



# 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 农 学

● 陈子元 主编

● 生物物理学(农)专业用

中国农业出版社



主 编 陈子元 (浙江农业大学)  
副主编 高明尉 (浙江农业大学)  
谢学民 (浙江农业大学)  
编 者 (以姓氏笔画为序)  
王寿祥 (浙江农业大学)  
孙锦荷 (浙江农业大学)  
沈毓渭 (浙江农业大学)  
吴美文 (浙江农业大学)  
陈子元 (浙江农业大学)  
张国权 (浙江省嵊县科学技术委员会)  
张勤争 (浙江农业大学)  
周其昌 (浙江省农业科学院)  
赵玉芳 (浙江农业大学)  
夏大荣 (浙江省农业科学院)  
徐步进 (浙江农业大学)  
徐寅良 (浙江农业大学)  
凌备备 (浙江农业大学)  
高明尉 (浙江农业大学)  
谢学民 (浙江农业大学)  
主 审 王福钧 (北京农业大学)  
毛炎磨 (北京农业大学)

## 前 言

原子核科学技术(简称核技术)为当代高新技术之一,它对世界政治、社会、经济和科学产生了巨大的影响。核技术在农业上的应用,已取得了极其显著的经济效益和社会效益,这是农业现代化的重要标志之一。近半个世纪来,由于核技术与农业科学之间的相互渗透与结合,已逐步形成了一门新兴的交叉学科——核农学。

根据我国生物物理学(农)专业硕士学位研究生培养方案,《核农学》已列为“学位课程”。我们受农业部委托编写《核农学》,作为研究生教学参考书。本书由陈子元院士任主编,高明尉教授、谢学民教授任副主编,各章节分别由下列教授、副教授撰写:陈子元(绪论),王寿祥(第一章、第十五章第四、六节),孙锦荷(第二章、第十章第一节、第十五章第二、三节),凌备备、赵玉芳(第三章、第十六章),徐步进(第四章、第六章、第十章第三、四节),徐寅良(第五章、第十五章第一、五节),周其昌(第七章、第十八章),吴美文(第八章、第十章第二节,第十四章第二节),张勤争(第九章、第十一章、第十二章),谢学民(第十三章、第十四章第一、三节),沈毓渭、高明尉(第十七章),夏大荣(第十九章),张国权(第二十章)。

本书在编写过程中得到徐冠仁院士的指导和支持;承毛炎麟教授、王福钧教授审阅了全书,并提出了宝贵意见;对上述三位及本书所引用资料的作者,我们表示衷心的感谢。

鉴于核农学是门新兴的交叉学科,其内容还在不断发展和完善之中;学科本身的发展甚为迅速,新技术与新方法不断涌现,新的成果层出不穷;在编写过程中我们力求结合实际,反映核农学的发展水平,又要符合教学参考书的要求,但由于本书由多人执笔撰写,难免有衔接不妥和遗漏之处,敬请读者予以批评指正。

编 者

1995年9月

## 内 容 简 介

本书除绪论外分为三篇：第一篇为基础篇，着重介绍核农学的基础知识与基本原理，包括基础原子核物理学；基础放射化学与辐射化学；基础放射生物学；同位素示踪法原理及示踪动力学基础；辐射剂量与放射性防护共五章。第二篇为技术篇，着重介绍核农学的基本技术与方法，其中包括同位素示踪技术；核辐射源的装置及辐照技术；放射性测量技术；放射自显影技术；放射分析技术；稳定性核素的测量技术共六章。第三篇为核农学的应用篇，上篇为示踪技术应用，包括在土壤科学、植物科学、动物科学、环境科学与分子生物学中的应用共五章；下篇为核辐射应用，包括辐射诱变育种、农副产品辐射保藏与加工、昆虫辐射不育与核辐射在其它有关领域中应用共四章。

本书可作为高等农林水院校有关专业研究生的教学参考书，也可作为核技术在农业、林业、水产及生物学中应用的教学、科研及其它科技人员的参考用书。

## 目 录

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 绪论.....                 | 1 |
| 第一节 核农学的基本任务与研究对象 ..... | 1 |
| 第二节 核农学的形成与发展 .....     | 5 |
| 第三节 核农学的作用与展望 .....     | 8 |

## 基 础 篇

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一章 基础原子核物理学 .....            | 15  |
| 第一节 原子核的基本性质 .....            | 15  |
| 第二节 放射性衰变 .....               | 17  |
| 第三节 射线与物质的相互作用 .....          | 25  |
| 第二章 基础放射化学和辐射化学 .....         | 34  |
| 第一节 放射化学的特点及操作规则 .....        | 34  |
| 第二节 放射性物质在微量和低浓度时的状态和行为 ..... | 36  |
| 第三节 核素及其标记化合物的制备 .....        | 43  |
| 第四节 放射性物质的分离方法 .....          | 52  |
| 第五节 基础辐射化学 .....              | 59  |
| 第三章 基础放射生物学 .....             | 65  |
| 第一节 生命系统、辐射与剂量响应 .....        | 65  |
| 第二节 定量放射生物学 .....             | 70  |
| 第三节 直接作用与间接作用 .....           | 76  |
| 第四节 核酸的辐射化学 .....             | 83  |
| 第五节 损伤DNA的修复 .....            | 86  |
| 第六节 电离辐射对细胞的作用 .....          | 89  |
| 第四章 同位素示踪法原理及示踪动力学基础 .....    | 95  |
| 第一节 同位素示踪法的基本依据 .....         | 95  |
| 第二节 同位素示踪法的主要特点 .....         | 96  |
| 第三节 核农学中示踪法的应用类型 .....        | 98  |
| 第四节 示踪动力学基础 .....             | 98  |
| 第五节 库室系统动力学方程 .....           | 109 |
| 第五章 辐射剂量与放射性防护 .....          | 133 |
| 第一节 辐射量及其单位 .....             | 133 |
| 第二节 辐射防护标准 .....              | 137 |
| 第三节 不同辐射的防护 .....             | 143 |
| 第四节 辐射剂量的测量 .....             | 148 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第五节 放射性表面污染的去除与放射性废物的处理 | 153 |
|-------------------------|-----|

