



全国“星火计划”丛书

张和琴 编著
原子能出版社



用辐射不育法灭害虫

(农林业应用核技术系列书之三)

全国“星火计划”丛书

用辐射不育法灭害虫

(农林业应用核技术系列书之三)

张 和 琴 编著

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

辐射不育技术是本世纪50年代初开始发展起来的一种新的灭虫方法。该书介绍了辐射不育技术用于防治农、林、害虫的简史，灭虫的基本原理，应用技术，防治对象的选择，该方法的优缺点和在各种防治法中的地位，国内外开展研究和应用的情况以及发展前景等内容。

本书适合农业、生物学方面的科技人员和生产人员阅读，可供农林院校的师生参考，具有初中文化程度的广大读者均可阅读。

全国“星火计划”丛书

用辐射不育法灭害虫

(农林业应用核技术系列书之三)

张和琴 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787×1092¹/₃₂·印张2·字数36千字

1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷

印数1—820

ISBN 7-5022-0122-X

TL·49 定价：0.70元

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。

本系列书由徐冠仁教授审阅，特表谢意。

编者

1987年10月

目 录

前言	(1)
一、原子和核辐射	(2)
二、利用辐射不育技术防治害虫的由来	(4)
三、辐射不育技术为什么能防治害虫	(5)
四、昆虫对电离辐射的敏感性	(8)
五、怎样选择辐射不育技术防治对象	(10)
六、辐射不育法的优缺点及其在害虫防治中的地位	(11)
七、辐射不育技术研究的重点问题	(14)
1. 照射剂量、照射方法和照射条件的选择	(14)
2. 照射虫态和适照时期的选择	(19)
3. 昆虫的细胞遗传学	(20)
4. 昆虫生殖生理学	(22)
5. 昆虫生态学	(23)
6. 不能随便释放不育昆虫	(24)
7. 昆虫人工大量饲养	(27)
八、遗传不育在害虫防治中的应用	(31)
九、辐射不育技术防治害虫的进展和前景	(34)

前 言

人类为了与害虫作斗争，从虫口中夺粮、夺肉、夺林，曾想出了各种各样的方法，从原始的人工捕杀，发展到目前广泛应用的农业防治法、物理防治法、生物防治法和化学防治法等一系列防治害虫的办法，这中间经历了一个漫长的历史过程，付出了巨大的劳动和代价。所有这些方法在害虫防治中都发挥了重要作用，取得了显著的经济效益。但是实践证明，无论哪一种方法都有它的局限性，因此仅仅靠某一种方法解决农、林、牧业中的重要害虫都是难以实现的，甚至是不可能的。人们在不断丰富和总结经验的基础上，目前比较普遍地采用了各种防治方法的相互配合和补充，即综合治理的办法，也就是通称的“害虫的综合防治法”。同时，为了能与害虫进行更有效的斗争，特别是对已有的方法还难以防治的某些重要害虫，正在不断努力研究一些新的防治方法和措施。随着核技术的深入发展，核能在农、牧、渔、林业中的广泛应用，一种新的防治害虫的方法——辐射防治害虫，脱颖而出。辐射防治害虫可简单概括为三个方面的内容：1. 直接杀死害虫；2. 昆虫不育技术（SIT），3. 遗传不育。辐射对害虫的杀伤力强，甚至能使其断子绝孙，达到灭绝的效果，因此有人把这种用辐射杀死害虫的方法称之为“核武器”。

辐射防治害虫这个崭新的方法，可以单独用于防治某些害虫，也可以和其它方法配合起来，作为综合防治方法中的

一项措施。作者在这本小册子里着重论述昆虫不育技术，有关辐射诱发遗传不育方面的内容只作些简单的介绍。

一、原子和核辐射

世界上存在着的任何有生命或无生命的物质，都是由元素组成的。不同物质由不同元素组成。而构成元素的最基本单位是原子，不同的元素由不同的原子构成。

各种元素的原子，它们的性质各不相同，但是所有的原子都有相似的结构。原子的中心是原子核，周围是电子层，它的电子数可以从一个到几十个，依不同的元素而定。每个电子都有各自的轨道，都围绕着原子核运行。

