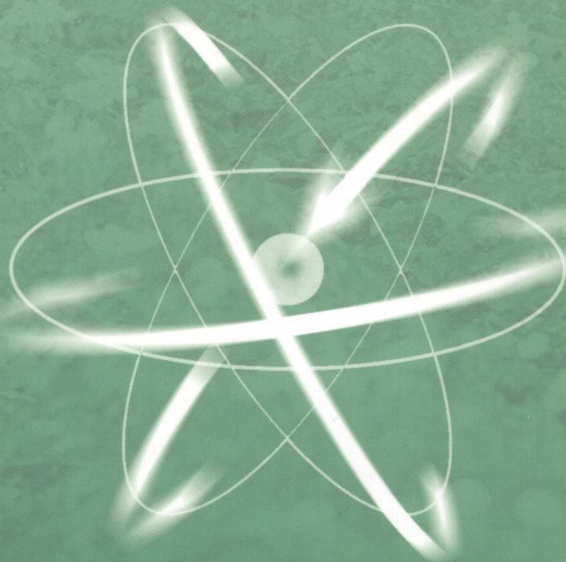


全国高等农林院校“十一五”规划教材

核农学

刘大森 强继业 主编



 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

核 农 学

刘大森 强继业 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

核农学/刘大森, 强继业主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 12

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 7-109-11380-9

I. 核… II. ①刘…②强 III. 核技术应用-农业-高等学校-教材 IV. S124

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 160244 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 毛志强

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 720 mm×960 mm 1/16 印张: 21

字数: 375 千字

定价: 27.20 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编写人员

主 编 刘大森 强继业

副主编 罗时石 米春云

编 者 (按姓氏笔画排序)

马 飞 王泽港 刘大森 米春云

罗时石 葛才林 强继业

前 言

1896年贝可勒尔发现了铀的天然放射性，打破了“原子不可分学说”，揭开了原子时代的序幕。随着原子核能（原子核裂变、聚变和衰变时释放的能量）的开发利用，一项具有强大生命力的新技术——原子核科学技术（简称核技术，是关于原子核能直接利用和核仪器仪表、核辐射技术及同位素技术的科学）已经形成。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。就核技术在国民经济各部门及科学研究中的广泛应用及其重要地位而言，正如国际原子能机构一个公报中指出：“从对技术影响的广度而论，可能只有现代电子学和数据处理才能与同位素相比”。

核技术在农业上的应用已有80多年的历史，经过核科学与农业科学人员的共同努力，在农业的各领域中取得了卓越的成绩。大量事实表明，核技术农学应用不仅有明显的经济效益与社会效益，还积累了成功的经验，建立了相应的基础理论。在这基础上，加之由原子核科学技术与农业科学之间的交叉，逐步形成了一门新的边缘学科——核农学。核农学是一门研究核素、核辐射与相应核技术在农业科学和农业生产中应用及其理论基础的科学。随着核农学学科的不断成熟及其在农业科学中的作用，我国大部分高等农林院校为本科生开设了核农学课程。为了满足教学的需要，推动核农学教学活动，我们编写了本书。

本书编写者（以内容先后为序）是：东北农业大学刘大森教授（绪论、第七章）、扬州大学王泽港副教授（第一章）、扬州大学罗时石教授、马飞副研究员（第二章）、云南农业大学强继业副教授（第三章、第八章）、南京农业大学米春云教授（第四章、第六章）、扬

州大学葛才林副教授（第五章）。全书由刘大森和强继业统稿。我们对为本书提出宝贵意见的同行，引用资料（书后列出的以及没有列出的）的作者，以及给予过关注和帮助的同志表示衷心的感谢。

