



由被指定参加国际切尔诺贝利大会的 FAO 参加者、IAEA 塞伯斯多夫实验室内的 FAO/IAEA 农业和生物技术实验室主任 John I. Richards 和 FAO/IAEA 核技术用于粮食和农业联合处农业化学品和残留物科科长 Raymond J. Hance 提出的报告。

**切**尔诺贝利事故的教训之一是,距离事故场址数百甚至数千千米的农业耕作易受核事故的影响。因此,不管一个国家是否拥有自己的核计划,都需要就可减少农产品污染的对策制订计划。这类计划的主要目的应是,将农作物和动物产品的放射性污染减至最小,并尽可能和尽快恢复土地的生产使用。这些目的必须使政府付出的费用与给人体健康带来的好处相平衡,使日常生活所受干扰与社区所获福利相平衡。这些计划需要明确规定食品和饲料须进行干预的辐射水平;并且需要包括一系列对策,以便在各种可能的事故后实施这些对策保护农业。

国际上已为制定干预水平确定了若干准则。总的来看,食品法禁止不安全的污染水平,但不区分污染物是农药残留物、重金属、毒枝菌素、病原微生物,还是放射性核素。针对对健康风险低或难完全消除的低污染水平,要确定一些允许食品被买卖和消费的污染水平。这样的限值必须毫不含糊,以便易被所有与执行这些限值有关的人理解。

FAO/WHO 食品规范委员会已制定了适用于进入国际贸易的食品的国际放射性核素污染水平。(见表。)许多国家在它们的国家法规中采用了这些标准,其部分原因是国际上认可的干预水平有助于维持对国家主管部门的信任、信心和信赖,并防止相反情况下沿相邻国家边界可能出现的异常。此

外,食品规范委员会的标准还将为世界贸易组织所采用。

这些水平是以若干保守假设为基础的,以便确信对终身接触基本上没有影响。因此,在没有替代食品的情况下,较高的水平在短期内是可以接受的。另一方面,例如在外部辐射对总剂量有高贡献的情况下,较低水平或许是适当的。

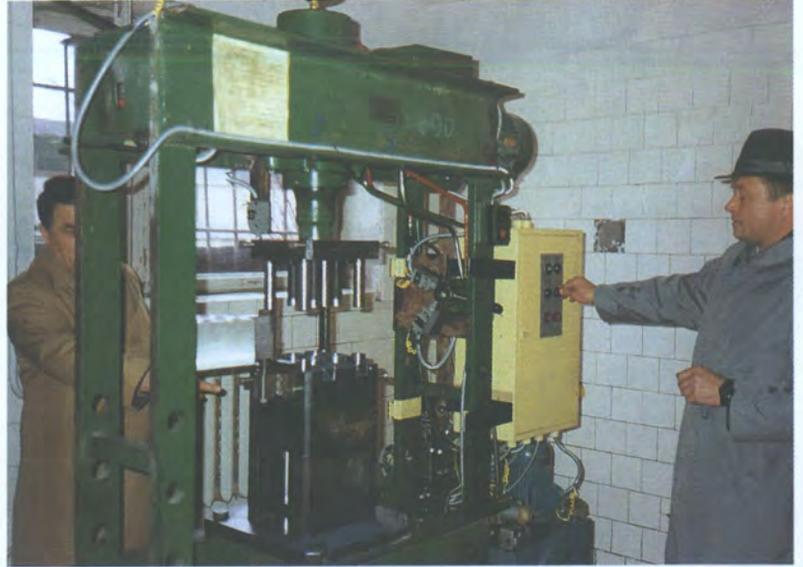
在这种背景下,可以看到农业对策的一个重要目的是,最大限度地生产出能通过干预标准的粮食量。

