

核技术与农业的可持续发展

IAEA 塞伯斯多夫实验室

正在为传播实用和环境更适宜的技术做贡献

Pier Roberto
Danesi

最近几年来，“可持续发展”这个词组用得实在太多，有时成了只不过是给一些试验性的新倡议草率地贴个标签的流行话。目的之一往往是为了使一些新的技术项目变得更加动听和更易“推销”，因为这些项目往往自称不仅能促进物质增长，而且还是“环境适宜的”。

看来，对上述词组做些澄清是有益的。

根据世界环境与发展委员会的定义（《布伦德兰报告》），可持续发展是指“能够满足现在的需要又不损害子孙后代满足其需要的能力的那种发展”。不过，正如某些观察家所指出的，这个定义并无新意，而且总使人感到含糊不清、模棱两可和相当不完备。例如，有人强调说，形容词“可持续的”并不意味着“持续不断的”，名词“发展”未必含有全球范围“经济增长”的意思。另外，还有人指出，“可持续的增长”这一术语在用词上是自相矛盾的，因为“持续总有一个限度，而增长则意味着实际增加”。

马尔萨斯人口论认为，土地和自然资源都限制着经济和人口的增长。上述的批评主要基于这一理论。尽管有这样的批评，但这种意味着消费能无限制增长的“可持

续发展”的思想，仍然一直吸引着众多的人。人们之所以被这种思想所吸引，也许是由于看到最近的经验已经表明马尔萨斯人口论值得怀疑，因为效率更高地利用珍贵的资源和开发便宜的代用品都是可能的。

不过，经济增长一直是以我们的环境资源不断退化为代价的。这种退化已达到使我们这个地球在生态方面的生命保障系统正在受到严重威胁的地步。因此，以生产中用作原材料的土地与资源为一方，以环境资源为另一方，两者在响应市场冲击力方面似乎存在着重大的差别。大多数环境资源（如空气和水）实际上被许多人看做不必花钱买的东西。另外，全球性的环境政策似乎很难付诸实施。在这种背景下，对各种科学技术方案似乎不应很乐观，因为它们在最终找到解决问题的办法方面看来多少会受到点限制。

发展战略应兼顾资源保护与增长、满足人类的基本需要和维持生态的完好性，这是一项棘手的任务。世界人口现在约为 53 亿，一些人口统计预测数字表明，到下世纪末，也许将超过 100 亿。增加量的 90% 以上将发生在平均的人均国民收入约为工业化国家十分之一的那些国家里。这意味着，如果最无能力应付人口爆炸所造成的资源

Danesi 博士是 IAEA 设在塞伯斯多夫和维也纳的几个实验室的主任。这些实验室的工作人员 Gingrich、Hussain、Novak 和 Zapata 先生给本文提供了部分素材，FAO/IAEA 核技术应用于粮农联合处的 Danso、Hance、Klassen、Offori 和 Stich 先生也给本文提出过一些建设性的意见，作者在此一并表示衷心的感谢。

* 见 *IAALD Quarterly Bulletin* 第 XXXVI 卷第 4 期 (1991) 上刊登的 D. Brooks 的批评意见。布伦德兰委员会的这份报告的名称是 *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*, Oxford University Press, Oxford (1987)。

和环境后果的发展中国家,要达到发达国家人均国民收入的三分之一,全球的经济就必须在下一个100年中增长30多倍。对照《布伦德兰报告》提出的要求,便可清楚地看出这项任务的艰巨性。该报告提出的要求是:

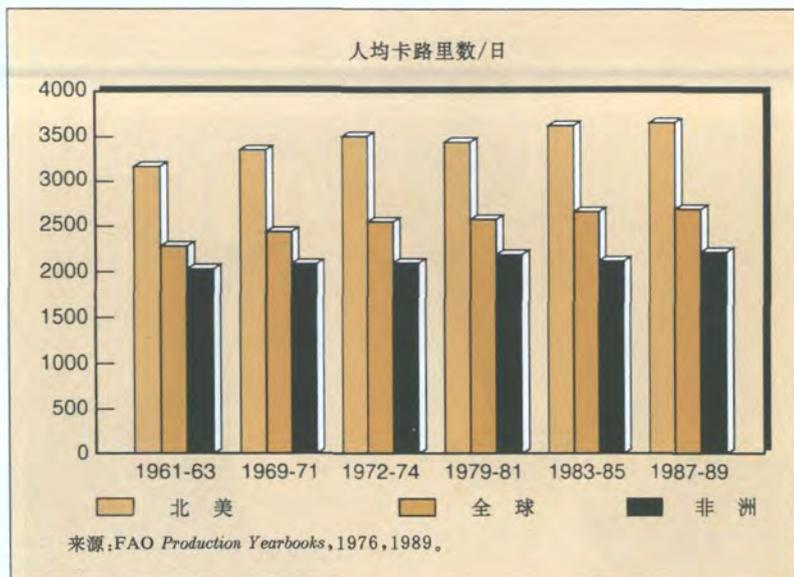
- 必须把环境及其自然资源看做所有人类活动的根本立脚点,并把充分保护它们看做发展的一个前提;

- 物料从原料阶段经过加工和生产后进入消耗和变为废物阶段的流动,应尽可能是闭合的;和

- 能源的生产和消费应该合理化。

这个简单的描述,也许能有助于人们更清楚地认识技术的作用,特别是核技术和核应用的作用。它们在“可持续的发展”中所起的作用,可看做对世人从多方面进行的努力的贡献。世人的这些努力,旨在尽可能地抵销我们的环境在世界上有可能和有必要使经济获得增长的地区对实现这种增长所施加的限制,并至少能抵销在有形货物和能源的消费量高得多的地区对改善生活质量所施加的限制。

本文着重介绍国际原子能机构(IAEA)设在塞伯斯多夫和维也纳的实验室在开发



和推广各种核技术和核方法方面,对农业的可持续发展所做的贡献。计划在下期《国际原子能机构通报》上发表的一篇后续文章,将着重介绍这些实验室在与可持续发展有关的环境方面的作用。

世界的食物可获得量

活动概述

IAEA 的这些实验室负责从实验角度支助物理学、化学、地学、生命科学和农业



印度的一个蔬菜摊。
(来源: J. Marshall, IAEA)



塞伯斯多夫实验室的科学家在分析杀虫剂残留物。

科学方面的许多计划。就农业科学而论,已在土壤肥力、灌溉和农作物生产、病虫害防治、植物育种和遗传学,以及农药及其残留物方面,做出了许多与可持续的发展有关的重要贡献。举例来说,所做的工作包括关于使用同位素技术以尽量减少氮肥用量的研究,以及关于使用基于辐射的技术以减少杀虫剂用量的方法来根除或控制害虫虫口的研究。

概括地说,可把 IAEA 的这些实验室从实验角度提供支助的核技术和核方法归并为如下 3 类:

- **监测和评价环境污染的技术。** 这些技术包括使用核分析技术分析非放射性污染和放射性污染的技术;监测粮食和环境中的杀虫剂残留物的技术;和借助降水中的同位素研究气候的技术。

- **减轻增加产量的环境影响的技术。** 这些技术包括用于防治虫害的昆虫不育技术;研究农作物与树木的固氮能力使施肥方法最优化和防止沙漠化的技术;利用示踪剂研究施肥方法最优化的技术;和用于

改进水管理方法的核技术。

- **资源开发用技术。** 这类技术包括利用同位素研究水的来源和流动情况;和利用辐射突变获得更好的作物品种。

在所涉及的所有领域内,塞伯斯多夫实验室经常向各国(多数是发展中国家)的研究机构传播经过选择的技术和工艺。使用的方法主要有 3 种:培训科学工作者;给 IAEA 的技术合作项目提供技术支助和科学服务;以及从事支持 IAEA 协调研究计划的研究与开发。