## 技 术 篇

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 同位素示踪技术                 | 159 |
| 第一节 同位素示踪试验工作程序             | 159 |
| 第二节 放射性同位素示踪试验设计            | 160 |
| 第三节 稳定性核素示踪试验设计             | 164 |
| 第四节 同位素示踪试验的实施              | 166 |
| 第七章 辐射源装置及辐射技术              | 180 |
| 第一节 $\gamma$ 射线源的特性与结构      | 180 |
| 第二节 辐照装置的基本结构               | 182 |
| 第三节 $\gamma$ 源的倒装与升降控制      | 188 |
| 第四节 $\gamma$ 罐与移动式辐照装置      | 190 |
| 第五节 电子加速器、中子源与X射线机          | 194 |
| 第六节 辐照技术                    | 198 |
| 第八章 放射性测量技术                 | 201 |
| 第一节 射线探测器                   | 201 |
| 第二节 放射性测量的核子仪器              | 207 |
| 第三节 放射性测量                   | 215 |
| 第四节 放射性测量的误差统计              | 229 |
| 第九章 放射自显影技术                 | 231 |
| 第一节 放射自显影的发展简史和基本类型         | 231 |
| 第二节 放射自显影的照相过程              | 233 |
| 第三节 放射自显影的示踪核素和标记剂量         | 238 |
| 第四节 放射自显影的制作                | 239 |
| 第五节 放射自显影的本底、分辨力和效率         | 245 |
| 第六节 放射自显影的观察与分析             | 249 |
| 第七节 双标记和径迹放射自显影             | 251 |
| 第十章 放射分析技术                  | 254 |
| 第一节 同位素稀释法                  | 254 |
| 第二节 放射免疫分析及其相关的技术           | 259 |
| 第三节 活化分析技术                  | 275 |
| 第四节 可活化示踪技术                 | 287 |
| 第十一章 稳定性核素的测量技术             | 290 |
| 第一节 稳定性核素检测的基本原理            | 290 |
| 第二节 $^{15}\text{N}$ 分析样品的制备 | 293 |
| 第三节 $^{15}\text{N}$ 丰度的质谱分析 | 296 |
| 第四节 $^{15}\text{N}$ 丰度的光谱分析 | 302 |
| 第五节 其他稳定性核素的测定              | 305 |

## 应 用 篇

### 上篇 示踪技术应用

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 第十二章 | 示踪技术在土壤科学中的应用          | 311 |
| 第一节  | 应用概况                   | 311 |
| 第二节  | 土壤养分研究                 | 312 |
| 第三节  | 土壤有效养分的同位素测定           | 315 |
| 第四节  | 肥料利用率和肥料有效性示踪研究        | 319 |
| 第五节  | $^{15}\text{N}$ 测定生物固氮 | 323 |
| 第六节  | 土壤养分转化研究               | 327 |
| 第七节  | 土壤有机质和微生物活性研究          | 330 |
| 第十三章 | 示踪技术在植物科学中的应用          | 334 |
| 第一节  | 植物生理与生化的研究             | 334 |
| 第二节  | 作物遗传育种的研究              | 349 |
| 第三节  | 植物病理学的研究               | 364 |
| 第十四章 | 示踪技术在动物科学中的应用          | 371 |
| 第一节  | 农业昆虫学中的应用              | 371 |
| 第二节  | 畜禽科学中的应用               | 376 |
| 第三节  | 水产科学中的应用               | 394 |
| 第十五章 | 示踪技术在农业环境科学中的应用        | 406 |
| 第一节  | 应用特点和研究程序              | 406 |
| 第二节  | 污染物在土壤中行为的研究           | 408 |
| 第三节  | 污染物在水体中行为的研究           | 415 |
| 第四节  | 污染物在大气中行为的研究           | 420 |
| 第五节  | 污染物在生物体内行为的研究          | 424 |
| 第六节  | 污染物在农业生态系中归趋的研究        | 435 |
| 第十六章 | 示踪技术在分子生物学中的应用         | 445 |
| 第一节  | 分子生物学与示踪技术             | 445 |
| 第二节  | 核酸和蛋白质的标记              | 448 |
| 第三节  | 在DNA核苷酸序列分析中的应用        | 461 |
| 第四节  | 在核酸分子杂交研究中的应用          | 465 |

