

# 原子能用于可持续的农业：使农户田地肥沃

核和同位素技术是如何帮助寻找

改良贫瘠土壤和维持世界作物生产的方法的

Christian Hera

**陆**地仅占地球总面积的 29%，但却提供了约 98% 的世界食物。大部分土地并不很肥沃：肥力高的仅占 11%，中等的占 28%，低的则占 61%。

与此同时，在大多数发展中国家里，土地、养分、作物和水的管理实践都相当差。例如，采矿业引起的土壤恶化，其危险性不亚于其它形式的环境退化的后果。这就是保护养分和水之所以成为世界上许多地区，尤其是发展中国家里的大事的原因之一。

为了尽量减少土壤损失和补充养分，需要做出种种努力。许多组织越来越注意开发植物的综合性营养系统。其基本概念是，通过最佳地利用一切可能的植物养分源，来保持和可能时提高维持作物生产所需的土壤肥力。这样的方法从生态学、社会和经济方面讲都是有生命力的。

核和相关的同位素技术，是农业方面的这类解决办法的重要组成部分。它们通常被用作农业研究中的常规或传统技术的补充，而且往往能提供其它方法不能提供的数据。本文介绍核技术是如何在土壤和作物研究中已经并将继续发挥作用的。核技术的应用在很大程度上是依靠 IAEA 和联合国粮农组织(FAO)的共同努力推动的。自 1964 年以来，这两个组织一直在通过设在维也纳 IAEA 总部的 FAO/IAEA 核技术用于粮农联合处组织各种计划。

Hera 先生是 FAO/IAEA 核技术用于粮农联合处土壤肥力、灌溉和作物生产科科长。

## 历史的回顾

利用同位素进行的研究可追溯到 1923 年和 G. V. Hevesy 的工作，他的工作标志着同位素开始用于土壤和作物研究。大约 35 年后即 1959 年，成立不久的 IAEA 将其支持有关肥料使用效率研究的首批研究合同给了日本和德意志联邦共和国。自 1962 年起，发展中国家的研究合同持有者和发达国家的研究协议持有者，通过 IAEA 的协调研究计划(CRP)被组合成一体。IAEA 发起的最初两项 CRP 也在土壤肥力方面。这两项 CRP 侧重于利用同位素研究水稻的施肥方法(1962—1968 年)和土壤系统中植物养分的供给与运动(1962—1968 年)。

自那时起，组织了数十项 CRP。过去 30 年间，联合处的土壤肥力、灌溉和作物生产科总计担负了 29 项 CRP 的技术责任。许多研究项目得到了世界上最好的土壤科学家的悉心指导，其中包括 Mac Fried 和 Hans Broeshard 先生。Mac Fried 先生曾担任 FAO/IAEA 联合处第一任处长，Hans Broeshard 先生则担任过塞伯斯多夫农业实验室的负责人。他们的开拓性工作对全世界土壤科学家产生过很大的影响。

从最初起，同位素与相关技术的使用，被证明对提高肥料效率和优化植物施肥方法的价值极大，这与其它许多应用的情况是一样的。例如，用同位素标记肥料中或土壤中的某种养分，是可用来分别确定植物从每种来源汲取的养分数量的一种非常有价值



自左上顺时针:用于测量土壤含水量的中子湿度计; IAEA 总干事汉斯·布利克斯(左一)和 FAO 总干事 J. Diouf (左二)等在 IAEA 大会期间举办的展览会上听取本文作者介绍核和相关技术在土壤和作物研究中的应用; FAO/IAEA 土壤科学股的 Helga Axman 博士与参加在加纳举办的区域培训班的学员在一起; 1995 年在曼谷举办的关于同位素在土壤-植物关系中的应用区域培训班的参加者。(来源: C. Hera, IAEA)



的直接方法。

**肥料研究。**过去30年间,通过联合处的活动,同位素技术一直被用于有关水稻、玉米和小麦之类主食作物的肥效研究。其主要内容是,如何通过最大限度地从施放的肥料和其它肥源摄取养分使谷物产量更高更稳定,同时减少潜在的有害环境影响。例如,用氮-15标记的肥料以不同的方式(不同的肥源、施肥时机和施肥部位)施于作物,以测定和度量其摄取量。这种研究有助于科学家找出不同土壤和气候条件下的最有效施肥方法。