核技术在农业中的应用

在介绍塞伯斯多夫实验室在农业中应用核技术方面的工作之前,简要地看一看世界在农业发展方面的一些关键问题也许是有益的。

谷物供给全世界人民所需热量的一半左右,其产量已从 1950 年的约 7 亿吨增加到 1986 年的 18 亿吨以上,年增长率约为 3%。同样地,在 1965—1986 年间,蔬菜、豆类和水果产量的年增长率约为 2.5%。不过,产量方面这种给人以深刻印象的增长,是以大量的消耗为代价的,其中包括化肥用量增加了 8 倍,杀虫剂用量增加了 31 倍。

虽然从理论上说,这些农产品如果平均分给全世界的老百姓可以养活约 60 亿人,但生产与消费两个方面一直存在着的巨大差异预计今后十年内不会有明显的变化。平均来说,约占世界人口 20% 的最富国居民,今天吃进去的食物的热含量比其所需多 30—40%。另一方面,最穷国居民平均得到的热量则比最起码的值少 10%,有十亿多人得到的食物不足以维持劳动力的再生产。

况且,全世界的农作物产量在增长了 40 年之后,在最近的 7 年中已显示出持平的趋势。1984 年的人均谷物产量为 345 公斤,1988 年则降到 296 公斤。与人口的快速增长相对照,这种下降特别不祥。人均产量下降的部分原因是耕地持续不断的退化、使用过度导致的养分减少、土壤侵蚀和沙

漠化。

全世界的农民每年失去约 240 亿吨表土,相当于覆盖整个澳大利亚麦田的表土量。联合国粮农组织(FAO)估计,到 2000 年,土壤退化将使第三世界 65%的靠天地无法耕种。另外,每年有 150 万公顷水浇地因盐渍化而荒废。除了这些数字外,还必须考虑约占世界耕地面积的 40%、居民约 7 亿的干旱和半干旱地区。这一类地区的约 60%在发展中国家。

举近东和印度的两个例子,便可说明这种状况的严重性。在近东,约 75%的农作物种在旱地或靠天地上,据估计,预计在 2000 年以前将要出现的粮食和饲料缺口的 70%以上只能靠提高现有耕地单产的办法解决。印度的状况与中东类似,它的农作物总产量的 45%来自旱地。印度必须在 2000 年以前使农作物的总产量增加 60%,否则便不能向预计将达 10 亿的人口提供足够的粮食和纤维。

农业生产率方面近期的飞速提高,大部分可直接归因于更多地使用了农药和灌溉用水,但引起的问题是贫瘠土地和水资源使用过度,过多地使用杀虫剂和化肥也使环境污染程度大大增加。因此,不能再靠过多地使用化肥和杀虫剂使粮食增产。不过,认为不用化肥和杀虫剂也能满足粮食需求的想法也不现实,因为 2000 年的世界人口将接近 63 亿,而人均农业用地将从 3000 m² 减少到 2000 m²。

我们所能做的是审慎地把化肥与杀虫剂的使用纳入可持续发展的框架中。由这种可持续的发展使生产保持在与这么多人的需求相当的水平。因此,在正在设计的可持续发展农业体系中,下面这些措施是特别重要的:获得改良的作物品种;能阻止沙漠化或最好使其逆转的合理的土壤和水管理措施;以及审慎地使用化肥与杀虫剂。

塞伯斯多夫实验室为支持 FAO/IAEA 有关粮食与农业的联合计划而开展的农业活动,涉及许多与更加可持续的农业实践有关的课题。以下诸节将简要介绍目前正在做的工作。



土壤肥力、灌溉和作物生产

有多种放射性的和稳定的同位素被用于探寻、测定或示踪施到土壤中的肥料的去向、可从土壤中获得养分和植物利用这些养分的情况。核技术也一直用于测定土壤水分的可用量,而稳定同位素则一直被用于测定进而改善天然的固氮过程。