### 下篇 核辐射应用

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 第十七章 | 辐射诱变育种             | 475 |
| 第一节  | 辐射诱变育种的成就、特点和利用方式  | 475 |
| 第二节  | 辐射诱变方法             | 478 |
| 第三节  | 有性繁殖作物的诱变育种程序和选择方法 | 487 |
| 第四节  | 无性繁殖作物的诱变育种程序和选择方法 | 491 |
| 第五节  | 诱变育种展望             | 494 |
| 第十八章 | 辐射保藏与加工            | 497 |

|             |                         |            |
|-------------|-------------------------|------------|
| 第一节         | 辐射保藏的优点与发展简况 .....      | 497        |
| 第二节         | 辐射保藏加工的应用 .....         | 500        |
| 第三节         | 辐照食品的卫生安全性 .....        | 513        |
| <b>第十九章</b> | <b>昆虫辐射不育 .....</b>     | <b>519</b> |
| 第一节         | 昆虫辐射不育技术的建立与发展 .....    | 519        |
| 第二节         | 昆虫辐射不育的基本原理和理论模式 .....  | 522        |
| 第三节         | 各种不育性的生理学和细胞遗传学基础 ..... | 525        |
| 第四节         | 辐射不育防治害虫的特点和基本条件 .....  | 528        |
| 第五节         | 辐射诱导昆虫不育的技术和方法 .....    | 530        |
| 第六节         | 昆虫人工大量饲养 .....          | 533        |
| 第七节         | 不育昆虫的释放技术 .....         | 537        |
| 第八节         | 鳞翅目昆虫辐射遗传不育技术 .....     | 541        |
| <b>第二十章</b> | <b>核辐射的其他农业应用 .....</b> | <b>547</b> |
| 第一节         | 概况 .....                | 547        |
| 第二节         | 农用核检测仪表 .....           | 549        |
| 第三节         | 辐射在农业环境污染治理中的应用 .....   | 552        |
| 第四节         | 低剂量辐射刺激生物生长 .....       | 558        |



## 绪 论

从1896年贝克勒尔(A. H. Becquerel)发现天然放射性后,接着出现原子核结构模型的建立,同位素概念的提出,加速器和原子反应堆的成功运转,以及人工放射性的发现等,使原子核科学技术不仅作为一门基础科学和新技术迅速向前发展,而且首先在军事上获得应用,继而迅速地渗透到国民经济各个领域和部门中,并取得了显著的成果。原子核科学技术(简称核技术, Nuclear Technique),已成为当代最主要的高新技术之一,对世界政治、经济和科学产生了人们预料不到的巨大影响。

作为一项当代新技术的核技术在农业上的应用,它具有极其显著的经济和社会效益,是农业现代化的重要标志之一。近四十年来,由于核技术与农业科学之间的相互渗透与结合,已逐步形成了一门新兴的交叉学科——核农学(Nuclear Agriculture Sciences)。

### 第一节 核农学的基本任务与研究对象

#### 一、核农学的基本任务

由于世界人口迅速增加,对农产品的需求日益增长,如何依靠科学技术更快地发展农业,解决农产品的供给问题,已成为世界各国普遍关注的一个重要问题。在这一历史背景下,国际机构、各国政府和农业科学家都迫切要求应用包括核技术在内的一切新技术来有效地利用和保护地球上有限生物资源,满足人类日益增长的物质需要。利用核技术来解决有关农业科学问题的核农学诞生后,也就肩负起解决这个重大问题的艰巨任务。

从已往四十年的情况来看,核农学已逐步参与到农业生产的全过程:前期的农业资源调查、勘探和预测,生产过程中的栽培、养殖以及防治或抵御自然灾害的危害;产后的农产品加工利用和贮藏保鲜等。并且核农学还为农业的持续发展发挥了重要作用。今后,核农学将继续在以下几个主要方面作出贡献。

- (一) 培育出高产、优质、多抗和适应性强的动植物优良新品种。
- (二) 为提高土壤肥力,改善施肥、灌溉和栽培技术措施,提供科学依据。
- (三) 为控制病、虫、草害,降低化学农药的用量,提高防治效果,保护农业生态环境,提供决策。
- (四) 通过核辐射导致昆虫不育方法,大范围消灭害虫,确保农业稳产。
- (五) 利用核辐射灭菌方法减少农产品产后损失,改善品质,提高商品贮藏质量。
- (六) 提高畜禽和水生生物的产量和品质,减少疾病发生,增加繁殖率。
- (七) 调查勘测水资源、土壤资源等,以及监测与治理农业环境污染。

从核农学的学科涵义的角度上来说,它是一门研究核素、核辐射及有关核技术在农业科学研究与农业生产中的应用及其理论的科学。核农学以前曾用过“原子能农业应用”,

“核技术农业应用”，或“同位素农业应用”等名称，直到近年来才较多地采用了“核农学”这个名称。利用核农学的理论和应用技术来解决农业生物科学中的有关理论问题，以及核技术应用于农林牧副渔各业生产中所遇到的技术和方法问题，从而为提高农业技术水平，拓宽农业领域，发展农业生产，实现农业现代化作出贡献。

由于核农学是一门多学科交叉的综合性学科，所以它的研究内容不仅涉及到原子核科学和农业科学的理论知识和实际技能，而且涉及到其它许多学科，如数学、物理学、化学、生物学和电子学等各方面的有关基础知识和技术，从图0—1—1中，概括地反映了核农学的构成。

