

核科学百年讲座

第八讲 核科学技术在农业领域的应用*

刘 军 许甫荣[†] 郑春开

(北京大学物理学院技术物理系 北京 100871)

摘 要 主要介绍核辐射和核示踪技术在农业生产中的应用,简单介绍我国核农业发展情况.核辐射农业应用分小节介绍辐射育种、昆虫辐射不育、食品辐射储藏保鲜与低剂量辐射刺激生物生长几个方面的基本原理、发展历史和它们在农业生产中的应用.核示踪农业应用简单介绍核示踪技术在土壤和肥料科学以及与农业相关的植物学、动物学、生物技术等领域的应用.

关键词 核科学 核辐射 核示踪 核农学

Nuclear science in the 20th century —nuclear agricultural science

LIU Jun XU Fu-Rong[†] ZHENG Chun-Kai

(Department of Technical Physics, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract Nuclear science and technology have been successfully applied to many subjects, nuclear agriculture being one of the most important applications. We present a general review of the applications of nuclear radiation and nuclear tracer techniques in agriculture. The development of nuclear agriculture in China is also reviewed briefly.

Key words nuclear science, nuclear radiation, nuclear tracing, nuclear agriculture

1896年,法国科学家贝克勒尔(Becquerel H)发现了铀的天然放射性,揭开了原子能时代的序幕.随后,核辐射的生物学效应立即引起了科学家们的关注,开始了核技术在生物学和农业科学中的应用研究.原子核科学技术和农业科学技术相互渗透、相互结合在20世纪20年代末形成了一门综合性科学技术.70年代初期,法国和印度的核研究机构分别提出“放射农学”(Radioagronomie)和“核农学科学”(Nuclear Agricultural Sciences)的概念.至此,这门综合科学技术为大众接受.80年代初,我国科技工作者开始将这门学科称为“核农学”,它主要研究核素和核辐射及相关核技术在农业科学和农业生产中的应用及其作用机理.目前就其研究方法和应用机理来说主要分为核辐射和核素示踪应用两大部分.核辐射技术在农业中的应用领域主要有辐射育种、昆

虫辐射不育、食品辐射储藏保鲜与低剂量辐射刺激生物生长等.核素示踪技术在农业中的应用领域主要有土壤和肥料科学、植物学、动物学和生物技术等.

1 核辐射的农业应用

快速运动的带电粒子通过物质时,遇到物质原子中的电子和原子核,会同他们发生碰撞,进行能量的传递和交换,主要结果是使物质原子发生了电离或激发,形成正离子和负离子或激发态原子.带有电荷的核辐射粒子能够直接使原子电离或激发,称为

* 国家自然科学基金(批准号10075070)资助项目

2002-11-17收到初稿 2003-01-14修回

[†] 通讯联系人. E-mail: frxu@pku.edu.cn

直接致电离粒子。而中性的核辐射粒子,由于没有电荷不能直接使原子发生电离,但可以通过与物质作用产生的次级带电粒子使物质原子发生电离或激发,称为间接致电离粒子,例如中子和 γ 射线。总之,能够直接或者间接使物质原子电离或激发的核辐射就是电离辐射^[1]。电离辐射与生物体作用,引起生物体结构和功能的改变。一般认为,电离辐射与生物细胞的作用方式有两种:一种是直接作用,另一种是间接作用。直接作用就是入射粒子或射线直接与生物大分子作用,例如DNA、RNA等,使得这些大分子发生电离或者激发。间接作用就是入射粒子或射线与生物体中的水分子作用,使水分子发生电离或者激发。这些作用最终要表现为一些生物效应。辐射的生物效应可以归为两类:一类是有害的,如抑制生长、降低免疫能力、增加发病率、减弱生命力、不育、畸形以至死亡;另一类是有益的,如生长发育加快、抗病性提高、产量增加与品质改善等。因此,适当地选择辐射源和辐射剂量,采用不同的辐照方法可以使核辐射技术在很多方面有效地被利用。

