



全国“星火计划”丛书

顾德法 编著

原子能出版社

放射性射线在农林业中的应用

(农林业应用核技术系列书之一)

全国“星火计划”丛书

软X射线在农林业中的应用

(农林业应用核技术系列书之一)

顾德法 编著

原子能出版社

内 容 简 介

本书较系统地阐述了X射线在农林业中应用的技术与成就。

本书可供农学、林学、植物生理学、遗传育种、植物保护与检疫、种子检验以及水产、生物、文物保管、考古等学科的研究人员及专业人员参考。

全国“星火计划”丛书

软X射线在农林业中的应用

(农林业应用核技术系列书之一)

顾德法 编著

责任编辑 石庆元

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京昌平展望印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 新华书店经售



开本787×1092 1/32 ·印张6.875·字数147千字
1988年9月 北京第一版·1988年9月 北京第一次印刷
印数1—670

统一书号：15175·884 定价：2.10元

ISBN 7-5022-0029-0/TL·10

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《“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《“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本《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。随着中子、质子和正电子的发现，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建成了，它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、生物的辐射刺激生产、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。

本系列书由徐冠仁教授审阅，特表谢意。

编者 1987年10月

前 言

X射线即为伦琴射线。它是一种电磁波，有很强的穿透力，在医学诊断、工业检测等方面用途很广。农林业方面应用X射线检测技术时间虽较早，1903年瑞典科学家Lundsfrön就用X射线检测松树球果的种子成熟度，但直到软X射线的发现和X射线仪的改进，五十年代之后，X射线检测技术才得到重视与推广。目前，世界上一些发达国家将这种技术广泛应用于种子检验与植物检疫，也扩展到水产、实验小动物，以及文物考古等领域，该技术成为一个现代化的重要测试手段。同时，X射线具有强烈的生物学效应，1927年美国遗传学家Muler, H. J.发现X射线能引起果蝇的遗传变异，1928年Stadler, L. T.在玉米等农作物上也得到证实，从而以X射线为契机，开辟了生物辐射育种的新途径，至今已在世界范围内育成了不少农作物新品种。

我国于七十年代试制成功国产软X射线仪，扩大了X射线的应用范围，由医学扩大到农林业，在种子检验、植物检疫、植物生理研究、水产科学研究，以及植物辐射育种等方面取得了良好的效果。为了促使X射线更好地在农林科学研究与生产中推广应用，作者结合近年来的研究工作，收集了国内外X射线应用于农林业方面的资料，写成此书，以供有关研究人员及实际工作者参考。由于作者水平有限，不当之处，敬请读者批评指正。

本书编著过程中，得到王洪春研究员、徐宝珍高级农艺师的热情指导，以及杨柏林、陈积章、谈朝宗、罗日华、周心平、萨铁英、费焕伦、何如生等同志的大力支持与协助，在此一并致谢！

作者

1985年10月

目 录

前 言

第一编 X射线与X射线仪

第一章 X射线	(1)
1.1 X射线的发现	(1)
1.2 X射线的本质	(2)
1.3 X射线谱的组成	(5)
1.4 X射线的特性	(12)
第二章 X射线仪的基本原理与构造	(15)
2.1 X射线管	(16)
2.2 软X射线管	(20)
2.3 旋转阳极X射线管	(22)
2.4 变压器	(23)
2.5 控制器	(24)
2.6 支架与防护装置	(24)
第三章 X射线的防护	(26)
3.1 外照射容许剂量	(26)
3.2 X射线对人体的损害	(28)
3.3 X射线防护的主要方法	(30)

第二编 软X射线的检测与诊断

第四章 软X射线摄影原理与技术	(34)
4.1 X射线、软X射线摄影原理	(34)
4.2 软X射线摄影室及其配备	(36)
4.3 X射线摄影曝光的基本因素	(38)
4.4 洗影技术	(41)