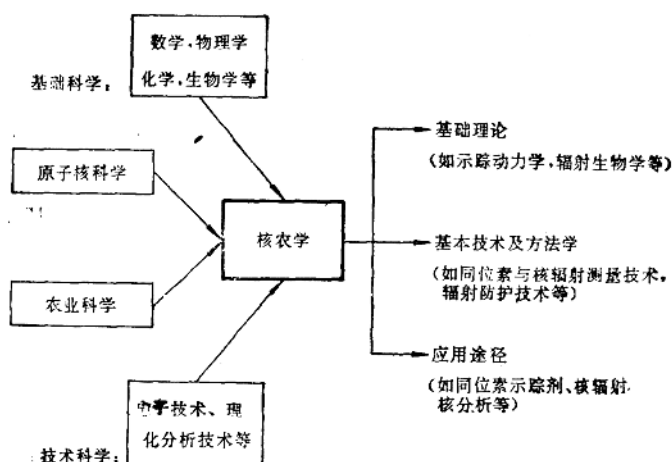


图 0—1—1 核农学的构成

## 二、核农学的研究对象

随着核技术和农业科学的不断发展、核农学的研究对象也不断扩大和深入。现在核技术农业应用已经遍及农业科学和农业生产中的许多领域，见图0—1—2。

(一) 核农学与核技术 迄今，人类发现的核素已达2000余种，其中近300种核素为稳定性核素，其余则是放射性核素。在这2000余种核素中，曾经在农业上应用或有开发前途的放射性核素约200余种以及稳定性核素10余种。但在农业科研和生产中较实用的核素仅为100种左右（表0—1—1）。

在表0—1—1中所列核素中，目前农业上最常用的约为20种，属放射性的有 $^3\text{H}$ ， $^{14}\text{C}$ ， $^{32}\text{P}$ ， $^{35}\text{S}$ ， $^{45}\text{Ca}$ ， $^{51}\text{Cr}$ ， $^{59}\text{Fe}$ ， $^{60}\text{Co}$ ， $^{64}\text{Cu}$ ， $^{65}\text{Zn}$ ， $^{82}\text{Br}$ ， $^{86}\text{Rh}$ ， $^{88}\text{Sr}$ ， $^{125}\text{I}$ ， $^{131}\text{I}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 等，属稳定性的有 $^1\text{H}$ ， $^{13}\text{C}$ ， $^{15}\text{N}$ 和 $^{18}\text{O}$ 等。

各种核素根据核农学中核技术应用的途径来分，主要是作为示踪原子和核辐射源二种。

1. 作为示踪剂中示踪原子的核素，主要是提供研究对象的科学信息。在核农学中较多

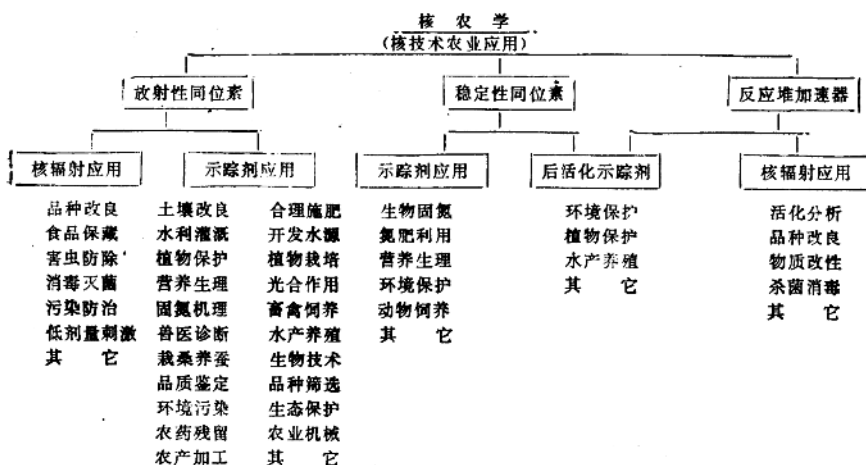


图 0—1—2 核农学的研究对象及其应用范围

表 0—1—1 核农学中应用的核素

| 种 类     | 核 素                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.人工放射性 | $^3\text{H}$ , $^{11}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ , $^{15}\text{N}$ , $^{18}\text{O}$ , $^{18}\text{F}$ , $^{22}\text{Na}$ , $^{24}\text{Na}$ , $^{24}\text{Mg}$ , $^{28}\text{Si}$ , $^{32}\text{P}$ , $^{33}\text{P}$ , $^{35}\text{S}$ , $^{36}\text{Cl}$ , $^{37}\text{Cl}$ , $^{42}\text{K}$ , $^{44}\text{K}$ , $^{45}\text{Ca}$ , $^{47}\text{Ca}$ , $^{48}\text{Sc}$ , $^{51}\text{V}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{52}\text{Mn}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{55}\text{Mn}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{62}\text{Ni}$ , $^{64}\text{Cu}$ , $^{67}\text{Zn}$ , $^{74}\text{As}$ , $^{76}\text{As}$ , $^{76}\text{Se}$ , $^{81}\text{Br}$ , $^{86}\text{Rb}$ , $^{88}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Y}$ , $^{90}\text{Zr}$ , $^{99}\text{Mo}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{111}\text{Ag}$ , $^{109}\text{Cl}$ , $^{115}\text{Cd}$ , $^{115}\text{In}$ , $^{115}\text{Sn}$ , $^{124}\text{Sb}$ , $^{125}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{140}\text{Ba}$ , $^{144}\text{Ce}$ , $^{140}\text{Ao}$ , $^{197}\text{Hg}$ , $^{203}\text{Hg}$ . |
| 2.天然放射性 | $^{14}\text{C}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{222}\text{Rn}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3.稳定性   | $^1\text{H}$ , $^{12}\text{C}$ , $^{15}\text{N}$ , $^{18}\text{O}$ , $^{32}\text{S}$ , $^{40}\text{Ca}$ , $^{52}\text{Cr}$ , $^{56}\text{Fe}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4.后活化元素 | In, Eu, Dy, Mn, La, Sm, W, Cu, Br, Na, Cl, Co, As                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