1.1 植物辐射诱变育种

培育新的优良品种始终是农业科学研究的一个重点。人们利用X射线、 γ 射线及中子束等物理因素,与化学试剂结合诱发植物遗传变异,经过培育、选择获得新的品种,这就是辐射诱变育种。能诱发植物诱变的物质称为诱变剂。X射线、 γ 射线及中子束等物理因素均可作为诱发植物有益突变的有效诱变剂。近年来还出现了如激光、电子束和离子束等新的物理诱变因素。X射线在诱变育种的前期应用较多。 γ 射线作诱变剂,易于控制辐照条件,育种成效显著,是目前应用最为广泛的诱变剂。其中 ^{60}Co 发射的 γ 射线用得最多,近年来也开始使用 ^{137}Cs 的 γ 射线。现在中子的利用也有所发展。由于各种诱变因素的能量、穿透力不同,带电性与物质的相互作用方式不同,诱变效果会有差异。一般地,辐射诱变的诱发突变频率在几万分之一到千分之几之间。各种射线诱发突变发生频率的顺序是:中子束大于X射线, γ 射线大于 β 射线^[2]。我国应用最多的是 γ 射线,其次是中子束。

辐射育种技术经过几十年的发展,已经成为常规育种技术难以取代的育种手段。1927年,美国昆虫学家Muller H J就发现X射线能诱发果蝇产生多种类型的突变,并认为诱发突变将在植物品种的改良上发挥重要的作用。1928年,植物育种学家Stadler报道了X射线对玉米和大麦有诱变效应,并开

始把诱发突变应用于植物育种。1934年,Tollenaar D用X射线处理育成了世界上第一个突变烟草品种(Chlorina F1)。随着细胞遗传学等方面的发展,辐射诱发突变育种技术得到了更好的理论指导,人们积累了更多对突变体利用的经验,50年代初期,诱变育种有了新的进展。到1958年世界上报道了8个突变品种。从1960年起,由于对辐射诱变规律有了进一步的了解,育种方法逐步成熟。发展中国家也开始把诱变育种研究放在重要的位置。1969年,联合国粮农组织(FAO)/国际原子能机构(IAEA)联合举办了植物诱变育种培训班,出版发行了《突变育种手册》(Manual on Mutation Breeding),这被认为是植物辐射诱变育种从初期基础研究到实际应用转折的标志^[2]。进入70年代,辐射诱变育种已经成为一种有效的育种手段并得到了迅速发展,而且诱变育种的注意力转向了抗病、优质育种和突变体的杂交利用上。80年代,植物诱变育种与生物技术、加倍单倍体技术、杂种优势育种技术、常规育种方法等相互交叉、渗透和结合,形成了一种综合性育种技术。据IAEA1981年统计,世界各国通过辐射诱发突变在60种植物上育成的品种有518个,而到1993年再统计,全世界利用核辐射诱变育种成的新品种达到了1722个,研究的植物由禾谷类作物为主逐步扩大到豆类、蔬菜、果树、热带和亚热带作物、桑麻类。目前,世界辐射诱变育成品种已经达到了2050个^[2]。

1.2 害虫辐射不育技术

害虫防治是农业生产中的又一项重要任务。人们用一定剂量的电离射线照射害虫的某一个虫态,破坏它们生殖细胞的遗传物质,使受辐照害虫与正常害虫交配后形成的合子致死,使得害虫能够“自灭”,这就是辐射不育防治害虫技术。通常,先要人工大量饲养某种害虫,用射线辐照处理使它不育,然后在虫害区大量释放,这样与释放害虫交尾的害虫失去了繁殖后代的能力,经过多次释放就可以达到消灭害虫的目的。X射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线、电子源和快中子都能使昆虫不育,但使用最普遍、最方便的依然是 γ 射线,其射线源主要是 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 。

