数: 320千字 印数: 0~1000册

定价: 6.90元

内 容 简 介

本书分为基础知识与原理、基本方法与技术和农业应用等三部分。基础知识与原理部分介绍了核素与同位素、原子核衰变、射线与物质的作用和电离辐射的生物学效应，放射性核素和稳定性核素标记化合物的制备以及同位素技术和核辐射技术应用的基本依据。基本方法与技术包括核素的测量，同位素示踪法和同位素分析法。属于同位素分析法的有同位素稀释法、放射免疫分析法及中子活化分析法。应用部分介绍了同位素技术在农业科学主要领域中应用的情况及常用的研究测定方法，以及核辐射技术在作物品种改良，食品保藏和昆虫不育中的应用。

本书可作为高等农业院校农学、土壤化学、植物保护、园艺、环保、食品、畜牧、兽医等有关专业本科生的教材，也可作为从事核技术农业应用的教学、科研及其他科技人员的参考用书。

前 言

迄今对人类发生最大影响的科学技术成就之一是核能的释放及其利用，而原子核科学技术（简称核技术）的迅速发展及其在工业、农业、医学和科学研究中的广泛应用对社会生产和科学技术的发展产生了深刻的影响。核技术的应用已成为近代科学技术发展的重要标志。核技术已广泛应用于我国农业科学和农业生产的各个领域，为实现农业现代化做出了突出的贡献。

近些年来，我国高等农业院校为大学本科生陆续开设了核技术农业应用课程，为满足教学的需要，我们受委托编写了《核技术农业应用》教材，本书着重介绍了原子核科学技术在农业科学和农业生产中应用的有关基础知识、基本原理和方法，同时对核技术农业应用的实例，以及国内外的一些发展情况也作了简明的介绍。本书是由参加核技术农业应用及核技术农业应用实验指导两本教材编写组的同志共同讨论编写大纲，其中负责编写核技术农业应用实验指导的陈祖义同志对本书的编写提出了宝贵意见，并由本书编写组同志分章执笔编写。参加本书编写组的有王福钧（北京农业大学）、孙锦荷（浙江农业大学）、陈开铁（湖南农学院）、章元寿（南京农业大学）以及杨根海（北京农业大学），由王福钧任主编，孙锦荷任副主编，各章分别由下列同志编写：

第一章 孙锦荷

第二章 陈开铁

第三章 王福钧

第四章 陈开铁 章元寿

第五章 孙锦荷

第六章 王福钧

第七章 王福钧 章元寿 杨根海

第八章 王福钧 杨根海

当前，核技术农业应用的发展极其迅速，新方法、新成果层出不穷，而且编写一本全面反映核技术农业应用——核农学的新书是我们的初次尝试，虽然我们在编写时力求结合实际，反映核技术农业应用的发展水平，也符合教材的要求，但是由于我们经验不足及水平有限，难免有错误之处，我们诚恳地希望读者批评指正。

在本书编写过程中我们得到徐冠仁教授的指导和支 持，陈子元教授细心地审阅了全书，并提出了宝贵的修改意见，编者受益非浅。北京农业大学核农学教研组的林廷安审阅了部分稿件，我们对本书审阅者及本书所引用资料的作者表示衷心的感谢。

本书可作为高等农业院校有关专业的本科生的基本教材，也可作为从事核技术在农业和生物科学中应用的教学、科研及其他科技人员的参考书。

目 录

绪 论

一、核科学技术的广泛应用及其在发展国民经济中的作用.....	1
二、核技术在农业科学中的应用及核农学新学科的形成.....	3
三、我国核农学的发展.....	8
四、核农学的内容、特点及与其它学科的关系	10
五、展望	13