原子中有电荷，原子核带正电荷，核外的电子带负电荷，在多数情况下，正电荷和负电荷相等，整个原子呈中性。

原子核是由质子和中子组成的。质子带正电荷，中子不带电呈中性，它的质量比质子的质量略大一些。原子核的质量数是原子核里含有的质子数与中子数之和。原子核里的质子数就等于元素的原子序数。人们把各种元素按它们原子核里质子的多少排成一个次序，叫做原子序数。如最轻的元素氢的原子核里只有一个质子，它的原子序数就是1，铀的原子核里有92个质子，它的原子序数就是92。

我们把具有特定原子序数、质量数和核能态的一类原子称为核素。并依据核素的物理性质分为稳定性核素和放射性核素。稳定性核素能够在自然界稳定存在，不发生自然的变化。放射性核素是不稳定的，会自发地转变为别的核素，同时放出射线，这个过程称为放射性衰变。各种放射性核素都

有各自的衰变规律，通常以半衰期来表示衰变的快慢。所谓半衰期是指一定数量的放射性核素的放射性活度减弱一半所需要的时间。各种放射性核素的半衰期彼此各不相同，有的相差悬殊，如磷-32 (^{32}P) 的为 14.3 天，钴-60 (^{60}Co) 的为 5.26 年，而铯-137 (^{137}Cs) 的高达 30.17 年。

放射性核素在衰变过程中会放出射线，它看不见摸不着，需特殊的仪器才能探测到它。有时我们也把这种射线叫做电离辐射，或简称辐射。放射性核素放出的射线有三种，即 α 、 β 和 γ 射线。 α 射线实际上是一种粒子，带有两个质子和两个中子，它的质量是三种射线中最大的，它带有正电荷。这种射线的运动速率很慢，穿透物质的能力很差，一张薄纸就能把它挡住。 β 射线是带负电荷的电子，质量很小，可以穿透数毫米以上的铝片。 γ 射线是一种电磁波，与医学上常用的 X 光的性质是一样的。它的波长很短，能量很高，穿透能力很强，一般需要几十厘米乃至 1 米以上厚度的混凝土才能挡住这种射线。这是在农业上应用最广泛的一种射线。

目前在农业上还有一种应用很广的射线叫中子，即前面提到的组成原子核的那种中子。中子在自然界里不能单独存在，只有在原子核受到外来粒子的轰击而引起核反应时，才能释放出中子。现在广泛应用的中子主要来自核反应堆和加速器。中子的穿透力也很强。

射线能穿透物质。在被穿透物质中，射线要与物质的原子和分子作用，把它的能量交给被穿过的物质。衡量这种物质吸收射线能量的单位就是吸收剂量单位。目前国际上统一使用的吸收剂量单位叫戈瑞，但也有的国家仍采用拉德作为吸收剂量单位。

二、利用辐射不育技术 防治害虫的由来

辐射不育技术的出现及其在防治害虫中的应用，说起来还有一段根由。在美国有一种为害大家畜十分严重的害虫叫螺旋蝇，这种蝇子专门在家畜皮肤的伤口处产卵，幼虫孵化后，就在伤口内取食，轻者引起皮肤溃疡或穿孔，重者造成家畜死亡，特别是对幼畜的生长发育影响更大。1958年前美国牲畜因这种虫的侵害每年遭受的损失都超过一亿美元。因为螺旋蝇是在家畜伤口内产卵，幼虫在皮肤里取食，给防治带来很大困难，用药物和通常使用的一些方法防治害虫都难以奏效，始终没有找到防治良策，因此迫切需要寻找一种更有效的方法来挽回螺旋蝇给家畜业造成的巨大经济损失，以促进家畜业的发展。1938年美国昆虫学家尼普林首次提出了一个用辐射导致雄虫不育来消灭害虫的设想，这个设想并不是凭空的，而是建立在以下两个研究结果的基础上：远在1916年鲁纳用X射线照射烟草甲虫的成虫时发现，经过照射的雌虫产出的卵活力丧失，这表明X射线有诱发昆虫性不育的可能性。1927年缪勒在用X射线照射果蝇研究遗传的实验中，观察到了X射线可以使果蝇产生突变，引起显性致死。正是以上两个实验结果，为辐射不育技术用于防治害虫提供了科学依据。然而，本世纪40年代以前，因受到辐射源的限制，这一设想并没有得到实现。进入50年代，随着核技术的发展，原子能反应堆的建立，并生产出了高比活度的辐射源，才推动了核辐射防治害虫的研究和实际应用。1950年美