由于水平有限，经验不足，加之时间仓促，书中错漏和不妥之处在所难免，恳切希望读者予以批评指正。

编 者

2006 年 9 月

目 录

前言

绪论	1
一、核农学的产生及主要内容	1
二、核农学的意义和特点	4
三、核农学的成就与展望	7
第一章 原子核物理学基础知识	10
第一节 原子核的基本特征	10
一、原子核的组成	10
二、核力	11
三、核素与同位素	12
第二节 原子核结合能及其稳定性	14
一、电子伏特	14
二、质量亏损和结合能	14
三、原子核的稳定性	15
四、稳定性核素	16
第三节 原子核衰变及其放射性活度	17
一、原子核衰变的发现	17
二、衰变的种类	19
三、放射性衰变的一般规律	22
四、放射性活度与单位	24
第四节 射线与物质的相互作用	25
一、带电粒子与物质的相互作用	25
二、 γ 射线与物质的相互作用	28
三、中子与物质的相互作用	31
第二章 放射性测量技术	34
第一节 射线探测器测量原理及电路简介	34

一、射线探测器的测量原理	34
二、射线探测器的电子学线路简介	35
第二节 气体电离探测器简介	37
第三节 盖革—弥勒计数管	39
一、盖革—弥勒计数管的构造	39
二、盖革—弥勒计数管的计数原理	40
三、盖革—弥勒计数管的主要性能	40
四、盖革—弥勒计数管的应用	42
第四节 闪烁计数器	44
一、闪烁计数器的工作原理	44
二、闪烁体	44
三、光电倍增管	45
四、常用固体闪烁计数器简介	47
第五节 液体闪烁计数器	51
一、液体闪烁计数器的基本原理	51
二、液体闪烁计数器的基本结构	52
三、闪烁液	54
四、淬灭校正	57
五、液体闪烁测量技术	60
六、液体闪烁计数器的技术指标	62
第六节 半导体计数器	63
一、半导体计数器的基本原理	63
二、半导体计数器的结构	64
三、半导体计数器的应用	65
第七节 热释光剂量计	65
一、用途、原理和组成	65
二、一些热释光剂量元件及材料	66
三、仪器原理及构造	67
第八节 测量样品的制备	69
一、样品的采集和处理	69
二、样品的制备	70
三、样品的精制	74
第九节 样品放射性的测量	74
一、放射性活度的测量	75

二、液体闪烁样品的测量	76
三、测量结果的校正	77
第十节 放射性测量数据的处理	79
一、标准误差	79
二、相对标准误差	81
三、误差的表示法	82
四、测量时间的选择	82
第十一节 放射自显影	85
一、放射自显影的原理和特点	85
二、宏观自显影	89
三、微观自显影	90
四、放射自显影在农业上的应用	92
第三章 辐射剂量和放射性防护	94
第一节 辐射剂量及其单位	94
一、照射量及照射量率	94
二、吸收剂量与吸收剂量率	95
三、比释动能	95
四、相对生物效应	96
五、剂量当量	96
六、有效剂量当量	98
第二节 放射性防护	99
一、辐射防护的基本概念和基础知识	99
二、辐射防护的原则和标准	101
三、辐射防护的方法	102
四、去污方法	104
第三节 放射性废物的处理	105
一、放射性废物的定义	105
二、放射性废物的危害及物理状态	105
三、放射性废物的处理	105
第四章 农用放射性标记化合物的制备、鉴定及贮存	109
第一节 放射性核素的制备	109
一、天然放射性核素的提取	109

二、人工放射性核素的制备	109
三、几种农学常用放射性核素的制备	112
第二节 放射性标记化合物的制备	112
一、标记化合物的命名	113
二、放射性标记化合物的制备方法	114
第三节 放射性标记化合物的分离纯化及鉴定	116
一、放射性标记化合物的分离纯化方法	116
二、放射性标记化合物的分析鉴定	118
第四节 放射性标记化合物的贮存	119
一、影响放射性标记化合物稳定性的主要因素	119
二、贮存方法	120
第五章 示踪原子法	122
第一节 示踪原子法的基本原理和特点	122
一、示踪原子法的基本原理	122
二、示踪原子法的特点	123
第二节 示踪试验设计	125
一、示踪原子的选择	126
二、示踪剂量的确定	127
三、示踪制剂的准备	130
四、示踪剂的引入	133
第三节 同位素稀释法	137
一、同位素稀释法的原理	137
二、同位素稀释法的应用	139
第四节 放射免疫分析法	143
一、基本术语和基本概念	143
二、基本原理	144
三、基本方法	146
四、放射免疫分析的应用	148
第五节 活化分析法	149
一、基本原理和特点	149
二、活化分析的基本方法	151
三、活化分析的发展	153
四、活化分析在农业上的应用	154