在第一个水稻施肥方法计划(1962—1968年)中,研究过的一个问题是施在土壤表面或施入土壤表层5厘米内的不同氮源的相对效率。在5个国家里,利用两种主要成分用氮-15作了标记的硝酸铵进行了田间试验。试验结果清楚地显示出对水稻来说哪种成分是最有效的氮源,以及应当如何施放。当铵施在土壤下面时,氮的摄取量最高。施肥部位对硝酸根的利用效率影响不大。

一项十分成功的CRP是玉米施肥方法计划,参加这项计划的有8个国家。研究工作是要找出比传统的犁地前把肥料分散地撒在土壤表面的做法好得多的田间施肥方法。采用了氮-15和磷-32标记的肥料。根据试验结果得到的结论是,农户应当多次少量地施肥,并以不同方式(称作带状施肥)和在生长期间的不同时刻投撒。

这些结论曾在罗马尼亚付诸实践。播种机配备了在下种时施肥的专用器具,用于清除杂草的中耕机配备了在生长期施肥的器具。在玉米的种植和生长期,在200万公顷的土地上使用了这些机器。同传统的施肥方法相比,6年平均每公顷增产0.62吨。

采用新方法的投入仅占每年能获得的产量增加数的总价值的5%。如果考虑新方法免除了传统施肥方法的辅助工作量和土壤方面可能存在的负面效应,则这种方法的优越性还要大。

### 固定大气中的氮

尽管大气中的氮非常丰富(占有所有气体

的78%),但它是限制作物生长的诸因素中限制性最大的一个。仅某些作物能够直接利用大气氮。通过施用氮肥克服这种限制,是作物生产的几种主要开支之一。

一种称为生物固氮(BNF)的过程,已成为发展中国家和发达国家农户的一种可行的替代方法。与相应微生物共生的豆科植物及其它几个科的植物,能够通过这一过程直接利用大气氮。这种方法有几个优点,如花费少,能减少污染,能提高土壤肥力和增加作物的蛋白质含量。为了实现这些好处,需要妥善管理固氮系统。利用氮-15同位素技术能够对固定在自然系统和农业系统中的氮作定量评价和综合评价。

最近20年间,FAO/IAEA的几项国际研究计划一直侧重于测量和加强BNF,尤其是测量和加强不同农业系统中共生性质豆科植物的固氮能力。目前的各项计划的重点,是借助一体化的跨学科方法提高食用豆类的产量和固氮能力。

迄今为止所获得的结果表明,食用豆类各品种的固氮能力之间差别很大。有些豆类(如蚕豆)的固氮能力相当强,而另一些豆类(如菜豆)则不然。这些差别不受各种各样环境条件的影响。曾发现不同国家里的各种菜豆栽培品种的固氮能力之间也有相当显著的遗传变异。

固氮树在BNF方面具有特殊的意义。一些研究表明,它们是农业系统的重要组成部分。它们能够在缺氮土壤中茁壮成长,因而对于恢复或增加土壤肥力及减少土壤侵蚀能起重要作用。人们一直在研究并将继续研究能够用来准确测量不同条件下影响这种树的生长的一些因素的方法。

另一些研究工作一直侧重于研究低洼水稻地中兰绿藻及其群丛,特别是红萍所起的作用。

与“绿色革命”有连带关系的高产水稻品种需要施用大量昂贵的化学氮肥。科学家们很久以前就已认识到,能固氮的水生红萍—鱼腥藻共生物至少能部分地满足水稻所需的氮。从1984年到1989年,联合处的土壤肥力、灌溉和作物生产科曾负责协调得