4.5	提高X射线照片质量的几个主要关键	(45)
4.6	摄影准备与曝光参数的确定	(50)
4.7	X射线荧光观察法	(57)
4.8	X射线电视观察法	(59)
4.9	软X射线显微摄影观察法	(60)
第五章 植物形态解剖、生长发育及隐蔽病虫的		
	观察诊断	(62)
5.1	茎(包括幼穗)形态结构及其发育观察	(62)
5.2	叶片形态与结构观察	(66)
5.3	花器结构与发育观察	(68)
5.4	果实(种子)发育观察	(71)
5.5	隐蔽病虫害的诊断	(89)
第六章 种子检验		
6.1	直接摄影法的应用	(97)
6.2	造影摄影法的应用	(114)
第七章 水产、实验小动物及其它方面的检测应		
	用	(132)
7.1	水产科研上的应用	(132)
7.2	实验小动物检测上的应用	(133)
7.3	医学诊断上的应用	(137)
7.4	文物考古检测上的应用	(137)
7.5	工业检测上的应用	(140)

第三编 X射线的辐射育种

第八章 X射线辐射育种的意义		(142)
8.1	X射线辐射育种的简史与成就	(142)
8.2	X射线辐射育种的特点	(143)
8.3	X射线的分类与辐射育种的应用价值	(145)

第九章	X射线的生物学效应	(150)
9.1	生物学作用的全过程	(150)
9.2	生物学效应的物理化学作用	(153)
9.3	生物学效应的遗传物质变化	(157)
9.4	生物学效应的整体性状变异	(167)
第十章	辐射育种方法	(176)
10.1	线源选择	(176)
10.2	亲本选择	(177)
10.3	照射方法	(178)
10.4	适宜的照射剂量	(180)
10.5	辐射后代的培育、选择及其鉴定	(182)
10.6	X射线辐射育种的展望与问题	(186)
附录:		(187)
1.	国产代表性X射线仪简介	(187)
(一)	硬X射线仪	(187)
	XX-1005, XX-1505, XX-2005	(187)
	XX-2505, XX-3005型硬X射线机	(187)
(二)	软X射线仪	(188)
	Hy-35型农用软X光机	(188)
	Mo-405轻便型软X光机	(192)
	Mo-20软X线摄影机、Mo-30X线乳腺摄影机	(193)
2.	参考文献	(197)

第 一 编

X 射线与 X 射线仪

第一章 X 射线

1. 1 X射线的发现

1895年德国物理学家伦琴 (Röntgen W.C.) 用克鲁克斯管作阴极射线试验时, 为了遮住高电场放电所引起的火花, 他用黑纸将管壁遮住, 当管中有电流通过时, 偶然发现距管壁二米远处的一块涂有铂氰化钡的纸板, 发出显著的闪光 (即荧光)。伦琴深知一般光线的普通辐射是不会穿过黑纸的。因此, 对这种能穿透黑纸的新射线做了深入的研究。进一步试验证明, 这种射线可以穿透纸板、木板、衣服及厚约二千页的书, 更惊奇的是, 它可以穿透手掌而将骨骼的影像显示在涂有铂氰化钡的纸板上。当时伦琴无法解释产生这些现象的原理, 故以代数中的未知数 X 为名, 意思是一种尚不了解的光线, 称为 X 射线, 简称 X 线。至今仍用此名。发现 X 射线的具体日期是 1895 年 11 月 8 日, 后来为纪念伦琴这一伟大的发现, 将 X 射线定命为伦琴射线。之后, 人们首先把

X射线 应用于医学诊断方面，造福于人类¹。因此，伦琴于1901年第一个获得了诺贝尔物理学奖。



图 1-1 伦琴(1845—1923)像

1. 2 X射线的本质

X射线的本质和光一样，都是电磁辐射，只不过是它的波长较短，即能量较大而已。

同一切电磁辐射和微观粒子一样，X射线也具有波动和微粒的双重性。有时将它考虑为波更好，有时则将它考虑为粒子，经典理论就是将电磁辐射作波考虑的。这种波在其传播过程中的每一点上都产生自己的电场和磁场，电场强度矢量和磁场强度在两个互相垂直的平面内振动，其位置相同，并且都垂直于它们的传播速度矢量的方向，这种电磁辐射的