1938年,美国昆虫学家Knippling E F就提出了利用辐射不育技术防治害虫的设想。进入50年代,随着核技术的发展,核反应堆的建立,生产出高比活度的辐射源,昆虫辐射不育防治害虫开始实验研究。1950年,在Knippling的倡导下,Bushland等在实验室开展辐射诱发螺旋蝇不育研究,并于1952年在萨尼贝尔(Sannibell)岛进行了释放不育虫的生产试验,

获得了成功,为以后大规模发展奠定了基础^[2]。1954年,Bushland又在库拉可岛上开展了试验,6周后岛上的螺旋蝇被彻底的根除,这就奠定了昆虫辐射不育技术在害虫防治中的无可争议的地位^[2]。由于螺旋蝇在美国和墨西哥被消灭和对确立昆虫辐射不育的贡献,Knipling和Bushland获得了世界食品大奖。

1962年,Proverbs在研究苹果蠹蛾的辐射不育过程中发现,射线不仅能诱发昆虫亲代不育,而且这种不育效果在后代依然存在,即不育雄虫的F1代是部分不育或完全不育。这表明,射线对昆虫产生的效应,通过遗传能够在后代继续发挥作用,这就为利用辐射不育技术防治害虫开创了一条新途径。1969年,Wailker和Pedersew提出部分不育个体超量亚不育,以F1代不育来防治野生种群。辐射遗传不育技术,既能对害虫的亲代起控制或消灭作用,又能对害虫后代继续发挥防治的效能,是辐射不育技术的一个很重要发展。

昆虫辐射不育技术防治害虫,是当今生物防治法中的惟一有可能在大面积内消灭害虫的防治手段。长期使用化学杀虫剂,害虫会产生抗性,因而不能彻底根除。同时,由于杀虫剂可能同时杀害了害虫的天敌,导致害虫一旦再出现可能会比原来发生的程度更严重。再有就是化学杀虫剂一般都污染环境,对人畜有害。辐射不育技术杀虫则可以专一地将害虫大面积的彻底根除,并且对环境没有污染,所以长期来看,有很高的经济效益和社会效益。如美国50年代和70年代先后两次根除了日本冲蝇的羊皮螺旋蝇,墨西哥80年代初消灭了地中海果蝇,每年避免了15亿美元的损失,获益与投资比达到了10:1甚至30:1^[2]。目前,世界上有三分之二的国家对200多种害虫进行了辐射不育研究,其中有30多种害虫已经进入中间试验或者实际应用阶段,取得了显著效果。最近国内,路大光等人就开展了昆虫辐射不育技术防治光肩星天牛的研究^[3],祝增荣等开展了应用辐射不育技术根治桑给巴尔采采蝇的研究^[4]。

1.3 低剂量辐照刺激生物生长

地球上的生物一刻不停地受到了来自宇宙射线、宇生放射性核素和原生放射性核素三种天然放射性源的照射。这种本底剂量照射是生物生长发育不可缺少的条件之一。经过长期试验人们发现,直接或者间接的致电离辐射以低剂量照射生物体,可以像激素一样刺激生物生长发育,即具有“刺激效应”。核辐射刺激生物生长研究也就是探索这种效应发生的规律,以便加以应用。俄国科学家首先发现

了X射线辐照可以提高燕麦种子的出苗率和发芽势。从50年代起,许多国家开展了低剂量刺激作物的研究工作。有的国家建立了各类辐照田,主要用于低剂量辐照刺激效应的研究和应用,并且在前苏联、加拿大和匈牙利等国得到了较大面积的应用。1958年,我国开始这项技术的研究。1962—1964年,我国又组织了低剂量 γ 辐照农作物刺激生长联合试验,研究结果表明,播前处理种子可以加速种子的发芽、生长和提高产量。1971年,在第四届和平利用原子能会议上,加拿大学者用30年的研究结果说明了用1—10Gy的辐照对绝大多数作物有刺激作用,能提高作物的出苗率、萌发势,提早开花和成熟,增加产量^[2]。