注：下方有“——”的为短寿命放射性核素

表 0—1—2 放射性核素示踪技术所提供科学信息的类型 (IAEA通报)

| 提供信息      | “是否型”<br>(证明两种物质流之间是否存在关联) |        |                  | “模拟型”<br>(确定两种物质流之间的定量关系) |              |                |
|-----------|----------------------------|--------|------------------|---------------------------|--------------|----------------|
|           |                            |        |                  |                           |              |                |
| 有无关联?     | +                          | +      | +                |                           |              | +              |
| 哪 里?      |                            | +      | +                |                           |              | +              |
| 多 大?      |                            |        | +                | +                         |              | -              |
| 何 时?      |                            |        |                  |                           | +            | +              |
| 时间相关性     | 无                          | 无      | 无                | 无                         | 有            | 有              |
| 放射性示踪测量方法 | 追踪测定                       | 放射性自显影 | 放射性自显影+<br>光密度测量 | 同位素稀释法                    | 动态测量<br>系统分析 | 测绘物质扩散<br>动态状况 |

表 0—1—3 核农学研究中应用核素示踪技术的主要学科

| 同位素示踪的类别 | 应 用 学 科                                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 人工放射性示踪  | 土壤学、植物营养及施肥、生物化学、生理学、植物遗传及育种、植物栽培学、农业昆虫学、植物病理学、茶学、蚕桑学、畜牧学、水产学、林业、农产品加工学、农业生态学、农业环保学、农业机械学、生物技术等 |
| 天然放射性示踪  | 地质学、环境科学、水文学、年代测定（农业动植物化石及农具）考古土壤学                                                              |
| 稳定性示踪    | 植物生理学、动物营养学、生物化学、分子生物学、农业生态学、农业环境学                                                              |
| 后活化示踪    | 环境科学、渔业海洋、植物保护学、特定元素及微量元素分析                                                                     |

的是放射性核素示踪技术。其技术功能及应用学科，见表0—1—2及表0—1—3。

2. 作为辐射源的核素，主要是利用其射线对物质产生的物理效应、化学效应及生物效应。核辐照技术在核农学中主要应用在以下一些领域（表 0—1—4）。

表0—1—4 核农学中应用核辐照技术的主要领域  
(单位: Gy)

|                                      |        |                                             |
|--------------------------------------|--------|---------------------------------------------|
| 核<br>辐<br>射<br>的<br>吸<br>收<br>剂<br>量 | 100    | 食品保鲜、抑制发芽<br>昆虫不育<br>动植物诱变育种(家蚕、粮、棉、油、果、蔬等) |
|                                      |        | 给水处理<br>食品及农副产品杀虫处理                         |
|                                      | 1000   | 食品及农副产品灭菌处理<br>污泥杀菌、堆肥化处理<br>废水处理<br>酶固定化处理 |
|                                      | 10000  | 兽药灭菌处理<br>无菌饲料<br>木材涂膜固化                    |
|                                      | 100000 | 农用高分子物品处理<br>(离子交换膜、橡胶加硫、塑料改性等)             |

(二) 核农学与可持续农业 (Sustainable Agriculture) 科学技术的进步对促进生产发展起着决定性的作用，而科学与技术之间又相互依赖和相互促进。核技术在农业上应用所形成的核农学，同样对农业科学和农业生产的发展有着巨大的影响。时今，核农学已

成为现代农业科学体系中一个重要组成部分和分支学科，也是推动和发展“高产、高效、优质”（“两高一优”）农业的新技术之一。核农学的研究不仅使许多在农业科学中长期得不到解决的理论问题得到解决或澄清（例如，对植物的光合作用和固氮作用的反应机理等），而且还推动农业生物科学与技术的快速发展（例如生物体中染色体的原位杂交技术，细胞工程中的离体诱变技术和 $\gamma$ 融合技术，以及基因工程中的探针技术）。核农学这门新学科的理论、方法和技术有助于传统农业的技术改造，加速农业生产中新技术革命的进程，对推动农业现代化具有显著的现实意义和巨大的潜在力量。