波动性，就是在其传播过程中，电场和磁场在空间和时间上呈周期性变化的结果。量子理论则将X射线看成是由一种量子或光子组成的粒子流，每个光子具有的能量为

$$E_x = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

E_x 为X射线光子的能量(eV)， h 为普朗克常数(10^{-34} J·s)， ν 为振动频率， c 为光速(m/s)， λ 为波长。

实际也是如此，X射线有时可以连续波动的形式出现，有时则呈不连续的粒子流。X射线的这种波一粒两重性，可随不同的实验条件而表现出来，显示X射线的微粒性有：光电吸收，不相干散射，气体电离和产生闪光等现象；显示X射线的波动性有：光速、反射、折射、偏振和相干散射等。当X射线表现为微粒性质时，以其有一定的能量和动量为特性；表现为波动性质时，则以其有一定的波长和频率为特性。总之，X射线是不连续的微粒性和连续的波动性的矛盾统一体。

由于X射线是一种电磁波，因而它在整个电磁波谱中也占据着一定的波段，其介于紫外线和 γ 射线之间，如图1—2所示。但这个波段与紫外线、 γ 射线之间，很难给它规定出一个严格的界限。首先，与其它许多波动之间互相有重叠一样，X射线的长波段和短波段也分别与真空紫外区和 γ 射线区相重叠。其次，这也与X射线学研究工作的发展程度有关。像50到500 Å之间的与真空紫外相连的X射线长波段，长期以来由于仪器和技术条件的限制，X射线学者们过去对它一直研究得较少。近年来，虽然有X射线等离子体和天体物理学家在这方面作了不少工作，但只能说是将X射线研究的波段扩大，也不可能同真空紫外区划分出一个明显的界限。

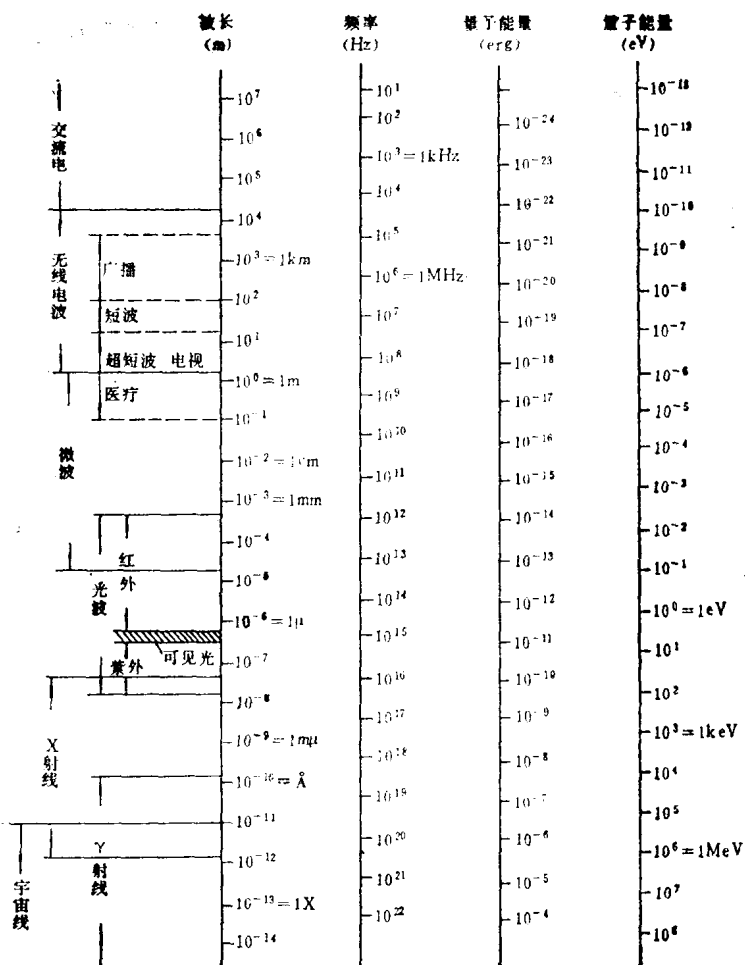


图1-2 X射线波在电磁波中的位置

目前一般的说，X射线是处在 $1 \times 10^{-8} \text{m} - 5 \times 10^{-3} \text{m}$ 之间的电磁辐射。其短波段与 γ 射线相重叠，其长波段则与真空