第六节 示踪动力学	159
一、示踪动力学概述	159
二、单库室系统	162
三、二库室系统	163
四、三库室系统	165
五、示踪动力学在生物科学和环境科学中的应用	170
第六章 稳定性核素	173
第一节 概述	173
第二节 稳定性核素示踪法原理	173
一、基本术语	173
二、稳定性核素示踪的基本原理	175
第三节 稳定性核素示踪试验设计	176
一、稳定性示踪核素的丰度选择	176
二、其他应考虑的影响因子	177
第四节 稳定性核素的测量方法	178
一、 ^{15}N 丰度的质谱分析	178
二、 ^{15}N 丰度的光谱分析	183
第五节 稳定性核素碳、氧、氢的质谱分析法	187
一、 ^{13}C 的测定	187
二、 ^{18}O 的测定	189
三、 ^2H 的测定	190
第七章 示踪原子法的应用	192
第一节 示踪原子法在作物生理研究中的应用	192
一、示踪原子法在植物光合作用研究中的应用	192
二、示踪原子法在物质运转和代谢中的应用	196
三、示踪原子法在植物激素研究中的应用	198
第二节 示踪原子法在环境科学中的应用	200
一、示踪原子法在农药对环境作用研究上的应用	201
二、示踪原子法在工业“三废”对环境作用研究上的应用	205
三、示踪原子法在其他环境研究上的应用	208
第三节 示踪原子法在作物遗传育种中的应用	210
一、应用示踪原子法研究作物的丰产性, 筛选高产作物	211

二、研究作物的根系与抗性	215
三、在作物品质育种中的应用	218
第四节 示踪原子法在植物保护研究中的应用	220
一、示踪原子法在植物病理学研究中的应用	221
二、示踪原子法在农业昆虫学研究中的应用	225
第五节 示踪原子法在土壤及肥料研究方面的应用	228
一、示踪原子法在生物固氮研究中的应用	228
二、示踪原子法在土壤研究中的应用	231
三、示踪原子法在肥料研究中的应用	234
第六节 示踪原子法在分子检测中的应用	237
一、DNA 和 RNA 的放射性核素标记	237
二、示踪原子法在 DNA 核苷酸序列分析中的应用	241
三、示踪原子法在核酸分子杂交中的应用	244
第七节 示踪原子法在动物科学中的应用	247
一、示踪原子法在哺乳动物研究中的应用	248
二、示踪原子法在家禽研究中的应用	253
三、示踪原子法在水生动物研究中的应用	254
第八节 示踪原子法在农业机械中的应用	257
一、观测机具作业时土壤的位移	257
二、研究作物在联合收割机部件上的运动状态	258
三、研究作物在脱粒分离部件中的运动参数	259
四、研究谷物加工过程的水分传递规律	259
五、用放射性指示剂研究零件的磨损	260
六、在其他机具上的应用	260
第八章 辐射生物学效应及其应用	261
第一节 辐射生物学效应的基本规律	261
一、电离辐射生物学的作用机理	261
二、辐射生物学的效应分类和影响因素	265
第二节 辐射育种	269
一、辐射育种的的概念	269
二、辐射育种的发展阶段和主要成就	269
三、辐射育种的基本特点	273
四、辐射处理剂量和方法	275