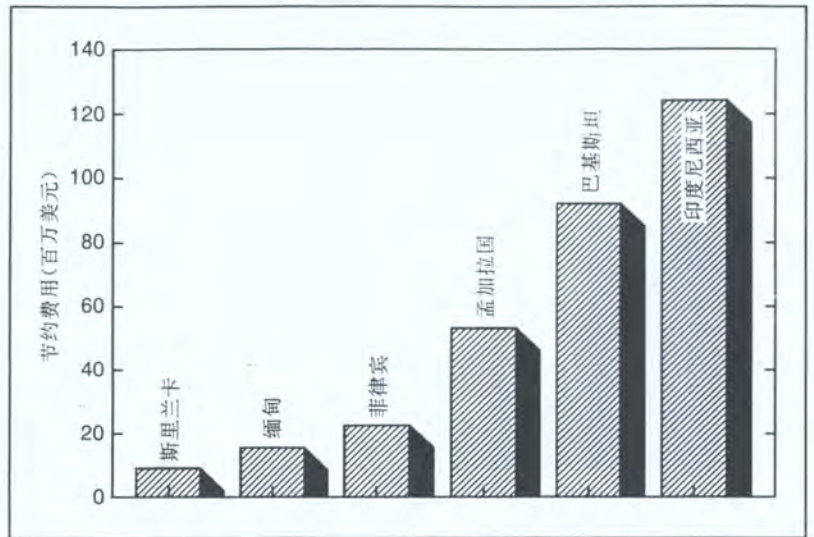
到瑞典国际开发署(SIDA)财政支助的一项计划,该计划的任务是调查利用红萍作为水稻生物肥料的好处。来自9个水稻生产国——孟加拉、巴西、中国、匈牙利、印度尼西亚、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡和泰国——的科学家参加了该计划。

虽然中国和越南的部分地区将红萍—鱼腥藻共生物用作水稻的绿肥已有几个世纪,但广泛的科学研究则是1973年石油危机使氮肥价格大幅度提高后才开始的。红萍生长速度极快,在最佳条件下其重量能够在三四天内增加一倍。然而在此项计划开始之前,几乎没有什么田间试验能指出红萍在田间积累的氮主要来自大气还是主要来自土壤。虽有大量的证据表明,把红萍埋入土中能提高水稻产量,但只有少量实验探索过其中的原因。

由于大量使用了氮-15标记技术,业已证明,红萍中70%—80%的氮来自大气固氮,不存在红萍与水稻竞争土壤中有限的氮的问题。事实上,最近的一些实验已表明,浮在稻田水面上的一大片红萍甚至能改善化学氮肥的效率。尿素是水稻最常用的氮肥。然而,它的效率通常很低,50%甚至更多的尿素会散失于大气中。尿素在水中水解产生碱性反应,加之藻类的光合作用效应,经常能见到pH值大于9的情况。在这种pH值的条件下,铵会转化成挥发性的氨气。红萍的遮光作用幸好能限制藻类的生长。在施肥后,当有红萍存在时,曾观测到pH值低1—2个单位的情况。

第二种效应是,红萍能汲取水中的部分氮肥。如果这些红萍随后被埋入土中,那么这部分氮肥连同固定的氮都可以为水稻所利用。在中国福州进行的一项实验中,对于插秧时接种红萍的情况,插秧后两周追施的尿素中氮的损失量由没有红萍时的50%减至25%,水稻汲取的标记肥料从26%增加到35%。在泰国,插秧时接种红萍和未接种红萍的稻田施用尿素的实验结果是,接种红萍的试验田增产10%到15%。

将红萍埋入土壤时,对水稻来说,它是一种像尿素一样好的氮源。从红萍摄取的氮



量不仅等于从尿素摄取的氮量,而且还有额外的好处,即红萍所增加的氮中有许多在收获后仍留在土壤中。在某些实验中,可供下茬作物使用的氮足以使增产量达到使用尿素时的2—3倍,在水稻之后种植小麦的情况尤其如此。利用红萍作氮肥,一季水稻估计就能节省很多钱。(见上图。)

水稻生产中利用红萍作氮肥时可实现的节约潜力

这项成功的计划证明,来自世界不同地区的科学家,能够合作共事,能利用同一种严格的方法论,并能朝着共同的目标很快取得进展。由于这些研究是在各种各样的环境条件下做的,所以它们的成果能够广泛地适用。

### 光合作用和水的利用

同位素技术对于研究光合作用、植物代谢、输导作用和养分摄取的工作来说是必不可少的。通过将植物暴露于用碳-14标记的二氧化碳中,我们就能够利用自动射线照相之类的技术监测整个植物生长过程的光合作用和代谢物的运动。最近,在示踪研究中,越来越多地应用碳-13,因为它比较容易得到且易于测量。此外,碳-13作为一种稳定同位素对环境是适宜的,因而对于研究土壤有机物质和温室气体来说是非常有价值的。然而,在光合作用期间植物歧视碳-13。虽然这种歧视性随植物种类的不同而不同,但