紫外区的短波相重叠。常用波段在 $1 \times 10^{-11} - 2 \times 10^{-10} \text{ m}$ 之间。

此外，X射线光谱学家还将整个X射线波段按其波长长短、能量的大小、穿透力强弱，分为超硬X射线、硬X射线、软X射线、超软X射线，一般硬X射线在 $5 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-11} \text{ m}$ 的波长范围，软X射线在 $1 \times 10^{-11} - 5 \times 10^{-11} \text{ m}$ 的波长范围，超软X射线在 $5 \times 10^{-11} - 2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的范围。但就区划而言，各国科学家到目前为止尚无统一的说法。苏联学者杜比宁按其发射电压与其相应的波长分为：

	电 压	波 长	能 量
超软X射线	5—20kV	$2.5 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-11} \text{ m}$	5—20keV
软X射线	20—60kV	$6 \times 10^{-11} - 2 \times 10^{-11} \text{ m}$	20—62keV
中硬X射线	60—120kV	$2 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-11} \text{ m}$	62—124keV
硬X射线	120—150kV	$1 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-12} \text{ m}$	124—265keV
超硬X射线	250kV以上	$5 \times 10^{-12} \text{ m}$ 以上	265keV以上

总而言之，所谓硬X射线，即指X射线波长区域内，波长较短，而能量较大，穿透力较强的X射线波区段，而软X射线则指波长较长，能量较小，穿透力较弱的X射线波区段，超软者波更长。

1.3 X射线谱的组成

X射线谱可以分为连续线谱和标识线谱两类，在常规的

X 射线管中，当所加的管电压较低时，只有连续线谱产生，当管电压超过随靶材或阳极物质而定的某一临界数值（激发电势）时，线状线谱即以叠加在连续线谱上的形式出现。这种线状线谱的波长，决定于靶材的性质，因而线状线谱亦称标识（或特征）线谱。简单说来，连续线谱是具有连续的一系列波长的X射线，与白色光相似，所以有时也称之为白色X射线或多色X射线，标识线谱则是若干具有一定波长而不连续的线状线谱，与单色的可见光相似，所以也称之为单色X射线。如图 1—3 所示，在100kV下钨靶X射线管所发射的二种光谱强度分布。

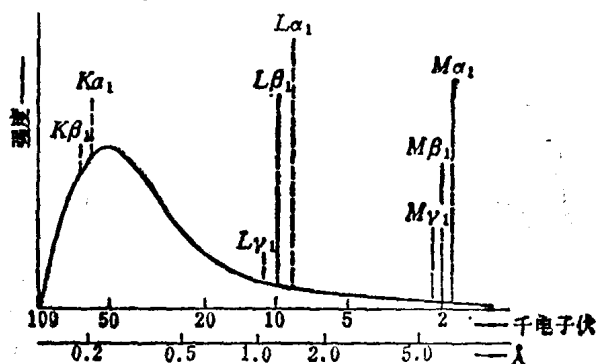


图 1-3 钨靶X射线管在100kV下的X射线光谱强度分布
(曲线为连续线谱强度分布,虚线为标识线谱强度分布)

(一) 连续线谱

连续线谱的X射线是由高能电子射入阳极原子中，在原子核库仑场的作用下，作减速运动而产生的。在这个过程中，电子将一部分或全部能量转化为电磁辐射，即连续线谱的X射线，这种辐射称为轫致辐射，图 1-4 所示。