第一章 核农学应用基础知识..... 16

第一节 原子和原子核衰变..... 16

一、原子、核素和同位素	16
二、原子核衰变和放射性的活度单位	20

第二节 射线与物质的相互作用..... 33

一、带电粒子与物质的作用	33
二、 γ 射线与物质的作用	37
三、中子与物质的作用	40

第三节 放射性物质在低浓度时的状态和行为..... 41

一、放射性物质的特点	41
二、吸附现象	43
三、放射性胶体	46
四、共沉淀现象	49

第四节 放射性核素及其标记化合物的制备..... 51

一、放射性核素的制备	51
二、放射性标记化合物的制备	55
三、标记化合物的贮藏	61

第五节 稳定性核素及其标记化合物的制备..... 64

一、丰度和原子百分超	64
二、稳定性核素的制备	65
三、稳定性标记化合物的制备	69
第六节 放射性物质的分离和纯化	72
一、共沉淀法	73
二、离子交换法	74
三、溶剂萃取法	76
四、色层法	78
第二章 核素的测量技术	83
第一节 放射性核素的定量测量	83
一、测量原理及测量系统	83
二、气体电离探测器	86
三、半导体探测器	93
四、闪烁计数器	95
第二节 放射性核素的定位测量——放射性自显影	104
一、放射性自显影的基本原理	105
二、宏观自显影	110
三、光学显微自显影	115
四、电子显微自显影	121
第三节 稳定性核素的测量	125
一、质谱分析法	125
二、 ^{15}N 光谱分析法	132
第三章 核农学应用的基本依据	136
第一节 同位素技术的应用	136
一、同位素示踪法的基本依据	137
二、同位素示踪法的特点	141
三、同位素技术的应用类型及应用范围	144
第二节 核辐射技术的应用	149

一、核辐射技术应用的基本依据·····	149
二、核辐射技术应用的基本类型·····	155
第四章 核农学应用试验程序·····	162
第一节 放射性核素示踪试验基本程序·····	162
一、基本工作程序·····	162
二、向试验体系引入示踪剂的方法·····	163
三、测量样品的制备·····	169
四、适于液闪测量样品的制备·····	171
五、样品放射性的测量·····	173
六、测量数据的校正·····	175
七、测量数据的统计处理·····	176
第二节 稳定性核素示踪试验基本程序·····	181
一、向生物体引入示踪物质的方法·····	182
二、稳定性核素样品的制备·····	183
三、测量结果的计算与校正·····	189
第三节 核辐射技术应用试验基本程序·····	193
一、辐照装置和辐照剂量的探测·····	193
二、辐射育种应用·····	198
三、食品辐照保藏应用·····	210
四、昆虫辐射不育应用·····	215
第五章 同位素分析法·····	218
第一节 同位素稀释法·····	218
一、基本原理·····	218
二、种类·····	219
第二节 放射免疫分析技术·····	224
一、基本概念·····	225
二、基本原理·····	226

三、放射免疫分析的基本条件	230
四、放射免疫分析的应用实例——牛奶样中孕酮含量的测定	237
第三节 活化分析法	241
一、基本原理	242
二、活化分析的类型	243
三、活化分析的基本操作顺序	246
四、可活化示踪法——活化分析和示踪法的结合	248
第六章 辐射剂量及放射性防护	251
第一节 辐射剂量及其单位	251
一、照射量	251
二、吸收剂量	252
三、比释动能和粒子注量	254
四、剂量当量	256
五、照射量率常数 Γ	258
第二节 辐射对人体的影响及其防护	260
一、辐射对人体的影响	260
二、本底辐射	261
三、辐射防护	263
第三节 辐射防护标准	268
一、我国现行的辐射防护标准	268
二、辐射防护观点的发展及指导原则的完善	269
第四节 放射性安全操作及废物的处置	273
一、放射性安全操作	273
二、表面放射性污染及其清除	274
三、放射性废物的管理及处置	275
第七章 同位素技术的应用	280
第一节 同位素技术在植物生理生化研究中的应用	280
一、光合作用机理	280