## 农业对策

FAO/IAEA 核技术用于粮食和农业联合计划,以三种方式处理过农业对策问题。第一种方式是,尽可能多地将切尔诺贝利事故后获得的信息和经验集中起来以便制定农业对策的细则。第二种方式是,帮助受影响成员国制定和实施具体对策。第三种方式是,支持能够产生可用来完善现有对策和制定新对策的数据的工作。

《放射性核素事故释放后的农业对策细则》(IAEA 技术报告丛书 No. 363, 1994)。切尔诺贝利事故促进了大量科学研究,使处理事故后果的人获得了许多实际经验。这份由 19 个国家的近 40 名科学家编写的文件,总结了所产生的信息。其目的是就制定应急响应计划,提供一般建议。主要内容有:引入农业对策的总体战略;对可用于决策现有对策的评述;和国家具体细则制定导则。(该文件俄译本为 IAEA TECDOC-745。)

为保护农业部门(人、土地、农作物和牲畜)免受核事故影响而采取的措施的有效性取决于预先制定的计划。《细则》概述了制定这种应急计划的战略。这种应急计划不仅应规定采取迅速短期行动要遵循的准则,还应规定采取长期行动要遵循的准则。后一种行动对维持公众对主管部门能力和诚实的信任极有用。



在白俄罗斯南部受切尔诺贝利事故放射性沉降物影响的地区,小农户正在运用一些对策来减少牛奶、肉和其他产品中的污染水平。他们正得到由挪威政府和 FAO/IAEA 联合处支助的一些项目提供的援助。照片所示为该地区一个典型小农户;用于混合“普鲁士兰”化合物和压制药丸的设备,这些药丸可用来降低奶牛体内的放射性铯水平;以及正在对喂服了普鲁士兰的牲畜进行身体  $\gamma$  辐射监测的科学家。(来源:Richards/IAEA)



国际贸易中采用的事故性核污染后食品中放射性核素的指导水平

| 单位摄入量因子          | 代表性放射性核素            | 水平(Bq/kg) |
|------------------|---------------------|-----------|
| <b>一般消费食品</b>    |                     |           |
| 10 <sup>-6</sup> | 铯-241, 铯-239        | 10        |
| 10 <sup>-7</sup> | 铯-90                | 100       |
| 10 <sup>-8</sup> | 碘-131, 铯-134, 铯-137 | 1000      |
| <b>牛奶和婴儿食品</b>   |                     |           |
| 10 <sup>-5</sup> | 铯-241, 铯-239        | 1         |
| 10 <sup>-7</sup> | 碘-131, 铯-90         | 100       |
| 10 <sup>-8</sup> | 铯-134, 铯-137        | 1000      |

注: 这些水平只适用于事故后进入国际贸易的污染食品的放射性核素, 不适用于饮食中经常存在的自然发生的放射性核素。食品规范委员会的这些指导水平在核事故后一年内依旧适用。所谓事故是指这样一种状况, 放射性核素向环境不可控制的释放使将进入国际贸易的食品受到污染。

《细则》确认考虑对策分两个不同阶段。在规划和准备对事故作出的响应时, 应联系各种可信事故情景对一些可能的保护行动作大体评估。据此, 可以制定事故后立即可用的和短期可用的第一批行动准则。这些行动计划需要一个数据库, 应包括有关铯和锶同位素在当地土壤、水、植物、牲畜和鱼之间迁移的数据。这些同位素是最有可能给农业带来不止是短暂问题的同位素。此外, 它还应包括有关土壤、气候类型、当地饮食偏好和一些可行对策及其代价的估计值的数据。还必须建立放射性同位素分析实验室网络。

第二阶段一般开始于实际事故发生一段时间以后。届时, 已掌握了有关事故性质和可能后果的具体资料, 于是可以考虑采用具体的保护措施。不过在很多情况下, 对策的选择将受该地区社会因素和基础结构的限制, 所以决策用数据库将这类资料也包括