在农业生产迅速发展的过程中，人们要求既能满足现有的需要，又能满足今后长期持久需要的农业生产体系。也就是说人们要求发展的现代化农业不仅是“两高一优”的农业，而且是不破坏农业生态环境，能保持良性循环和持续发展的农业——“持续农业”只有发展持续农业才有可能在有限的土地和自然资源情况下，使农业经济得到不断的增长。在发展持续农业中，核农学所起的作用是多方面的和巨大的。特别是在消除和减轻农业地区中各种生态环境不利因素对持续农业所发生的消极影响，以及在资源和能源消费量较高地区中对人们生活环境质量所产生的有害因素。核农学具有独特的功能，在解决发展持续农业中所遇到的生态环境方面问题中提供了有效的方法和技术。例如：

1. 监测和评价农业环境污染的技术。这些技术包括核农学中核分析技术和核监测技术；食品和农业环境中有害化学物质（如农药、重金属等）残留物的检测；借助降水中同位素比率研究气候的技术等。

2. 消除或减轻农产品产量和品质受环境不利因子影响的技术。这些技术包括用于防治害虫的辐射昆虫不育技术；研究农作物与树木固氮能力；优化施肥方法，减少有害的残留物；利用核素示踪剂研究有机或无机养分在农业环境中的流向；以及用于改进水分灌溉和管理方法的核技术。

3. 核技术在环境和生物资源的开发和利用方面的应用。这些技术包括利用同位素研究水的资源和流动情况；利用辐射诱变技术获得对恶劣环境具有抗性、耐性（抗旱、抗寒、耐盐碱、耐酸等）的优良新品种。

以上介绍的仅仅是核技术对发展持续农业中能作出贡献的一个侧面，从这里已经反映出核农学与持续农业发展间的密切关系，详细内容将在核农学应用篇中各有关章节予以介绍。

## 第二节 核农学的形成与发展

### 一、核农学的形成

自然科学中一门新兴学科的形成和产生，与它的科技发展历史背景和对经济、社会发展的作用有着密切联系。核农学的形成是核技术农业应用众多研究成果的不断积累，应用范围的不断扩大，学科体系不断完善和充实的必然趋势，也是原子能农业应用发展的必然结果。

（一）核技术农业应用科研工作的巨大成就为核农学学科的形成奠定了坚实基础 从50年代以来，随着核技术农业应用研究工作的不断扩大和深入，逐步形成了应有的工作规

模和研究体系，并且已取得了显著的科研成果，积累了丰富的实践经验。同时也从许多基础理论研究、方法学和应用技术研究，以及应用基础研究中摸索出一些规律性内容，逐步形成一个具有独特内容的新的学科体系。

核农学有核物理学、核化学、放射化学、辐射化学、放射生物学等学科的有关内容和在发展中形成的示踪动力学、辐射遗传学等新学科作为它的理论基础。又有放射性检测技术、稳定性核素检测技术、放射性防护技术，以及特有的核素示踪技术和辐照技术等作为它的技术体系和方法学内容。因此，核农学的应用领域和范围也越来越广泛，越来越深入，几乎渗透到农业科学的整个领域。甚至有的象农产品辐照加工技术由于它的技术的成熟性和明显的经济、社会效益，已逐步形成了具有相当规模和产值的新兴产业（如经营食品的贮藏保鲜、农副产品的消毒、灭虫和品质改良等）。核农学为这些产业或行业的形成和发展提供了科学基础和技术保证，反过来，这些产业和行业的建立和发展也促进了核农学这门新兴学科的成熟和发展。

## （二）核技术农业应用完善的科研和教育体系为核农学学科的形成创造了学术条件

自从1957年中国农业科学研究院建立起我国第一个原子能农业应用研究的专业实验室后（1960年建成研究所）。接着全国许多省、自治区、直辖市的农业科学研究院（所）和高等农业院校也相继成立专业机构开展原子能在农业上应用的科研工作。部分高校还建立系（专业）来培养原子能农业应用的高级科技人才。

1. 科学研究方面 核技术的农业应用研究工作从几个建立实验室较早的地区和单位开始，逐步向全国扩展。目前已在全国29个省、自治区、直辖市不同范围开展了核农学的研究工作。从研究领域来看，最初的研究工作较多地集中在作物的辐射诱变育种，作物的辐射低剂量刺激，同位素示踪技术在土壤肥料、栽培生理和植物保护方面，以后逐步扩大到其它领域，另外也从应用研究深入到应用基础研究，一些有条件单位也开展了核农学方法学和基础理论研究。为了推动全国核农学科研工作的开展，国家科委、农业部 and 有关部门多次下达了重点科研项目，组织全国性或地区性的科研协作组，如“全国植物辐射遗传育种研究”协作组，“全国农药安全使用标准研究”协作组，“全国氮肥增效剂的肥效和残留研究”协作组，“新农用标记化合物研究和同位素示踪技术研究”协作组等等，形成了一个有特色、有成效的全国性或地区性的协作研究网络和体系。促进了核农学科研水平的提高，加快了科研进程。

2. 人才培养方面 核农学对其它农业传统学科来说，是一门年轻的新兴学科，因此它的科技力量相对比较薄弱，但是我国从1957年一开展原子能农业应用研究起，就非常重视专业科技人才的培养。当时中国农业科学研究院原子能利用研究室在徐冠仁院士的领导下就连续举办了多期“同位素与辐射应用培训班”，为全国各省农业科研单位和高等院校培训了400多名的专业科技骨干。与此同时，中国科学院有关研究所也多次举办了原子能利用的培训班，一些从其它农业学科中挑选出来的青年科技人员，通过短期的原子核科学知识和核技术应用技能的培训，基本掌握了核技术农业应用的知识 and 技能，为我国早期建立核农学科技队伍创造了条件。