五、提高辐射诱变效率的途径	278
六、种子繁殖植物的辐射育种	279
第三节 辐照保藏食品	280
一、食品辐照保藏的意义和作用	280
二、辐照保藏食品的原理	281
三、辐照保藏食品的发展历史、现状及展望	281
四、辐照保藏食品技术的特点	283
五、安全性	284
六、辐照保藏食品常用剂量	286
七、辐照保藏食品的效果	289
八、谷类害虫的致死剂量	291
九、JECFI 辐照食品安全性许可数据	291
第四节 辐射不育防治害虫	293
一、辐射不育防治害虫的原理	293
二、释放辐射不育虫项目的进展	293
三、辐射不育防治害虫技术的特点	295
四、辐射不育防治害虫技术的几个步骤	296
五、利用雄虫不育技术能够控制或消灭的一些害虫名称	299
第五节 低剂量辐射对生物的作用	301
一、低剂量辐射的概念	301
二、低剂量辐射对生物的作用的研究进展	301
三、低剂量辐射的应用	302
四、低剂量辐射对生物的作用机理	304
第六节 辐射在农业环境保护中的应用	305
一、辐射技术应用于农业环境保护的意义	305
二、辐射技术处理环境污染物的特点	306
三、辐射技术与废水处理	307
四、辐射技术净化烟气的现状与前景	309
五、辐射技术处理污水淤渣	310
六、固体废物辐射处理	311
附录 部分常用放射性核素表	313
主要参考文献	323

绪 论

一、核农学的产生及主要内容

1. 核农学的产生 自 19 世纪 90 年代发现了天然放射性后,核辐射的生物效应立即引起科学家的极大关注,与此同时也开始了核技术在生物学和农业科学中的应用研究,经过百年的发展,逐步完善和成熟起来。伴随着核技术和农业生产过程的发展,核农学逐渐形成,这是一个漫长的过程。

1923 年匈牙利化学家 Hevesy 首次用核素示踪法研究了 ^{212}Pb 在豆科植物体内的分布与运转,揭开了核技术在农业上应用的序幕。中国从 1956 年开始,在农业科学研究和农业生产中应用核素与核辐射技术。但那时“核农学”还是一个比较模糊的概念,众说纷纭,有的称为农业物理、农业生物物理;有的直接称为原子能农业应用、同位素农业应用和核技术农业应用等。20 世纪 70 年代初期,法国和印度的核研究机构分别提出“放射农学”或称“辐射农学”(radioagronomic)和“核农学科学”(nuclear agricultural sciences, NAS)概念。自此,原子能或核技术的农业应用才作为一门学科逐渐被科学界所接受。

核农学(nuclear agronomy)是原子核科学技术(简称核技术, nuclear technology)与农业科学技术相结合而形成的一门新兴学科,是核素、核工业辐射技术在农业科学与生产中广泛应用的应用科学。“核农学”是一个发展中的概念。

2. 核农学的发展 回顾中国半个世纪以来核农学的发展,几乎每一个十年都是一个具有重要特征的发展时期:

(1) 核农学的开创与成长期(1956—1965 年)。在这 10 年间,工作的重点是建立机构、组织队伍、培训人员,边建设边开展研究与应用,并在全国各地成立了核素与核辐射技术农业应用研究所(室)的同时,在各大农业高校也相继建立了农业生物物理或农业物理等专业,开始培养核农学专业人才。核农学取得了一定科研成果,为我国农业生产做出了重要贡献,同时也为我国核农学的发展奠定了坚实的基础。

(2) 核农学发展停滞期(1966—1975 年)。前苏联撕毁援助合约,一些核农学研究机构被撤销,人员流失,科学试验停止,一批十分珍贵的试验资料和

材料丢失,仪器设备毁坏。同时由于“文化大革命”,中国经济建设遭到严重破坏,中国核农学事业也遭受浩劫,使刚刚兴起的核农学事业受到严重摧残。

(3) 核农学恢复发展期(1976—1985年)。党的十一届三中全会确定了把工作重点转移到以经济建设为中心上来,改革开放使科学技术迎来了春天,核农学事业迎来新的发展局面。全国16个省(市、自治区)的农业科学院、农业大学先后恢复和建立了原子能利用研究所(室),1979年,中国原子能农学会在浙江省成立,之后21个省(市、自治区)级原子能农学会相继成立,1984年,中国参加了国际原子能机构(IAEA)。在这期间,中国原子能农学会和中国农业科学院原子能利用研究所还共同创办了《核农学报》、《核农学通报》两个国家核心学术刊物。