机构实验室正在解决耕作强化所固有的问题,以及有限的农业和林业土地资源已受到的增强了的压力。有一点已经很清楚,氮是一个在满足全球近期对粮食、饲料、燃料和纤维需要方面非常重要的元素。因此,氮肥的投入往往是获得所希望的作物产量所必需的。

不过,研究结果表明:施到土壤中的氮肥只有一部分被农作物摄取;不合理的施肥方法,会导致土壤中的天然氮和所施化肥中的氮越来越多地进入环境成为污染物。进入地下水和地表水的氮化合物,会污染饮用水和引起内陆水体富营养化。通过诸如氨气挥发、形成氮的氧化物和脱氮等

塞伯斯多夫实验室的科学家正在研究红萍,这是一种水生蕨类植物,可在水稻田中充当生物肥料。

化学和微生物过程释放的气态氮化合物,会产生其他的有害环境效应。这些问题要求使化肥尤其是氮肥能高效地用于提高作物产量,或者说使其环境影响尽可能小。

稳定同位素氮-15,已成为定量研究氮肥在环境中的行为和形态变换,以及氮肥残留物在农业生态系统中的去向的一种十分有力的工具。塞伯斯多夫实验室通过开发有关的同位素技术、提供分析服务,以及借助科学培训传播这种技术,一直在有关高效地将化肥用于粮食作物的各种协调研究计划的实施方面起着关键作用。

采用改进过的化肥施用方法,能够使生产同样数量粮食所需的化肥用量减少。在许多国家中,这样做之后,每年已节省数百万美元,并使释入环境的氮减少。

在土壤科学领域,本实验室还正在两个互补的方面进行研究:1)确定最好的肥料管理方法,例如施肥时机、施肥部位和肥料种类;2)找出在摄取和利用养分方面效率较高的作物基因型,即找出能在投入土壤的肥料量较少的条件下得到同样单产的作物基因型。

实验还证明,在监测可利用的土壤氮方面的变化以及测量野外条件下脱氮作用的氮损失和生物固氮量方面,氮-15技术是必不可少的工具。

用于定量测定田间生长粒用豆类作物的生物固氮量的氮-15技术,主要是在塞伯斯多夫实验室开发的。这种技术后来已被用于研究其他固氮系统。现在的研究活动着眼于在几种农业系统(包括农田林网系统)中最大限度地利用这种替代和补充性氮源。那些能够固氮的植物,能够在由太阳能间接提供能量的过程中利用大气中丰富的氮气。这一过程从环境角度看是比较安全的,不会发生与乱用化肥相关的污染危险。

人们已认识到,固氮树能在发展中国家个体农户的可持续发展农业实践中起重要作用。这类树不但是薪材、动物饲料、纸浆和木材的来源,还有利于土壤肥力的恢复和(或)保持。为了利用这种天然的和廉

价的氮源,需要可靠地估计适合特定农业生态条件的树木的生物固氮能力。为此,在本实验室使用了多种同位素技术,以定量测定农田林网系统中常用的某些固氮树(例如 *Gliciridia* 树、银合欢树、金合欢树和木麻黄树)的固氮量,并逐个研究会影响固氮过程的那些因素。计划在将来使用同位素技术研究特定农田林网系统中的养分(特别是氮和磷)循环。

农药和残留物

借助放射性示踪剂研究农药及其残留物的去向,目的在于开发更有效地利用农药的方法和最大限度地减小或消除不希望有的副作用。在开发农药的缓释剂型方面,也利用放射性同位素标记化合物。

本实验室在这一领域从事的研究与开发活动,是与可持续发展农业的概念相一致的,因为这些工作旨在更高效更安全地使用农药。例如,农药的缓释剂型可减少农药用量、改善施药人员和其他非目标生物的安全性,减少环境污染(包括地下水污染),以及更高效更经济地防治虫害。