低剂量核辐射刺激生物生长在农业上有广阔的应用前景和实际应用价值。在种植业和养殖业采用低剂量核辐射处理播种前的种子和饲养的幼苗一般都能增产10%左右,有很好的经济效益。低剂量核辐射刺激生物生长是基于激活生物体内的同工酶,促进新陈代谢,加快生长发育达到提高抗病能力和增长的目的,所以它的使用可以节省农药和化肥,具有很好的生态效益。

1.4 食品的辐照储藏和保鲜

据联合国粮农组织估计,世界生产的粮食作物,由于质变及虫害,每年损失20%—30%,达百亿美元之多,因而食品的储藏和保鲜历来就为人们所重视。20世纪出现了一系列的现代化贮藏技术。20年代出现了机械冷藏,40年代又出现了气调贮藏。从1943年美国Proctor B E博士首次利用辐射来处理汉堡包至今,食品辐照技术的研究已经有半个多世纪的历史。食品辐照就是利用电离辐射的方法,杀死食品中的微生物与害虫,抑制农产品的代谢过程,减少食品败坏变质的各种因素,达到延长储藏时间和保鲜的效果。辐照储藏食品有许多优点,尤以杀虫彻底、干净卫生及操作方便突出。对于那些已经蛀入果实、粮食和食品内部的害虫,其他方法都不能和辐照相比。辐照食品不需要加任何添加剂,也不会感生放射性,所以没有非食品物质残留,很干净。辐照穿透力强,对于包装好或者已经加工好的食品也可以进行处理,所以操作更方便。

1976年前的二十多年时间里,世界各国的研究重点是食品辐照的效果和其卫生安全性,少数国家开展了实用性探索。从70年代末起,食品辐照范围拓宽,并开始建立食品辐照的法规和国际标准,辐照食品进入商业化。世界上第一个批准辐照食品供人

食用的是前苏联. 1980年,联合国粮农组织、国际原子能机构和世界卫生组织根据长期的毒理学、营养学和微生物学研究资料和辐射化学分析结果得出结论并发表公报:“任何食品当其总体平均吸收剂量不超过10kGy时,没有毒理学危害,不再要求做毒理学试验,同时在营养学和微生物学上也是安全的.”这一结论得到了世界食品法典委员会(CAC)的认可,从而大大推动了世界各国对辐照食品的研究,加速了辐照食品的批准和商业化进程^[2]. 据IAEA统计,到1994年全世界有27个国家已经建立了用于食品辐照的商业化装置.

2 核素示踪技术在农业上的应用

同一种元素的质子数相同,中子数可以不同,具有相同质子数不同中子数的两种或多种元素互称同位素. 同位素中有的很不稳定,能自发放出肉眼看不见的射线,这样的同位素叫做放射性同位素,又称放射性核素. 放射性核素与稳定核素的显著差别就是它具有核辐射的性质. 人们用放射性核素制成放射性示踪物,标记要研究的材料,来跟踪发生过程、运行状况或研究物质在系统中的分布,这就是核素示踪技术.

核素示踪技术具有灵敏度高、便于射线探测和揭示原子、分子的运动规律等特点,很早就用于农业科学和生命科学的研究. 1923年,Hevesy G用天然放射性核素²¹²Pb研究了铅盐在菜豆中的分布和转移. 1934年,Hevesy和Hofer利用重水研究金鱼的水分代谢, Schoebermer等人利用稳定核素重氢和重氮(¹⁵N)研究了脂肪酸和氨基酸的代谢. 这些开创性的工作,展示了核示踪技术的前景,为放射性核素在生物学和农业科学中的应用奠定了基础^[2].

核素示踪技术已经在农业科学的各个领域广泛应用,其中在土壤肥料研究中的应用开展得最早、最多,经济效益也最为明显.