60年代初，全国在“技术革命、技术革新”的号召推动下，部分省、市的高等农业院校建立起相应的专业和课程，名称不一，有称“农业物理”、“农业生物物理”、“原子能农

业应用”、或“同位素农业应用”等，为培养正规学历的核农学高级科技人才建立了基地。在60年代中，尤其是“文化大革命”后，专业停办，课程停开，一直到1978年以后，才有部分学校恢复了开课，个别学校还恢复了专业。1981年以后，国家还建立了研究生教育，以培养更高层次的核农学科技人才。目前，全国设有生物物理（农）专业（核农学研究方面）硕士学位授予权的单位有中国农业科学院、北京农业大学、浙江农业大学、南京农业大学、扬州大学农学院、吉林农业大学、华南农业大学和四川农业大学等，设有博士学位授予权的单位为中国农业科学院和浙江农业大学，浙江农业大学还设有该专业的博士后流动站。

（三）核技术农业应用研究内容的急剧增加促使了社会承认对核农学学科的 近四十年来，我国核技术农业应用研究和基础研究大量的、系统的研究内容，积累了丰富的科学资料。技术的进步，科学的发展，必然导致科技文献的急剧增加。同时，这个科技领域中文献的增长，也必然会加速该领域中学科的形成和发展。中国农业科学院原子能利用研究所科技情报研究室于1986年起，对我国核农学科技文献进行了年度普查，结果表明我国刊载核农学文献的出版物达二百余种。年报道量平均650余篇，分别相当于世界总数的20%和10%，这说明我国的核农学研究工作已具有相当规模，并受到全社会科技界的注意和重视。尤其是我国核农学专门刊物《核农学报》和《核农学通报》的出版，更是我国核农学学科发展的一个新的标志。

为了适应核农学的学术交流和教育普及的需要，于1979年3月成立了“中国原子能农学会”，下设辐射诱变育种、同位素标记与示踪技术应用、辐射应用与辐射加工、核农仪器仪表与测试等4个专业委员会。开展国内外学术交流，科学普及，宣传教育，以及咨询服务等活动。并在国内开展核农学研究单位较多，工作有基础的省、自治区、直辖市，先后成立了地方分会或核农学专业组。目前，中国原子能农学会已有19个团体会员和700多名个人会员，如果加上省级学会的个人会员，总数将达2000多人。形成一个相对独立的，具有学科特色的学术团体，为促进核农学的学科建设和发展发挥了积极作用。

## 二、核农学的发展

中国核农学事业的发展，经历了一条曲折的道路，从1956年在农业上开始应用核技术算起，至今将近40年。四十年来，我国核技术的农业应用事业，从无到有，从小到大，并向纵深发展，目前已逐步形成一门综合性较强的新兴学科——核农学。回顾核农学四十年来的发展历程，大体上分成三个阶段。

（一）第一阶段（1956—1966年） 这十年是我国核农学的萌芽时期。1956年我国制订了第一个12年科学发展规划，将原子能和平利用列为五大重点发展项目之一。1957年在中国农业科学院建立了我国第一个原子能农业应用的专业研究机构。此后，各省、自治区、直辖市也相继建立了原子能农业应用的专业研究机构或部门，为我国广泛开展核技术农业应用研究创造了条件。1960年起，部分高等农业院校在开展核技术农业应用科研工作的基础上，设立了以核技术农业应用为主要方向的农业生物物理专业，或者开设了有关核技术农业应用的课程。逐年培养了一批能掌握现代核技术农业应用技能的科技人才。在1960年，国家科委等还召开了“第一届全国原子能农业利用研究工作会议”制订了研究发展规划，

以推动核技术农业应用研究工作的发展。接着,1964年又召开了“第二届全国同位素与辐射在农业及生物学中应用学术会议”总结经验,交流成果进一步推动核技术农业应用的广泛开展。在这一时期里,主要是创建机构,培训人员,组织科技队伍,开展探索性研究和一般试验,积累经验。

(二) 第二阶段(1967—1977年) 这十年是我国核农学发展的停滞时期。在“文化大革命”期间,我国核农学事业遭到了严重的破坏和干扰,发展停滞。大部分单位实验室关闭,研究工作中断,教学工作停顿,专业人员流散,仅仅极少数单位和一部分科研项目,如辐射诱变育种,农药残留和安全使用标准及放射生态学等方面研究,因国家迫切需要,在极端困难的环境和条件下坚持下来。就是在这样的困境下,1972年5月和1975年1月还是先后召开了二次全国原子能农业应用工作会议,这对当时全国核技术农业应用科技工作者是一个极大的支持和鼓舞。总的说来,“文化大革命”时期,我国核农学的发展是处于停顿状态。由于核技术自身的生产和科研上应用价值,个别单位在逆境中仍取得一定的进展。但这已使我国核技术农业应用的研究水平与国外发达国家的差距拉大了。