关于使用浸渍了杀虫剂的靶防治采果蝇的工作,是一个典型的实例。这一工作的目的是少用或淘汰老式的不加选择地喷洒杀虫剂的方法。浸渍了杀虫剂的靶的放置地点是可选择的,用后可收回和妥善处置,因而不会造成环境污染,而且总的说来对生态系统也比较安全。本实验室还正在研究有机氯农药对非洲植物区系和动物区系的潜在有害影响。

虫害防治

杀虫剂是防治虫害的主要手段,并且在可预见的将来仍将如此。不过,这类化学品将继续引起人们对环境的担心,害虫也将更具抗药性。此外,由于知道这类化学品会带来健康问题,以及需要评价它们在环境中的去向和行为,因而开发新杀虫剂的费用是很高的。这是开发新杀虫剂的一个

限制因素。这些因素促使人们研究防治虫害的替代方法。替代方法之一是昆虫不育技术(SIT),即一种基于从遗传学角度使昆虫节育的虫害防治方法。

塞伯斯多夫实验室在虫害防治领域的研究重点是SIT。这种技术是目标最专一和环境最适宜的虫害防治方法之一,它的基本做法是大量饲养并释放经 γ 射线照射后绝育的昆虫。释放的不育雄蝇与野生雌蝇交配后不繁殖后代。通过多次释放足够数量的不育蝇,害虫群体便可消灭。由于这种技术是目标专一的,在释放地区生存的其它生物不会受到影响。这就是SIT在环境上适宜的原因。由于害虫问题的解决所带来的经济效益随时间而增长,SIT的效益可以非常高。本实验室为改进大规模饲养昆虫的方法和开发绝育程序所进行的研究,已对提高SIT防治地中海果蝇和采采蝇的效率和效果作出了贡献。为了将SIT用于其他害虫的防治,本实验室正在致力于开发其它害虫的饲养方法。

在大多数SIT计划中,由于难以区分性别,不育雄性和不育雌性是一起释放的。如果仅释放不育雄性,则通常会提高不育雄性的利用效率,因为不会有不育雌性与野生雌性相竞争。在卵和幼虫期消灭雌性,可节省饲养费用。本实验室还在为SIT计划研究按性别将昆虫分开或仅生产雄性的遗传学方法。最近,已培养出了地中海果蝇的突变品系。这个品系的雌蝇可在饲养过程中简单地通过提高温度有选择地被杀死,从而做到只生产和释放雄蝇。由于雄蝇是SIT计划的有效组成部分,因此既可收到巨大的效益又能节省饲养费用。

本实验室还在致力于开发杀虫病原体。这类病原体可用来减少野生害虫的虫口,然后依靠SIT加以根除。在释放不育雄性之前先减少野生害虫数量,可减少为达到根除目的而需释放的不育害虫的数量和缩短所需的时间。为此,本实验室正在寻找和培养可杀伤地中海果蝇的昆虫病原体菌株——苏芸金(芽孢)杆菌。目前正在寻找可生产目标专一活性剂的细菌菌株。由于

它是目标专一的,因而使用时不会危及环境中的其它生物。本实验室正在通过把细菌病原体与SIT结合起来使用的办法,开发目标专一、经济、有效和对环境不太有害的一体化虫害管理体系。

植物育种

野生物种的驯化曾使最初的人工栽培成为可能,而选择性的植物育种曾使它们高产。后来,随着单一作物栽培方式变得更加固定,其他一些因素便显得特别重要。这些因素关系到病虫害的损害、植物对水和肥料投入量的依赖,以及机械化收割、加工和耐贮性等。

眼下世界农作物产量对基因资源的依赖极大。仅三种作物——小麦、大米和玉米——就提供了世界粮食总量的一半。另外四种作物——土豆、大麦、甘薯和木薯——又提供了粮食总量的1/4。这种严重依赖少数几种作物的状况是危险的,病害能够通过单一作物栽培方式迅速扩散。如19世纪40年代在爱尔兰发生的土豆严重减产,曾造成该国1/5的人口死亡。在本世纪的60年代,小麦条锈病的流行曾冲击美国,使蒙大拿州减产1/3。这种局面后来得以挽回,全靠土耳其的一种野生小麦的基因,它的基因能抗这种病害和其它50种病害。玉米也极易受这类病害的侵袭,因为近亲繁殖使其遗传本底几乎是均一的。后来仅利用了两个野生品种的一些基因,就使玉米作物增加了抗7种病害的能力。