(4) 核农学巩固提高期(1986—1995年)。在此期间,核农学发挥了其自身的技术优势和潜力,结合单位的优势和特点,在保持和发展科学研究,加强与其他学科技术的结合,促进核农学向高层次发展的同时,重视和加强了科技开发研究,加速科研成果转化,把科学研究、扩大示范、产品开发、进入市场紧密地衔接起来,科研工作既出高水平的研究成果,又能获得高经济效益。

(5) 核农学成果质量下降期(1996—2005年)。相对而言,核农学领域重大科研成果逐年减少,质量也在不断下降,在重大项目的研究上,核农学的影响力度在减弱。但也应从中看到积极的因素,过去国家及省都有核农学研究的专项基金,后来没有了,核农学的研究渗透到了相关的研究领域。说明核农学已是一项比较成熟的技术,与相关研究领域结合得更加紧密了。

3. 核农学的主要研究内容 核农学就其功能而言,其研究的内容可分为核素示踪技术和核辐射技术两部分。

(1) 核素示踪技术(nuclide tracer technique)。核素示踪技术利用了核素的核特性,即放射性核衰变和稳定性核质量差异作为信息表达,通过核物理仪器仪表的探测和核化学分析以获取信息,从而阐明自然界宏观与微观的物质运动和变化规律,揭示农业科学和农业生产中的奥秘。通常称核素示踪技术在农业中的应用为狭义的核农学(nuclear agronomy),主要包括核素示踪学和示踪动力学等。其应用范围主要有以下几个方面:

①在土壤科学研究中的应用:核素技术能区分植物吸收养分的来源,不仅能把植物从肥料中与土壤中吸收的养分区分开,同时还能了解养分被植物吸收后在植株内运转的状况,以及未被吸收的肥料(或其分解物)在土壤中残留的动态。

②在植物科学研究中的应用:核素已成为研究植物对各种养分和非养分的吸收、运转、同化和代谢等过程以及与生态环境相互作用机理的重要手段。核

素示踪技术可以深入到细胞、亚细胞以至分子水平,研究植物对光合作用中二氧化碳同化的途径,作物生产过程中物质吸收、同化、运转和积累的规律,光照和生长调节剂对植物营养物质运转与调控,营养物质的产生、输送与分配,以及作物根系与抗性、植物激素的作用与机理、植物病理诊断等。

③在动物科学研究中的应用:示踪技术在动物科学研究中的应用主要有两个方面:一是营养方面,应用示踪技术研究营养物质在畜禽体内吸收、分布、转移、代谢与排出的动态过程;了解、掌握畜禽营养规律,评价饲料的消化率及代谢能量变化,鉴定新的饲料资源,制定出经济有效的饲料配方等。二是生殖方面,应用放射免疫分析技术,判断已怀孕的和未怀孕的母畜,识别具有高生产力的种畜,以及诊断家畜的肾脏功能性和甲状腺功能性疾病,对提高家畜繁殖力与疾病防治起到积极作用。

④在农业环境研究中的应用:工矿企业“三废”的大量排放和农业上农药、化肥的超量使用使农业环境受到不同程度的污染。而农业环境质量的好坏,又直接关系到农、畜、水产品的产量和质量以及农业资源的利用。利用示踪技术可探明一体化环境各个生态系中,农用化学物质施用后在环境中植物中的运转、分布的变化规律,以及对人、畜可能造成的危害等。

⑤在农业机械研究中的应用:可以利用放射性指示剂研究零件的磨损情况,研究作物在脱离分离部件中的运动参数,研究作物在联合收割机部件上的运动状态,观测烘干机内质点的运动参数等。