测定土壤的有效肥性可以指导人们科学施肥,对于促进农业生产有重要的现实意义. 人们用³²P标记的磷肥样品施入待测土壤中,测量植物吸收的磷含量,再测出标记的³²P含量,由于植物从土壤和肥料中吸收的有效磷含量与存在于土壤中的有效磷含量成正比,这样就可以得到植物从土壤中吸收的磷含量,也就可以测定土壤中有效磷的含量. 这就是50年代伴随核素示踪技术发展起来的“A”值测定方法. 这种方法还可以用来测定土壤中有效氮(¹⁵N标记)和许多微量元素的有效含量,成为测定土壤

养分有效性的基本方法. 在提高肥料利用率的研究中,核素示踪法可以检测肥料损失发生的时间,研究肥料元素在土壤中的转化以及不同施肥方法的有效程度,为科学合理地施肥、充分发挥肥料的肥效提供了科学的信息. 例如最近,石岩等人用¹⁵N示踪研究了施肥深度对旱地小麦氮素利用及产量的影响^[5];潘家荣人等研究了高肥力土壤冬小麦/夏玉米轮作体系中化肥氮的去向^[6].

核素示踪技术在研究植物生理中的应用为阐明植物营养代谢的基本规律,改进栽培技术,指导农业生产发挥了积极作用. 卡尔文(Calvin)等人应用核示踪方法,对光合作用进行研究,发现绿色植物在光合作用中吸收二氧化碳,并把它转换为葡萄糖. 卡尔文也因此获得了诺贝尔奖^[1]. 最近,范仲学等人利用同位素示踪研究了夏玉米灌浆期同化产物的运转^[7]. 核示踪技术在研究家禽、家畜的生殖生理、营养代谢及疾病诊断等方面也取得了重要的成就.

同位素示踪技术在植物基因工程研究中发挥了极其重要的作用. 生物体内各种物质,如DNA、RNA、氨基酸及染色体等都可以用放射性核素标记跟踪. 1952年,Harshey和Chase利用含³⁵S-蛋氨酸和³²P-磷酸盐的培养基,通过实验,证实了遗传物质是DNA,而不是蛋白质,从而解决了遗传的物质基础问题. 1958年,Meselson和Stahl用¹⁵N标记DNA,通过实验,证实DNA的半保留复制,解决了遗传机制问题. Nirenberg用¹⁴C或³H标记氨基酸解读遗传密码,搞清楚了大部分密码子. 利用核素示踪技术,标记生物分子,特别是DNA分子,探明它们的活动过程,这将有利于在人工控制条件下进行分子水平的研究. 现代农业必然要向分子水平发展,可见核素示踪是现代农业发展必不可少的工具.

3 我国核农业发展现状与成就

我国农业上应用核技术是从1956年开始的,至今已经有四十多年的历史. 1956年我国制定的第一个“十二年科技发展规划”将原子能和平利用列为五大重点发展项目之一. 1960年召开了首届全国原子能农业应用研究工作会,制定了研究发展规划,并组织 and 开展协作研究. 从此,核技术农业应用在全国迅速发展起来. 到1975年,全国通过核辐射诱变在8种作物上育成突变品种81个,推广面积100万公顷,在生产上初见成效. 荣获国家发明奖的水稻原丰早、大豆铁丰18号和棉花鲁棉1号诱变品种就是在这个时期育成并推广应用的^[2].

我国植物辐射育种比国外起步晚了三十多年,但是发展较快.到1998年,我国利用核辐射诱变技术,在四十余种植物上选育、推广和应用优质突变新品种达到513个,居世界各国之首^[8].种植面积稳定在900万公顷.这些品种在生产上占有重要的位置,社会效益十分明显.总的来讲,新品种每年为国家增加粮食30—40亿公斤,棉花1.5—1.8亿公斤,油料0.75亿公斤,创经济效益每年达33.2亿元^[8].

自60年代以来,我国先后对玉米螟、蚕蛆蝇、小菜蛾和棉蚜虫等十多种害虫进行了辐射不育研究,并在一定的范围内进行了释放试验,效果很显著.例如,近年来柑橘大实蝇人工饲养成功,在贵州惠水县试验,柑橘产量由年均23.7万公斤增长到40—50万公斤^[8].