虽然与野生品种杂交可提高产量和免遭病害,但近来人工诱发突变的应用,已给增加农业产量帮了大忙。最近20年(1970年至1990年),由诱发突变获得的栽培品种数目已从117种增加到1500种。其中90%是通过辐射诱发突变获得的。

这些全都被正式认可和试种过的突变新品种,已在约50个国家中推广。植物育种者一直在以这种方式得到可供杂交育种使用的宝贵的新的种质,从而增加了农民、加工者、商人和消费者所需性状的数目。

在过去的半个世纪中,世界各地的若干项植物育种计划,一直在使用 X 射线、 γ 射线和中子进行作物诱发突变工作,然后从经过诱变处理的作物后代中挑选合意的突变体。

可通过辐射诱变发生法获得的与农业的可持续发展有关的最重要的特性是:

- 增强抗病害能力,使杀虫剂用量减少,从而有利于保护环境;
- 改善农艺特性,例如耐贫瘠土壤条件、耐旱、耐热或抗寒能力更强,从而使作物能适应贫瘠的土地;
- 缩短成熟期,使作物免遭霜冻和虫害,并允许与其它作物轮作;提高抗倒伏能力(矮秆、硬秆),因而作物具有更好的抗狂风暴雨能力;
- 通过改善固氮能力等提高产量。

塞伯斯多夫实验室的科学家在工作。(来源:Katholitsky, IAEA)



塞伯斯多夫实验室在植物育种领域内的工作,包括支助那些旨在通过辐射诱发突变提高香蕉、芭蕉、木薯、薯蓣和可可等热带作物的抗病虫害能力的项目。

在世界范围内,由于利用了与离体诱变发生法一起使用的微量繁殖方法,供植物育种用的基因资源已经增加。已经培育出一些抗虫害的新品种,从而减少了对杀虫剂的依赖。在塞伯斯多夫实验室,有关创造抗镰刀菌和黑叶斑病芭蕉和香蕉的实验正在进行。出自塞伯斯多夫实验室的芭蕉和香蕉的高产突变无性系,目前正在洪都拉斯、埃及和澳大利亚进行田间试种。

花粉诱变发生法和体细胞胚胎形成技术,也正在加纳用于培育抗病毒的可可树种。

至于身为热带国家的一种重要作物的木薯,塞伯斯多夫实验室的工作侧重于使组织培养方面的诱变技术优化和为哥伦比亚的田间试种提供材料。其目的是通过离体诱变发生法获得一个基因库,供培育更能耐环境压力的木薯品种之用。

本实验室还一直在对红萍—鱼腥藻属共生水生蕨类植物进行辐射诱变育种研究,以便增强其耐盐度、有毒铝含量和斯达姆(Propanil)除草剂之类非生物压力的能力。红萍—鱼腥藻属系统是一种重要的固氮系统,它可在水稻田中充当生物肥料。本实验室利用 γ 辐照方法获得的这些固氮植物的无性系,曾在菲律宾、中国和泰国进行过田间评价性试验。人们发现它们能耐极高的盐度,而且能在较高的酸度和铝含量的条件下生长。

此外,本实验室的植物育种科学家正在把新的分子生物学方法用于筛选合意的突变体。例如给芭蕉属加DNA指纹的技术,正被用于表征最重要的芭蕉和香蕉栽培品种的基因组 DNA。该技术将有利于挑选这些热带作物的农艺学上重要的性状。 □

计划在下期《国际原子能机构通报》上发表的一篇后续文章,将着重介绍与可持续发展有关的环境问题。