二、营养物质的运转与分配·····	285
三、植物体内物质代谢·····	292
第二节 同位素技术在土壤与植物营养研究中的应用 ·····	296
一、肥料利用率·····	296
二、土壤有效养分的测定·····	302
三、共生固氮作物固氮能力的测定·····	305
四、微量元素肥料研究·····	308
五、根系的吸收功能·····	311
第三节 同位素技术在植物保护研究中的应用 ·····	315
一、植物病理学研究·····	315
二、农业昆虫研究·····	320
第四节 同位素技术在农业环境保护研究中的应用 ·····	327
一、农药在作物体内吸收与残留和代谢·····	327
二、农药在土壤中留残、迁移和降解·····	333
三、有害重金属、气体及放射性对环境的污染与防治·····	336
第五节 同位素技术在畜牧与兽医研究中的应用 ·····	343
一、机体组织成分的测定·····	343
二、物质在体内转移及代谢·····	346
三、动物营养·····	352
四、放射免疫分析法和器官闪烁显像术在兽医诊断中的应用·····	353
第六节 同位素技术在分子生物学中的应用 ·····	355
一、DNA和RNA的体外放射性核素标记·····	355
二、DNA和RNA的体内放射性核素标记·····	361
三、示踪法在分子生物学中的应用·····	363
第八章 核辐射技术的应用 ·····	368
第一节 辐射育种 ·····	368
一、辐射育种应用概况·····	368
二、辐射育种的特点·····	370
三 研究突变机理, 提高诱变效率, 加速新品种的选育·····	371

第二节 辐照保藏食品.....	375
一、食品辐照的应用概况.....	375
二、食品辐照的应用范围.....	375
三、食品辐照保藏技术的特点.....	379
四、辐照食品的卫生安全性评价.....	380
第三节 辐射昆虫不育防治害虫.....	383
一、辐射昆虫不育防治的应用实例.....	384
二、辐射昆虫不育治虫的特点与推广应具备的条件.....	385

绪 论

一、核科学技术的广泛应用及其在发展国民经济中的作用

迄今对人类历史发生最大影响的科学技术成就之一是核能的释放及利用。1896年, A.H.Becquerel (贝可勒尔) 研究铀盐, 发现天然放射性, 揭开了原子时代的序幕。1942年, 在E.Fermi (费米) 的领导下, 美国芝加哥大学建成了核反应堆, 使人类进入了利用核能的新时代。经过近百年的发展, 形成了包括核物理、核化学、核电子学等一系列分支学科的核科学技术。核科学技术除研究核能的直接利用外, 还包括核仪器仪表、核辐射技术、同位素技术的应用等。随着核能的开发利用核科学技术的迅速发展, 一项具有强大生命力的新技术——核技术已形成, 并日益发展壮大, 成为认识世界, 改造世界的强有力工具。

当今科学出现高度集中分化又高度综合的趋势, 核科学与各门学科的交叉与渗透尤为显著。建立在核科学技术基础上的核技术是发展比较晚的近代科学技术, 不但在基础科学理论研究中发挥了重大作用, 成为有效的手段, 广泛应用, 而且也渗透和扩展到工、农、医各应用科学与生产领域, 对科学技术和社会生产的发展产生了深刻的影响, 为发展国民经济发挥了巨大的作用。核技术的应用已成为近代科学技术发展的一个重要标志。

核技术在工业上的应用主要是研制生产了众多的核仪器、仪表, 如厚度仪、密度仪、测温仪、无损探伤仪, 以及各种快速分析检测仪器, 广泛应用于轧钢、冶金、炼油、化工、造纸、塑料、机器制造等工业生产流程, 实现连续监测, 在线分析与自动控制, 促进了工业生产的仪表化、系统化与自动化。同位素电池被用作宇航、海洋和各类遥控自动装置的电源。辐射技术是以核

辐射对高分子有机化合物的裂解、聚合、接枝、交联等变性效应为依据，应用于辐射加工。这项技术在探索、研制新材料上有特殊作用。生产的辐射化工产品有热收缩材料、电线电缆、低温粘合剂、高吸水材料等10余种，开辟了新材料生产的途径。核辐射效应也用于皮革制品、手工艺品、化妆品等工业产品的杀虫及防霉变，一些工业发达国家相继建立了辐射处理“三废”工业，这样即利用了工业上的“三废”，又保护了环境。同位素技术应用范围更广，工业上各应用学科及各有关行业都有应用。