我国食品辐照加工研究工作始于1958年,到目前为止,农用辐照装置已达七十多座,已经有18种食品批准上市.最近统计,全国辐照食品的商业化总量已达8.6万吨,总产值超过1.5亿元,“九五”期间可达40—45亿元,将向产业化方向发展^[8].

据近十年的不完全统计,我国应用同位素示踪法,以水田、旱地、草场和林地地为研究对象,阐明营养元素被作物吸收利用,化肥、农药在土壤中的残留

损失以及新的施肥技术等研究成果为国家增产粮食19亿公斤,创经济价值28亿元^[8].核农业在我国正在发挥重要作用,并将得到进一步的发展.

致 谢 感谢中国科学院上海原子核研究所沈文庆院士、中国原子能科学研究院张焕乔院士的指导.

参 考 文 献

- [1] 刘洪涛等.人类生存发展和核科学.北京:北京大学出版社,2001[Liu H T *et al.* Nuclear Science and its Impact on the World. Beijing: Peking University Press, 2001(in Chinese)]
- [2] 徐冠仁等.核农学导论.北京:原子能出版社,1995[Xu G R *et al.* Introduction of Nuclear Agriculture. Beijing: Nuclear Energy Press, 1995(in Chinese)]
- [3] 路大光等.核农学报,2001,15(5):302[Lu D G *et al.* Journal of Nuclear Agriculture, 2001, 15(5):302(in Chinese)]
- [4] 祝增荣等.核农学报,2001,15(3):149[Zhu Z R *et al.* Journal of Nuclear Agriculture, 2001, 15(3):149(in Chinese)]
- [5] 石岩等.核农学报,2001,15(3):183[Shi Y *et al.* Journal of Nuclear Agriculture, 2001, 15(3):183(in Chinese)]
- [6] 潘家荣等.核农学报,2001,15(4):207[Pan J R *et al.* Journal of Nuclear Agriculture, 2001, 15(4):207(in Chinese)]
- [7] 范仲学等.核农学报,2001,15(2):121[Fan Z X *et al.* Journal of Nuclear Agriculture, 2001, 15(2):121(in Chinese)]
- [8] 温贤芳.核科学与工程,2000,20(3):232[Wen X F. Nuclear Science and Engineering, 2000, 20(3):232(in Chinese)]

· 物理新闻与动态 ·

将气泡转变成显微注射器 (Turning bubbles into microscopic syringes)

荷兰 Twente 大学的 Ohl 教授及其研究组在实验上显示了可用声波技术将气泡流转变成一种显微注射器.利用它可将药物或基因等注射到病人身体的各种部位,以达到医学上治疗的目的.借助于高速显微摄影术,研究者们揭示了如何把一种比人类头发丝还细的气泡流转变成一个类似于注射器的针管,在其中可以输送一百亿分之一加仑的液体.这种亚毫微射流的体积似乎非常的小,但已足够可以将一些大分子(如 DNA 分子和大多数的药物)作为医学治疗注射入指定的细胞内.

他们实验的具体做法是:首先对一个处于室温的水槽进行轻微的脱氧处理,然后在水槽内部产生一层直径为 7—55 μm 大小的气泡,第二步是对水槽内的液体加上一个高强度的超声波使其猛烈地搅动显微气泡,并将它们挤压成针状.这些冲击波同时也会将气泡周围的一些液体挤入气泡,而这些液体高速通过气泡后撞击端部形成一股高速射流,由于这股液体流的速度非常高,因此它极易穿透附近的细胞膜.若把药物或基因材料溶解于液体中,就可以把这股射流作为一支极好的显微注射器.这个实验证实了过去的—个想法,即让声波驱驱动使气泡发生变形后形成一个微米级的注射器,这将是医疗方面的一项重要技术.

为了使注射的药物等能更深地注入活细胞内,研究组又设计了一种技术,他们让缓慢振荡的气泡附着在细胞表面,由声波控制的细胞膜发生变形后更易于被刺穿.

(云中客 摘自 Nature , 8 May 2003)