它与植物利用水的能力密切相关。

这种技术对于挑选水的利用效率较高的作物栽培品种和树种是有用的。通过一项 CRP, 已在生长在贫瘠土壤上的能高效利用有限水资源的粮食作物和树木身上找到了若干种基因型。在摩洛哥和突尼斯, 找到了能高效利用水因而使小麦高产的几种基因型。在苏丹, 找到了高效地生长在干旱地区的阿拉伯胶树 *Acacia Senegal* 的产地。在斯里兰卡, 这种技术还一直在帮助科学家们找出十分耐干旱因而特别适合于在该国干旱地区栽培的椰子栽培品种。

1990 年开始执行的一个近期研究项目, 正在调查能有效利用珍贵的水资源使植物产量达到最大的情况。中子湿度计和其它相关技术的使用, 已经给灌溉实践和灌溉计划的评价工作提供了帮助。这种湿度计不仅可成功地用来测量土壤中的水分, 还可用来了解水在田间条件下的动力学。另一项 CRP 一直在研究半干旱耕作制度下水和肥的利用效率。顾名思义, 半干旱地区是降水不足的地区。在这些地区, 植物生长和作物产量

深深地依赖于对水的妥善管理和保持。这项研究有助于找出能确保作物在这样的耕作条件下汲取到足够数量养分的措施。

### 环境保护

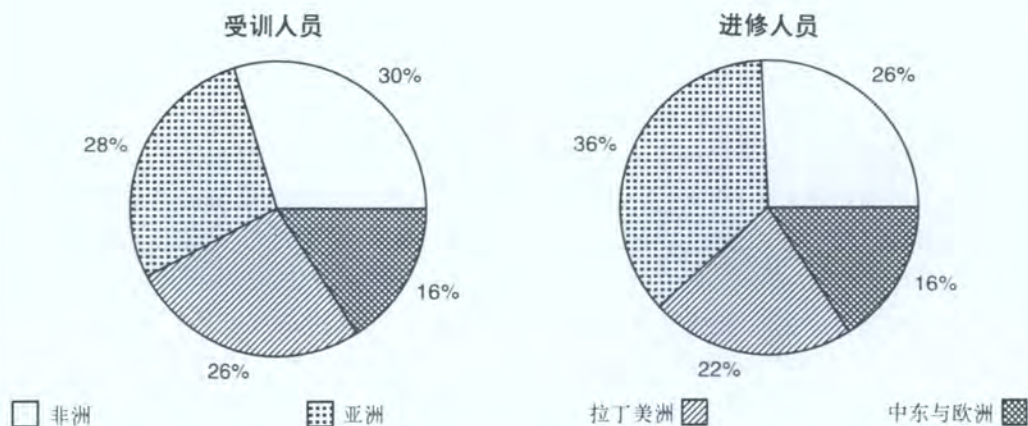
除需要提高农业生产率外, 许多国家, 主要是工业化国家, 还共同面临着属于另一种性质的一个问题, 即氮进入地下水和污染饮水与湖泊的问题。在这种情况下, 既需要保护现有的和可能开垦的农业用地及氮资源, 同时还需要满足世界上越来越高的环境保护标准。

氮-15 为研究肥料氮在环境中的行为提供了特别强有力的工具。在德国的支助下, FAO/IAEA 联合处的土壤肥力科一直在执行一项可为解决这些问题提供重要指导的国际计划。根据已完成的研究工作, 得出了若干结论。它们是:

- 考虑到为开发替代的农业实践需要长期的探索和许多时间, 常规氮肥的施用定会继续增加, 并将延续几十年。

### FAO/IAEA 支持的土壤和作物科学方面的培训活动

来自世界各地的许多学者通过 FAO/IAEA 核技术用于粮农联合处组织的培训班和各种活动受到了培训。从 1978 年到 1994 年, 举办了 18 期培训班, 共有来自 80 个国家的 345 名学员参加。从 1962 年到 1994 年, 另有 142 名科学进修人员接受了培训。下表所示为受训人员和进修人员的地理分布。