在内是重要的。

《细则》接着继续考虑具体的农业对策, 并评估其效力。这类对策处理的是人群中的长期健康效应问题; 辐射照射对植物和牲畜的较直接影响未被直接考虑。

在放射性落下灰沉降之前或沉降期间可采取一些措施, 如让牲畜进舍, 遮盖贮存的饲料和粮食。如果警告及时, 在沉降发生前收获农作物(草、谷物、经济作物)或许是可以做到的。

沉降发生后的前几个星期适用的对策特别是要减少碘-131 等短寿命放射性核素产生的照射。因此, 农作物可被收割和贮存, 或推迟收割, 使放射性在消费前衰变掉。同样, 可将被碘-131 污染的牛奶转化成可贮存的产品(如奶粉、奶酪)。

一旦放射性污染在生物圈散布开来, 便需要采取范围更广的对策。采取的这些对策中, 要考虑相关放射性核素从土壤向食物链的迁移。例如, 由于植物的矿物质摄取量与各种离子的可获得总量和相对丰度有关, 所以施用高含量钾肥可以减少放射性铯的摄入量; 施用石灰肥料, 通过增加钙含量可以减少放射性铯的摄入量。有时, 可以换种比一个地区通常的种植物积累放射性核素更少的作物或品种—例如, 用谷类作物代替多叶蔬菜和牧草。另一种可行做法是, 在能加工可食用产品并且污染得到降低的地方种植甜菜和油菜之类作物。为了在一切可能的地方维持某些形式的农业活动, 必须考虑种植纤维用亚麻和棉花、润滑油或生物燃料用油籽, 和观赏植物等非粮食作物。最后, 如果有合适的犁, 通过深耕掩埋被污染的表土对大农场来说可能是有效的方法。

通过限制牲畜对放射性核素的摄入或减少其吸收, 可以非常有效地减少牲畜产品的污染。用未受污染的贮存饲料饲养, 是第一种办法的例子。使用普鲁士兰(后面将详细讨论)是第二种办法的例子。就肉用牲畜来说, 也许只有当临近屠宰时才有必要用未受污染的饲料饲养, 这是因为有关放射性同位素的生物半衰期很短, 例如铯的不同种类放射性同位素生物半衰期约为 2—4 周。从

| 牧草污染水平<br>(Bq/kg) | 日摄入量<br>(kBq) | 肉                     |                               | 牛奶                    |                               |
|-------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
|                   |               | 铯-137 平衡水平<br>(Bq/kg) | 服用药丸后的<br>铯-137 水平<br>(Bq/kg) | 铯-137 平衡水平<br>(Bq/kg) | 服用药丸后的<br>铯-137 水平<br>(Bq/kg) |
| 250               | 17.5          | 280                   | 90                            | 112                   | 34                            |
| 500               | 36            | 700                   | 234                           | 280                   | 94                            |
| 1000              | 70            | 1400                  | 450                           | 550                   | 186                           |
| 1500              | 105           | 2100                  | 700                           | 840                   | 280                           |
| 2000              | 140           | 2800                  | 920                           | 1120                  | 374                           |
| 3000              | 210           | 4200                  | 1400                          | 1680                  | 560                           |
| 5000              | 350           | 7000                  | 3000                          | 2800                  | 920                           |
| 10000             | 700           | 14000                 | 4600                          | 5600                  | 1860                          |

该表说明牧草污染水平和肉及牛奶中铯-137 水平间的关系,以及投放药丸对肉和牛奶水平的影响。

\* 假设每头牲畜日摄入鲜草 70 kg。

理论上说,这种办法应该辅之以监测屠宰场或农场的活牲畜,以确定哪些牲畜需要继续使用未受污染饲料饲养一段时间。对于猎物,在动物有季节性觅食习惯的地方,改变狩猎季节也许有效。例如,可能受到严重污染的蘑菇和地衣常常在秋季最充足,所以在此期间不应狩猎动物。