核技术与医学科学相结合已形成了新学科——核医学。核医学(nuclear medicine)是研究放射性核素及核辐射的医学应用及其理论基础的科学。核医学是现代医学的一个分支学科，分为实验核医学和临床核医学。实验核医学是利用核素进行生物医学研究，以探索生命现象的本质及其物质基础，加深人们对正常生理生化过程和病理过程的认识；临床核医学则直接利用核素或医用加速器来诊断和治疗疾病。目前我国应用核技术的医院、医学教学科研单位已超过千个，省市一级医院都有同位素室、放射科等，核技术作为诊断、治疗手段也已相当普遍。建立了核素显像、功能测定、放免分析和核素治疗方法，每年接受病人1000万人次。辐射效应在医学上的应用有核辐射治疗、医疗用品辐射灭菌及辐射法制备生物医用高分子材料三个领域。核辐射治疗的外照射治疗使用的有X射线、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 源治疗机，内照射治疗是将辐射源引进机体，如 ^{131}I 治疗甲状腺亢进，放射性胶体 ^{198}Au 直接注入胸腔，治疗局部恶性肿瘤等。1989年统计全国有250余台 ^{60}Co 治疗机、医用加速器。制备医用高分子材料包括用辐射聚合交联法研制与生产了软接触眼镜，现在已正常生产供应市场。辐射硫化的硅橡胶适于制备各种医用导管、插管，应用于输血、输液，以及制作各种植入机体的人工组织及器官，辐射法制的亲水凝胶生物医用高分子材料也有广泛的用途。与化学交联法比较，辐射法的亲水凝胶具有结构简单，材料纯度高的特点。这种亲水凝胶透明度高、无刺

激、无毒性，与血液接触不易产生凝血，作为人工玻璃体、人工角膜或人工晶状体的代用品是非常适宜的。至于医疗器械及用品的消毒，则更被普遍采用。经济发达国家更高度重视核医学的发展与普及，在全国合理布局大型核医学中心，配备专门的科技队伍及先进的技术设备，有的国家通过立法作出规定，如美国于1971年制定了法律，规定凡是床位达到250张的医院，如没有核医学专科、医生及设备，一律不准开业。

当前，核技术的广泛应用和巨大的经济效益已被越来越多的人所理解和重视。正如国际原子能机构（IAEA）的一项公报中所指出的：“从对技术影响的广泛而论，可能只有现代电子学和信息技术才能与同位素技术相比”。IAEA有关部门大力开展组织核技术应用研究，促进了核能的和平利用。

目前，世界上已有一百多个国家开展了核技术的应用研究，在一些发达国家和许多发展中国家，核技术的应用研究呈发展趋势，近20年来，各发达国家的核素仪器仪表数量，正以每5年增长1~2倍的速度发展中，自1960~1985年的25年间，世界各国核技术应用总的经济效益为800亿美元，其中西方工业发达国家在核素仪器仪表上取得经济效益大约460亿美元。据1989年统计，全世界仅使用辐射工艺的产品每年销售值超过100亿美元。我国刚形成的辐射产品，其产值总计已超过1.5亿元。核技术在发展国民经济中已开始发挥重要作用。

二、核技术在农业科学中的应用及核农学新学科的形成

（一）核技术在生物学及农业科学中的应用

核科学技术发展的早期就已经开始了核技术在农业科学及生物学中的应用，1923年G. Hevesy（海维西）用天然放射性核素 ^{212}Pb 研究了菜豆对铅的吸收及转移。1927年Müller（米勒）叙述了X射线能使果蝇发生突变，并认为诱发突变将在植物改良