⑥在分子检测研究中的应用:核素示踪技术为研究生物体由简单物质到复杂的生理生化过程提供最灵敏、最直观又最为简便的方法。在现代生物技术中,DNA的分离、重组、扩增、转移、表达、检测等是基因工程技术的关键,利用同位素标记物可以探明DNA活动的全过程,从而认识生命过程的本质及其细微变化,

(2)核辐射技术(nuclear radiation technique)。利用核辐射与物质相互作用所产生的物理学、化学和生物学效应,对生命物质进行改造,创造生物新品种(种质),刺激生物增产,杀虫灭菌,利用和保护自然资源等。通常称核辐射技术在农业中的应用为辐射农学或者放射农学。其在农业中的应用十分广泛,主要应用在以下几个方面:

①辐射作物改良或诱变育种:辐射作物改良和辐射育种即通过核辐射技术诱发植物产生变异,提高诱发突变频率,并从产生的各种各样的变异中筛选出有利用价值的突变体,直接或间接培育出高产、优质、抗病、抗逆、抗倒、早熟等优质突变新品种。辐射诱变技术与传统的杂交、杂种优势技术相结合,可以收到优势互补的效果,加之近年来生物技术的迅速发展,辐射诱变技术进一

步与植物育种新技术相结合,取得了较好成果。

②辐射不育防治虫害:昆虫辐射不育是现代生物防治技术中唯一有可能达到灭绝害虫的有效手段,它是利用一定剂量的射线辐照害虫某一形态(卵或蛹),使其亲代不育或半不育,然后将经辐照的不育虫释放到此种害虫危害的区域,让它与自然界同一种害虫进行交尾,但产下的卵不能正常孵化,从而降低害虫数量,达到灭绝害虫的目的。该技术具有灭虫彻底、无公害的特点,也是一种不可替代的杀虫手段。

③辐照保鲜与加工:辐照保鲜加工技术是指应用适宜的射线剂量,对农副产品进行加工,以达到杀虫、灭菌、防霉、防止发芽的效果,达到延长农副产品贮存期和货架寿命的目的,减少产品损失。这一方法还特别适用于一些不宜采用传统方法加工的食品,一些特别需要彻底灭菌的食品。同时辐照还可以改进产品性质,如辐照可使食用明胶黏度下降,可加速酒类陈化速度等。

④低剂量刺激生长:一定剂量的辐照可以促进生长发育、提高产量,我国曾先后对植物种子、蚕和鱼虾的卵进行辐照,在加速生长、促进早熟、增强抗病和抗逆能力、提高产量和改进品质等方面成效显著。运用这一特点,在同样的栽培和饲养管理条件下,不需增加措施,便能达到农副产品增产和改善品质的目的。

二、核农学的意义和特点

1. 核农学的地位与作用

(1) 核农学在中国国民经济中的地位与作用。半个世纪以来,核素与核辐射技术在农业、工业、医学和科学技术研究中的应用日益显示出它是解放生产力、推动社会进步的强大驱动力,为合理利用自然资源、推动社会经济发展、改善人民生活质量以及保护人类生存环境等方面做出了重大贡献,经济效益与社会效益十分显著。核农学自产生以来取得的成绩是重大的,对我国国民经济产生了重大的影响。随着生产力的发展和科学技术的不断进步,核农学成为与现代电子学和信息技术一样最具影响的现代科学技术,是当代科学技术的重要组成部分,是社会现代化的重要标志之一。

中国核农学技术已初步形成具有一定规模和水平的较为完整的体系,其产业规模达到年产值近10亿元,其中辐射加工年产值已超过5亿元;核素仪器仪表的研制年产值约为3.5亿元;核素及其制品的年产值已达1亿元。

(2) 核农学在中国农业发展中的地位与作用。近半个世纪以来,我国核农学在促进农业发展中取得的成绩是重大的。利用辐射改良植物遗传特性,培育