国学者布什兰德、霍普金和鲍鲍沃根据尼普林的建议在实验条件下开展了辐射诱发螺旋蝇不育的研究，并于1952年在萨尼贝尔岛（面积3800公顷）进行了释放不育虫的生产性试验，取得了令人振奋的结果。布什兰德等接着又于1954年应用辐射不育法在库拉索岛（面积480平方千米）开展了消灭螺旋蝇的试验，每周释放136000个不育蝇，经过6周，库拉索岛的螺旋蝇被彻底根除，取得了完全成功。试验证明了辐射不育技术作为一种害虫防治方法不仅能成立，而且是一种有希望的方法，从而奠定了昆虫不育技术在防治害虫中的无可争议的地位。

三、辐射不育技术

为什么能防治害虫

大家都知道，昆虫之所以能使其“家族”得以延续，是因为它们也有寻找配偶、进行交配、繁衍后代的本能。如果昆虫的雌性和雄性任何一方丧失了生育能力，那么就失去了生儿育女的可能。人们正是根据这一事实，设法使昆虫不能正常生育，丧失延续后代的能力，从而达到消灭害虫的目的。有很多方法（如化学不育法，杂交不育法等）都可以使昆虫不育。这里要论述的是目前有成效和较为广泛应用的辐射不育法。辐射不育就是用一定范围的辐射剂量，对需要防治害虫的某一虫态（蛹或成虫）进行照射，使昆虫不育或致死。所用射线是 β ， X ， γ 射线和中子等高能量的电离辐射，但是生产中最适用的是 γ 射线。 γ 射线照射后，生殖细胞受到损伤，表现在生殖细胞的染色体产生断裂或易位，形成带

显性致死突变的配子。当这些受照射的昆虫与正常昆虫交配后，所产的卵不能孵化，丧失繁育后代的能力。正在分裂的细胞对射线最敏感，因此活跃地进行着细胞分化的生殖细胞，具有较高的放射敏感性。生物体细胞比生殖细胞抗辐射性强，尤其是昆虫发育到蛹的后期和成虫期，体细胞分化基本完成，有更大的抗辐射性。上面提到用适当的照射剂量照射害虫，意思是这种剂量只引起性细胞产生变异，对体细胞不产生影响，也就是说，受照射的昆虫能够和正常昆虫一样活动和飞翔，能够和正常昆虫一样寻找配偶交配，有同样的寿命，特别是有着和健康的正常昆虫同等的争夺配偶的能力。人们对用人工饲料饲养的大量昆虫进行照射，然后在害虫的危害地区释放这些昆虫，让其与自然界的害虫交配。自然界的害虫一旦和释放的不育虫交配，所产的卵都是不能孵化的，即便有少数能孵化出幼虫，也因胚胎发育不良而死亡，不能完成世代交替。因此，自然种群的害虫个体与释放的不育虫交配的数量越多，失去繁殖力的也就越多，自然界的虫口密度也就越来越小，最后甚至会导至虫种的灭绝。应该看到，天虫的效果受很多因素制约，在同样条件下，防治效果的好坏决定于释放健康不育虫数量的多寡。假如自然界有100万头害虫，我们也释放同等数目的不育虫，很显然，不育虫和正常虫竞争配偶的数量比是1:1，如果释放不育虫1000万头，那么不育虫和正常虫竞争的数量比就成了10:1。当然这只是理论上的推算，实际上它还受释放技术，气象因素，自然种群动态……等多种因素的影响。但无论如何，一定要释放足够数量的不育虫才能取得压低和消灭害虫的效果。用通俗的语言讲，不育技术灭虫法所采用的是一种“虫海战术”，也就是以多取胜。然而释放多少不育虫适宜，这