注: 图中所示为与土壤肥力、灌溉和作物生产科及 IAEA 塞伯斯多夫实验室的土壤科学股组织的活动有关的数据。

● 由于这种用量增加的结果,从土壤—植物系统流失的天然土壤中的和作为肥料加入的氮的数量将越来越大,而且最终会进入环境。尽管如此,通过开发改良的土壤氮管理实践,土壤氮的水平和依条件而定的生产率仍能得到维持。

● 在某些情况下,地下水和饮水中的硝酸盐水平可能会继续上升。人们应对导致这一问题的各种源进行正当的剖析。

● 在发展中国家里,肥料氮的损失意味着相对较高的费用投入的损失。另一方面,在较先进的工业化国家里,更高的氮利用量意味着环境质量和健康保护问题以及相关费用的增加。已产生的数据和评议过的信息告诉我们,这些问题可通过改善农业系统的土壤和水的管理而得到控制。尤其是,在更好地开发替代氮源,诸如豆类作物和非豆类作物的生物固氮和(或)生物肥料方面,看来潜力巨大。

● 联合国的一些机构,诸如 FAO, IAEA, 联合国环境规划署及世界卫生组织,通过改进与相应的区域计划和一国计划的合作,在实施所需的改进措施和满足短期的研究需求,以及推动同时所需的教育与培训方面,具有极其重要的和紧迫的作用。

### 支助性的服务和活动

为确保用于农业开发工作的核技术的顺利传播,FAO/IAEA 联合处同时在开展好几项活动。设在塞伯斯多夫的 FAO/IAEA 农业与生物技术实验室的土壤科学股,提供了一系列的研究和培训支助。

**培训班。**自 1978 年以来,每年都在塞伯斯多夫实验室举办关于同位素和辐射技术在土壤—植物关系研究中的应用的跨区域培训班。每期培训班通常持续 5—6 周,可由来自各个地理区域的 20 名学员参加。此外,机构还为一国的和区域的培训班提供支助。

**进修培训。**每年约有 10 名科研进修人员在塞伯斯多夫土壤科学股接受培训。这样的进修人员有两类。分析方面的进修人员接受为期 2—3 个月的培训,主要学习土

壤—植物研究工作中使用的同位素分析技术(例如,利用发射光谱测量术分析氮—15 的技术)。这种培训方式包括上技术课和实际操作两部分。研究方面的进修人员接受为期 6—12 个月的培训,参加 FAO/IAEA 工作计划内某个课题的研究工作。他们接受有关实验策略的指导,并接受与他们回国后将要从事的某一特定领域有关的同位素和相关技术使用方法方面的指导。预期他们将完成一项研究工作并写出论文。

此外,IAEA 还组织短期的科学访问,参加者通常是高级科学家。给予发达国家和发展中国家科研人员的其它培训机会,包括担任免费见习员、免费专家或有关的专业类官员。

**研究支助。**这些年来,通过 CRP 和其它机制建立了许多国际的和区域的研究网。FAO/IAEA 土壤科学股提供了许多支助服务,包括每年替发展中国家的研究项目分析大约 15 000—20 000 个样品。还给特定研究项目的参加者寄送氮—15 标记的肥料。给接受 IAEA 的技术援助且缺少合适设备的发展中国家实验室提供进一步的分析支助。为了日常的分析工作的需要,该股在开发和传播 IAEA 技术援助项目中使用的氮—15 分析技术方面起牵头作用。

**质量保证服务。**最近的一项倡议要求建立利用发射光谱测量术进行氮—15 分析的国际质量保证服务。土壤科学股的设施将充当 FAO/IAEA 质量控制的“参照”实验室。预期这项服务将:

- 确保由各个地方实验室产生的氮—15 数据是国际上可接受的;
- 使各国的对应方增强对它们的分析程序的信心;
- 促进区域合作和确保通过 FAO/IAEA 的计划把氮—15 技术传播给发展中国家;

这项服务标志着全球在有效传播造福于民的核和同位素相关技术方面又迈进了一步。它将使发展中国家能够在将这些强有力的工具用于农业的可持续发展方面积累自己的专门知识。 □