上发挥重要作用。1930年, (H.Nilson-Ehle和A.Guslafsson) 通过X射线诱发, 首次得到了硬秆、密穗的大麦突变体。1934年, G.Hevesy应用同位素稀释法测定了活体内的水分, 同年, 第一个辐射育成的烟草突变品种 (D.Tollenaar) 问世。这些开创性的研究, 奠定了核技术在农业科学及生物学中应用的基础, 为科学研究提供了有效的手段, 开辟了新的研究领域。但是进一步发展还有待于新核素的发现, 因为天然放射性核素种类不多, 数量有限。1939年, S.Ruben (卢本) 与M.Kamen (凯门) 已开始使用核素 ^{11}C 研究光合作用中的 CO_2 的固定, 1940年发现了核素 ^{14}C , 进一步推动了光合作用的研究, 这时M.Calvin (卡尔文) 等也开始了追踪 ^{14}C 进入各中间代谢产物的动态过程, 证明了光合作用的光固定中, 碳进入磷酸甘油酸 (PGA), 二磷酸核酮糖 (RuBP) 是碳的受体, 最后确定了碳循环途径。Calvin研究光合作用的成果, 尤其是确定PGA与RuBP这两个关键化合物, 成为应用核素 ^{14}C 示踪技术研究中间代谢的惊人成就。这个时期, 由于大量放射性核素相继发现, 放射性探测技术也日益进展, 核技术在农业科学及生物学中的应用范围不断开拓扩展, 取得了许多重大的科学成就, 展示了核技术应用的光辉前景。Hevesy和Calvin都是由于在这方面的创造性研究成果而获得了诺贝尔奖金。但是, 30年代与40年代核技术只是少数实验室里科学家从事科学研究的工具和手段。二次世界大战结束后, 掌握核科学技术的国家纷纷强调原子能的和平利用, 大批核科学技术人才转到民用科研机构工作, 尤其是1955年, 在日内瓦召开了国际和平利用原子能大会, 和平利用原子能成为时代的要求, 核科学技术向国民经济的各个领域渗透, 核技术广泛应用, 形成了蓬勃发展的新局面。核技术的农业应用也和核工业、核医学一样进入了新的历史时期。在短短的几十年里核技术的农业应用作为和平利用原子能的重要方面, 已扩展到农业科研与生产的许多领域, 取得了卓越的成就。

（二）核技术农业应用的成就

核技术农业应用主要包括两大方面，一是核辐射技术应用；二是同位素技术作用。

1.核辐射技术应用。核辐射技术应用的一个重要领域是植物辐射育种，60年代以后辐射育种逐步开展，70年代已公认为是一种有效的育种手段，育出的新品种数迅速增加，培育出一批有特色的优良品种，从而引起各国育种家对辐射育种的重视，如60年代后期，美国利用热中子育成了用常规方法未获得的抗枯萎病的工业用薄荷品种，控制了该病的危害；日本用 γ 射线育成矮秆抗倒伏高产水稻品种“黎明”，大面积种植；印度通过热中子诱变育成了一个特早熟的蓖麻品种，生育期由270天缩短为120天。据IAEA 1982年统计，辐射育成植物品种共518个，其中农作物280个，观赏植物238个，有的已成为主要推广的良种，1989年，通过辐射改良的植物品种已达到1330个，其中主要粮食作物品种546个，油料作物63个，观赏植物409个，果树和无性繁殖植物69个。1992年，推广及登记的突变品种已达1 548个（包括中国的181个品种），其中种子繁殖植物的突变品种1 019个（突变育种通讯，1992，No.38 IAEA）。

在辐射食品保藏方面，50年代发达国家就开展了辐照食品保藏研究，70年代世界上许多国家对多种食品如水果、蔬菜、水产品、肉制品等进行了广泛深入的研究，并逐步走向实用化和商品化，到1990年，世界上已有40个国家批准在条例规定的范围内的辐射食品上百种，投放市场，供消费用。

辐射昆虫不育防治害虫的研究也始于50年代，当前，世界上许多国家对一百多种害虫进行了辐射不育防治研究，已有30多种害虫进入了中间试验或实际应用研究美国根治了牲畜螺旋蝇，抑制了棉花红铃虫。墨西哥由于地中海果蝇的危害，每年要损失15亿美元，1979年建立了每周生产5亿只不育虫的养虫厂，连续释放11个月，到1980年6月根除了此虫。日本1977年在久米岛消灭了瓜实