要根据害虫的种类不同而不同。一般的原则是，用最适当的放虫量取得最大的防治效果。放虫量太少，达不到防治效果。放虫量过多，必然要增加防虫成本，这是不足取的。

从以上介绍的昆虫不育技术灭虫法的基本原理不难看出，不育技术不仅是核技术在农业上应用的重要组成部分，同时又属于生物防治的范畴，所不同的是：它不是借助于天敌或抑制剂（如苏云金杆菌，白僵菌、病毒，抗菌素等），而是人为地利用昆虫消灭昆虫本身，因此昆虫不育法又可称“性不育法”或“害虫自灭法”。

1955年尼普林就辐射不育技术提出了一个释放不育性昆虫使自然种群数量减少的理论计算值（前提是释放的不育雄虫与正常雄虫有同等的争夺配偶能力），当某地区有1000000头正常的雌性昆虫时，雄性昆虫也就有1000000头（因生物界雌雄比例基本上为1:1），假若每代释放的不育雄虫均为2000000头时，到了第4代，自然界正常雌虫就会少于1头，也就是说完全灭绝了。

见下表：

世代	基地自然种群内雌虫数	每代释放的不育雄虫数	释放不育雄虫与正常雄虫之比	与不育雄虫交配的正常雌虫，%可有雌虫理论数	每个相继世代
I	1000000	2000000	2:1	66.7	333333
II	333333	2000000	6:1	85.7	47619
III	47619	2000000	42:1	97.7	1107
IV	1107	2000000	1807:1	99.95	<1

需要指出的是，在消灭害虫种群的过程中，释放的不育雌虫所起的作用并没有考虑进去，有待于进一步探讨。但作为辐射不育法，防治害虫的一般道理用数学模式说明还是比较

清楚的，这对研究性不育法仍有着重要的参考价值。

四、昆虫对电离辐射的敏感性

深入了解昆虫对电离辐射的敏感性，对成功的应用不育法防治害虫至关重要。不育昆虫的照射虫态，照射剂量，照射方法，照射的最佳时机，都是建立在对昆虫辐射敏感性研究的基础上的。

电离辐射可引起生物机体发生各种变化，机体的组织在接受辐射之后，产生一系列的化学反应，这种反应对新陈代谢和各种生命活动起着抑制作用。不同生物对电离辐射的反应是极不相同的。例如变形虫的致死剂量需要1000戈瑞，对于人来说，只要接受5戈瑞剂量照射就能致死。一般来说，生物机体的构造越复杂，对电离辐射的反应也就越敏感。换句话讲，低等生物比高等生物对电离辐射有更大的抵抗能力。

昆虫之所以具有较高的抗辐射性，是因为昆虫体内含有较多的过氧化氢酶，这种酶能够分解由于射线照射而形成的 H_2O_2 。

不同昆虫对电离辐射的敏感性也不一样，甚至差别非常悬殊。例如双翅目昆虫（蚊蝇类），对电离射线相对比较敏感，照射50戈瑞剂量就能导致螺旋蝇等害虫不育。直翅目（蝗虫类），鞘翅目（瓢虫类）昆虫辐射敏感性次之，而鳞翅目昆虫抗辐射力最强，一般都要超过300戈瑞以上的剂量照射方能使雄虫不育。甚至在生物学上相近的两个种，如粮食害虫杂拟谷盗和赤拟谷盗之间，它们的辐射敏感性也有差异。同一种昆虫的不同发育阶段，辐射敏感性也有很大差

别，玉米螟的幼虫经200戈瑞剂量照射后，严重影响其生长发育，绝大多数在化蛹前死亡。然而对羽化前两天的蛹或成虫，即使照射剂量增加一倍（400戈瑞）也基本上不影响成虫的羽化、寿命和寻找配偶交配的能力。通过科学试验还证明，昆虫的同一虫态的不同发育时期对辐射敏感性的表现也很不一致。如刚刚产出1~2小时的卵，经10戈瑞的X射线照射，能卵化出幼虫的只有5.5%，而用同一剂量照射6日龄的卵，幼虫孵化率提高9倍，达到56.5%。墨西哥实蝇早龄幼虫用20戈瑞剂量照射，所有幼虫都在化蛹前死亡。而用70戈瑞照射晚龄幼虫，仍能较正常化蛹。再如用40戈瑞 γ 射线照射玉米螟，桃子食心虫1~2日龄蛹，绝大多数羽化不正常或不能羽化，而用相同剂量照射5~6日龄蛹，成虫羽化几乎完全不受影响。昆虫的不同性别辐射敏感性的差异也是很明显的。一般情况，雌性昆虫比雄性昆虫更敏感，用300戈瑞处理玉米螟、桃子食心虫雌虫，能使其100%丧失繁育能力，而对雄虫则仍有近20%是能育的。但也有例外情况，引起螺旋蝇雌虫的不育剂量是50戈瑞，而对雄虫只要一半剂量（25戈瑞）就够了。