这只是对策的一些例子;还有更多的可行做法。不过,要就是否实施这些对策和哪些对策合适做出决定,需要取得有关放射性污染的性质和程度的资料。由于要产生有效的响应需有可观的基础设施,因此《细则》中有一大章节与组织结构有关。最后,该文件简单回顾了部分国家对切尔诺贝利事故的响应。

#### 在受污染地区帮助采取对策

切尔诺贝利事故后,在白俄罗斯、乌克兰和俄罗斯西部实施的许多对策,使国营和集体农场生产的牛奶和肉的放射性铯污染大大减少。不过,由于经济原因许多对策难

以被小规模农场实施。1990年,多达 50 000 头奶牛仍在产出超过临时允许水平或 TPL 的牛奶(在白俄罗斯为 111 Bq/L;在乌克兰和俄罗斯为 370 Bq/L)。因此,需要一种简单、有效和费用低的替代方法。

由挪威政府发起的一个项目,制定了用所谓“普鲁士兰”(PB)的若干化合物的混合物降低驯养和野生反刍动物的放射性铯水平的对策。该项目以联合国名义实施,涉及挪威农业大学和辐射卫生研究所、乌克兰基辅农业放射学研究所、白俄罗斯奥布宁斯克农业放射学全联盟研究所分所,以及贝尔法斯特女王大学。IAEA 塞伯斯多夫实验室、FAO/IAEA 核技术用于粮食和农业联合处和 IAEA 核安全处向三个国家的主要对口研究机构提供了在影响最重村庄进行试验所需的合作、专家服务、设备和材料。

1990—1992 年进行的成功试验涉及白俄罗斯 21 个村落的 3000 多头牛、乌克兰 54 个村落的 10 000 头牛,以及俄罗斯一些村庄的许多牛。此后,三国农业部长都批准在牲畜中广泛使用 PB,以减少牛奶和肉中的铯-137 含量。

#### 对策对牛奶和肉中铯-137 水平的影响

| 益处         | 说明   |
|------------|--|
| 个人剂量减少     | 总体减少约 60% (在从土壤进入到草的摄入因子特别高的地区可能达 80% 以上)            |
| 集体剂量       | 可能达几百人·Sv; 因为独联体(CIS)正在采用极低的 TPL, 所以集体剂量较低。然而费效比高。   |
| 额外牛奶产量     | 每年额外又有 5000 万升牛奶符合 TPL, 不需要分配“清洁”饲料和牛奶。              |
| 牛奶生产所需清洁饲料 | “清洁喂养”所需时间可减少 40—50 天, 从而使所需的“清洁”草场面积减少到 1/5。        |
| 社会益处/心理益处  | 约 50 000 农民可恢复传统耕作, 同时其福利感觉和生活质量有所提高。许多预定迁居的农民将不必搬家。 |
| 补偿         | 因超过年标准而得到补偿的人数可减少约 50%。                              |

### 使用普鲁士兰化合物的益处小结

“普鲁士兰”指若干铁的六氰铁酸盐; 氰铁酸铁氨 (AFCF) 可能是最常用的铯束缚化合物。以药丸形式喂给反刍动物, 或掺入复合浓缩饲料中, 或洒入舐盐中, 或简单地喷在饲料上喂给反刍动物的 ACFE, 在反刍动物的肠内与食入的放射性铯反应形成一种络合物, 它在粪便中被排除掉而不会进入动物血液。粪中被 PB 束缚的放射性铯只能被植物缓慢吸收。根据喂入的 PB 化合物的剂量和类型, 食入受污染饲料的牛产出的牛奶和肉中的放射性铯可减少 1/2—7/8。这大大减少了对人类消费者的内剂量, 从而常常足以使村民留在污染区。结果, 减少了迁移整个村落的必要性及其伴随的创伤, 并避免了巨额费用。正如所料, 采用 PB 化合物的好处得到农场主和政府的极大欢迎。