(三) 第三阶段(1978年至今) 这段时间是我国核农学事业的成长时期,通过政治上的拨乱反正,科学春天的到来,中国科技事业得到了新生。在这期间,国家科委制订了《1978—1985年全国科学技术发展规划纲要(草案)》,将同位素与射线技术应用研究列入108项重点项目之中。加速了我国核技术农业应用科研工作的复苏。许多单位重建实验室,重建科技队伍,恢复科研和教学工作。1979年3月在杭州成立了中国原子能农学会,团结全国广大核农学科技工作者,共同为复兴中国核农学事业作出积极的努力。随着国家的改革开放,国民经济的迅速发展,为我国核农学的成长开辟了广阔的道路。面向经济建设,为农业生产和农业科学的发展作出了积极的贡献,取得了显著的经济效益和社会效益,受到国家和社会的重视与支持。同时随着对外开放政策的实施,我国核技术农业应用研究加强了国际间的学术交流和合作研究,逐步缩小了我国与世界先进国家间的差距,并且在不少的领域里进入国际先进行列,受到了国际组织和国外同行专家的赞赏。

科学技术日新月异,农业生产和农业科学中新的问题不断产生,核农学必须不断发展,不断前进,适应新形势的需要,更好地承担起历史赋予的使命。

### 第三节 核农学的作用与展望

核农学虽然是一门形成不久的新兴学科,但它对科技、经济和社会发展的作用已不能低估,随着核农学的不断成熟,核技术的不断发展,必将对科技进步和经济发展产生更大的影响。

#### 一、核农学的作用

“科学技术是第一生产力”。一项新兴的科学技术的产生,必将对经济发展注入无比的活力,加速生产率的提高。同时,科学技术也是探索未知,发现新事物,推动科学前进,建立新观念、新理论的有力工具。

(一) 核农学推动农业现代化的进展 “农业是国民经济的基础”,农业的现代化直接



与科技的进步、经济的繁荣、社会的发展，以至国家的兴旺有着密切关系，但由于农业生产是一项极为复杂的系统工程，它的发展受到许多自然科学和社会科学因素的影响和制约。因此，实现农业现代化是一项极为艰巨的长期的任务。其中包含了许多重大的研究课题。例如：

1. 如何对农业自然资源进行合理开发和利用？
  2. 如何合理灌溉和科学施肥，保持土壤高肥力和作物的高产量？
  3. 如何对农村和农业（包括农、林、渔、牧等）的生态环境加以妥善保护，使农业生产始终处于良性循环？
  4. 如何能使“两高一优”农业得到持续发展，以满足对农产品日益增长的需要？
  5. 如何对农产品的副产品和废弃物进行综合利用，提高经济效益与社会效益？
  6. 如何提高农业的综合生产能力和农业劳动生产率，发展适应商品经济的高效农业？
- 等等。

要解决以上这些重大问题，必须以科学技术为先导，特别是要依靠现代高新技术的应用。具有高新技术特征的核农学就是实现农业现代化的重要手段之一。

据不完全统计，从1958年至1988年这30年间，全国在核农学方面总共获得科研成果628项，其中属于国家发明一等奖3项，国家发明二等奖2项，其它国家省、部级奖340项。发表的科技论文总共2653篇，仅“六五”期间就达1061篇。以下仅就核农学应用中主要八个方面科研工作作用，作简略介绍。

1. 植物辐射诱变培育优良品种 我国利用辐射和辐射与其它方法结合已在37种植物上培育出408个农作物新品种，占全世界诱变育成新品种总数的1/4。在推广面积方面已超过 $9 \times 10^6$ ha，占世界首位。每年可增产粮食 $4 \times 10^8$ kg，棉花 $2 \times 10^8$ kg。例如，水稻原丰早，棉花鲁棉1号和大豆铁丰-18等诱变新品种均先后获得国家发明一等奖。同时，还获得了大量有利用价值的高产、早熟、矮秆、抗病、抗逆、优质或其它特异性状的优异突变体，为植物育种提供了大量遗传资源。对辐射诱变育种的方法、技术、机理及其遗传学应用基础研究也取得了较大的进展。近年来，还创建了用诱变技术结合作物离体培养技术的离体诱变育种体系，已育成一个核组8号小麦新品种。此外，还对无性繁殖植物、药用植物，花卉、果树等植物进行辐射诱变处理。另外，在提高诱变频率和扩大突变谱以及选择效率为中心的育种技术改良方面也取得了重要的进展。

2. 低剂量辐射刺激生物生长和发育 我国利用中子和 $\gamma$ 射线低剂量辐射处理柞蚕和家蚕的卵，提高柞蚕和家蚕的产蚕率，增加蚕丝长度。还利用低剂量射线辐照淡水鱼和对虾卵，加速孵化进程和提高产量。此项技术已逐步进入实用化阶段，但其机理尚需研究。

3. 辐射昆虫不育，防除害虫 采用辐射昆虫不育技术防除重要害虫，在国外已取得明显成效，且已大范围应用。我国在60年代初也就开始此项研究，先后对松毛虫、棉红铃虫、水稻三化螟、玉米螟、蚕蛆蝇、小菜蛾、甘蔗黄螟、油茶尺蠖、与贮粮中的印度谷蛾等害虫进行了不同程度的研究，有的已解决了大量饲养和释放技术，有的已完成了中试，估计不久有可能开展大面积的防治工作。

4. 农产品辐照用于食品贮藏保鲜和品质改良 目前，世界上已有37个国家批准了近百种辐照食品在市场销售。我国于1958年起就开展了以辐照粮食为主的试验研究，目前在这