昆虫的体细胞抗辐射性强于昆虫的生殖细胞，特别是昆虫发育到蛹的后期或成虫期，此时体细胞的分化期基本完成，抗辐射性大大加强，而同时期的生殖细胞仍处于分化过程中，抗辐射能力相对较差，因此在昆虫后蛹期或成虫期给以适当的剂量照射，有可能达到人们所期望获得的目标，即一方面使受照射昆虫的体细胞不受损伤或基本上不受损伤，仍可保持正常寻找配偶交配的能力，另一方面又能导致精子显性致死，失去繁衍后代的机能。

五、怎样选择辐射 不育技术防治对象

在自然界种群中不断增加不育性个体或部分不育性个体的数量，已被证明是防治害虫的一种有效手段，但不是对任何种害虫采用这种方法都行之有效，它受到各种因素的制约。对于那些还不能大量饲养或者虽能大量饲养，但经济上昂贵的昆虫；对于那些扩散能力差，经辐照后寻找配偶能力明显下降的昆虫；对具有孤雌生殖习性的昆虫和一些具有高度繁殖潜能的昆虫，实践证明是有碍于使用不育法的。此外，有些害虫主要是成虫为害，那么释放不育性成虫本身可能会加重对农作物的危害。为此，在考虑是否运用辐射不育防治害虫这一方法时，必须对防治对象的生态、分布与迁移、繁殖行为、交配能力、生活习性等进行全面的了解。对有些害虫，因为某些技术性问题还未解决或者对其生物学资料没有很好的掌握，暂时还不能应用这一方法。然而一旦这些问题有所突破，这一方法就有可能成为消灭这些害虫的锐利武器。如家蚊，只有雌蚊才吸吮人的血液并且是传播疾病的媒介，雄蚊则对人无直接危害。如果能在家蚊人工饲养过程中，只保留雄蚊，将雌蚊全部杀死，然后经辐射导致雄蚊不育，再释放到蚊子为害地区，这可能成为消灭家蚊的一种有效方法。

从目前看，不育法灭绝双翅目昆虫成功的事例较多，这与双翅目昆虫生活能力强、不需要很高剂量即可诱发不育、食性相对专一、易辐射处理、易大量饲养有关。

美国昆虫学家尼普林就哪些害虫适宜于用不育法防治提出了5条建议。后来林奎斯特又补充了3条，可供从事辐射不育技术研究工作者参考。

尼普林的5条建议：

(1) 必须有一套大规模人工饲养的方法，而且经济上是合算的。

(2) 释放的不育雄虫能够在野外种群中充分分散。

(3) 不育处理不应影响不育雄虫的交配行为有不良的影响，也就是说不育雄虫应具有和野生雄虫一样的生命活力和交配竞争力。对觅食和寿命均无不利影响。

(4) 雌虫以单配性的为好。假如为多配性，则不育雄虫的精子应与野生雄虫的精子一样，具有同等的受精竞争能力，即精子必须有充分的活力。

(5) 自然种群本身的密度低，或者害虫的自然种群数量在某个时期内有明显减少。

林奎斯特补充的三条意见：

(1) 害虫的分布地区具有地理隔离，即有阻止害虫由邻近地区迁入的自然屏障。

(2) 释放出去的不育昆虫必须是对人、动物和植物无害。

(3) 对该种害虫的生物学和生态学必须有详细的研究。

六、辐射不育法的优缺点及其在害虫防治中的地位

任何一种害虫防止方法之所以能独立存在，并能延续不