必须指出，因为电子流中的各个电子所获得的能量不

一，同时又与靶面原子相互作用而损失的能量也各有不同。因此，轫致辐射的波长是不一样的。随着管电压的提高，电子得到的动能也随着增加。管电压越高，阴极电子所获得的动能就越大。假如电场对电子所作的功，全部变成电子的动能，而且此电子在撞击阳极靶面时，是与阳极物质的原子核

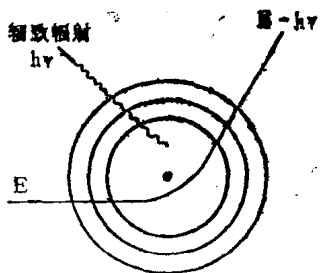


图1-4 轫致辐射示意图

相撞，则电子立刻停止运动，并将其能量全部变为光子。但是，由于大部分 X 射线机采用交流电源供电，加给 X 射线管电压的峰值，只处在交流形的瞬时，也就是说峰值电压在整个交流周波中只占一小部分，这样就可能仅有一小部分阴极电子得到最大的动能，与阳极靶撞击，而产生波长较短的 X 射线；其它阳极电子则因得到的动能较小，只能产生波长较长的 X 射线。同时，还有些高速电子并不直接与阳极靶面物质的原子核相撞击，而只从核旁边经过，因此它们将受到核内正电场的作用，失去一部分能量，直接以光子的形式放射出去。电子越趋近核，失去的能量就越多，所放射出的 X 射线波长就越短。即每一不同的减速，电子动能相应地转变为等效能量的 X 射线。也就是说减速不同，产生的 X 射线能量也不同。所以，X 射线管放射的 X 射线是一束波长不等的混合射线。

当阴极电子越多时，即管电流越大时，轫致辐射的总能量也越大；而当管电压增加时，虽然阴极发射电子的数目未变，但因每一个电子的获得的动能变大，从而波长较短的 X

射线增多。因此，X射线总能量也得到增加。同时，由于构成阳极物质的原子序数越高，阴极电子撞击原子核轨道电子的机会也越多。因此，轫致辐射的总能量也会增加，其总能量也会增加。其总能量与下列因素有关，如图1-5所示。

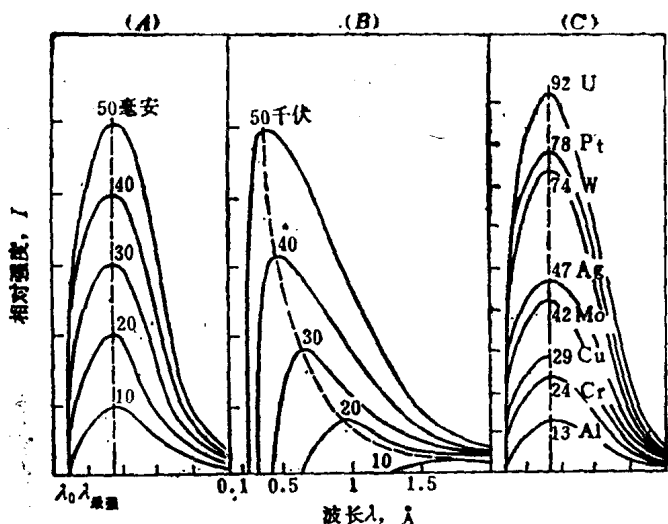


图1-5 X射线管电流,电压和靶材的改变对连续线谱的影响

- (A) 辐射量与X射线管的管电流成正比;
- (B) 辐射量与X射线的管电压的平方成正比;
- (C) 辐射量与阳极物质的原子序数成正比。

连续线谱的强度分布与X射线管激发条件的这些关系,可用下列简单的公式近似的表示出来:

$$I(n) = A z \left(\frac{1}{\lambda^2} \right) \left(\frac{1}{\lambda^0} - \frac{1}{\lambda} \right) + B z^2 \frac{1}{\lambda^2}$$

$$I(\lambda) = \frac{C z^2}{\lambda^2} \left(\frac{1}{\lambda^0} - 1 \right)$$