尽管在国营和集体农场已实施了一些成功的对策, 而且在以前受到污染的土地上现在已生产出放射性核素含量低到可被接受的粮食, 但公众对来自这些地区的“清洁”粮食的认可仍是个问题。因此, 白俄罗斯和乌克兰主管部门渴望以其他方式使用这种土地。IAEA 技术合作司通过其与粮农组织的联合计划, 目前正在支持白俄罗斯的一项旨在调查用油籽作物 (主要是油菜籽) 作为替代作物的可能性项目。初步研究结果表明, 用在放射性铯水平为 15—40 Ci/km<sup>2</sup> 的土地上产出的某些品种的油菜籽榨出的油不含这种放射性核素 (和放射性铯); 污染只限于禾秆和残留的油籽饼。1995 年, 白俄罗斯主管部门在大约 20 000 公顷的受污染土地上播种了油菜籽, 并打算把油菜籽油提炼成目前不得不进口的润滑油。如果这个项目成功, 供生产润滑油用的播种土地面积将扩大 2—3 倍。

此外, IAEA 也在帮助乌克兰提高技术和改善设施, 用于测量、控制及随后减少食品中放射性核素。该计划以奥夫鲁奇牛奶罐装联合企业为基础, 该企业每天加工 200—500 吨牛奶, 其大部分来自切尔诺贝利污染区内的农场。美国政府目前正在提供额外资源, 以协助评估商用磁分离系统用于液态牛奶去污的可能性。

**数据的产生。**白俄罗斯正在通过 IAEA 的这项技术合作计划得到援助, 获取更多有关土壤、森林和水体中放射性核素存在和迁移的数据。这些数据将用于预测把污染地区恢复到正常经济活动有多大成功可能性和所需的时间。

### 运用取得的经验

有关放射性核素在生物圈的不同组成部分间迁移的数据和处理核事故后果的经验, 大多局限于温带地区, 主要是欧洲的温带地区。不过, 世界有些地方的核电站如果发生事故, 可能会影响到热带国家。因此, 正



在实施一项涉及 IAEA 辐射与废物安全处和 FAO/IAEA 联合处的协调研究计划 (CRP), 目的是测量放射性铯和放射性锶从土壤进入到主要热带作物及从水进入到热带鱼的迁移因子。这些数据对于规划对策和确定热带工业废物中放射性核素的可允许水平将是重要的。此外, 还有计划要设立另一项 CRP, 以考察在欧洲已证明有效的对策在热带条件下的效力。

在设计和实施农业对策时, 应更多地考虑整个被污染环境尤其是森林和水体的管理问题, 因为它们同农业用地有种种相互作用。有必要针对牲畜饲料和草场制定二级参考水平(所谓“操作干预水平”)。这需要额外的有关迁移因子的数据, 或至少要重新考查现有的知识。

现在已有一系列农业对策, 可用来减少

食物链中放射性铯污染的影响。在放射性锶污染方面, 情况有些不同。为改善这种状况, 需要进行大量实验室和现场研究与开发工作。例如, 虽然已提出若干种材料用于选择性地吸收/吸附食品中的锶, 但因数据不充分, 尚无一种被明确推荐。对于液体食物产品, 目前有商业上现成可用的过滤器和磁分离器等替代手段, 尽管它们还未在受污染地区中普遍存在的条件下接受过严格评价。

总之, 切尔诺贝利事故突出了这样的必要性: 每个国家制定好一套农业对策, 以备核事故情况下立即使用。在许多对策的效用和为实施这些对策所需的基础设施的效用方面, 已取得许多经验。为确保这些经验得到运用, 还要做工作。这一点对热带环境特别重要, 因为我们的经验大多是在温带气候条件下取得的。 □

在白俄罗斯, IAEA 支持的一项技术合作项目正在调查用油菜籽(背景)作为某些受污染土地可替代轮作作物的可能性。

(来源: Richards/IAEA)