

## 热带海洋环境中的农药:对其去向的分析

墨西哥及其它一些国家利用核技术项目调查农药对水生生态系统的影 响

F. P. Carvalho  
和 R. J. Hance

尽管对经济和人口发展趋势的预测明显存有争议,但是到 2050 年大约将有 110 亿人口要供养,似乎是比较认识一致的。这个数字约为 1990 年的人口数的两倍。同时,现有的农业土地面积将由于城市化、侵蚀和沙漠化而减少。据预测,1981 年的人均 0.3 公顷可耕地,到 2000 年和 2050 年可能将分别减为 0.22 和 0.13 公顷。

看来几乎无疑,农药仍将是许多农业系统必不可少的一部分。据估计,单单是虫害就会使世界农作物损失约 1/3,没有保护庄稼的化学药品,粮食产量将可能会再减少 30%—75%。因此,世界范围每年使用大约价值 260 亿美元的 500 万吨农药,是一点也不令人吃惊的。

毫无疑问,农用化学品的使用将会更精细,因为增加农药使用是根据不同生物和栽培战略而定的,但是不再使用农药是很难想象的。就发达国家来说,是否将继续目前所用农药和用法,这一点还不很明确。(见第 17 页图示。)而在发展中国家,似乎仅仅由于经费问题还不可能使所用的农药迅速改变。

### 环境和健康问题

与可能被视为环境污染物的其它化学品不一样,农药是经过慎重考虑用到环境

的,并且是针对使某些生物体或其它有机体致命而研制的。某些农药缺少特效和在某些地区不负责任的滥用,已经产生了不良的影响。

使人最先普遍认识到农药对非靶生物体有影响的是 DDT 事件。DDT 和其它有机氯(OC)农药的主要不利效应是使鸟类的繁殖受到损害。DDT 可以使有些鸟类的蛋壳厚度变薄,以致极大地降低蛋的孵化率,造成鸟群减少。比较起来,有机磷(OP)农药和较少使用的氨基甲酸酯的主要效应则是直接的致命性。这些杀虫剂的作用机理是抑制乙酰胆碱酯酶的活度,使害虫神经功能发生紊乱和导致最终死亡。

不管农药作用方式如何,破坏还是大大减少某些种群,它们都可改变某一生态系统的结构(物种丰度、生物密度和种的多样性)和某生态系统的功能性活力。当捕食生物的种群受到影响时,具体的利害关系就发生变化,以致被捕食的种群就会自由蔓延。

尽管这些化学药品的环境事件在生产 和应用领域可能经常出现,但是在近几年,几乎每个地区有关农药残留物浓度高的报道迅速增加。人们已对大气、雨水、地表水和地下水、土壤及食物中的痕量农药进行了测量。由于农药的广泛使用,大多数人群受到食物和饮水中低浓度农药的慢性影响。要对人类继续接触农药的可能影响进行评估几乎是不可能的,因为接触的量很小,而且化合物的置换和结合量又很大。由于已观察到某些这类化合物对实验室动物的慢性影响,因此人们的担心是有某些理

Carvalho 先生系 IAEA 设在摩纳哥公国的海洋环境实验室的工作人员,Hance 先生系维也纳 IAEA 总部 FAO/IAEA 粮食和农业核技术联合处农用化学品和残留物科科长。



IAEA - MEL 的海洋科学家进行关于中美洲热带泻湖中农药的行为的试验研究。下图：哥伦比亚附近马尔佩洛岛沿海水域中的大量鱼群。(来源：IAEA - MEL; Aldo Brando Bogota。)



由的,即使实验室所用这类化合物浓度高出实际几个数量级。

### 改进环境管理

虽然保护作物免受疾病、虫害和杂草的影响是必要的,但是人类仅仅依靠驯化的作物和家畜是不能生存下来的。自然环境中的生物群数可能在 500—1000 万种之间。它们处在各种各样的主要活动中,包括再循环有机物和无机物,稳定土壤,净化水资源,保持生态系统内能量流动,使作物和天然植物授粉,以及使气候稳定。由于这些活动,大多数(如果不是全部)这些物种对于保持环境质量和地球上生命的存活率是至关重要的。滥用农用化学品会使许多物种处于危险状态,从而危及功能性生态系统的保存。此外,不适当地使用农药甚至会给公众健康造成直接危害,因此,训练如何使用这些物质乃是当务之急。

除去自杀,人类急性中毒基本上限于农业工人,主要是在混和或施用农药时接触所致。据世界卫生组织(WHO)估计,这种职业中毒的人数每年多达 100 万,其中有

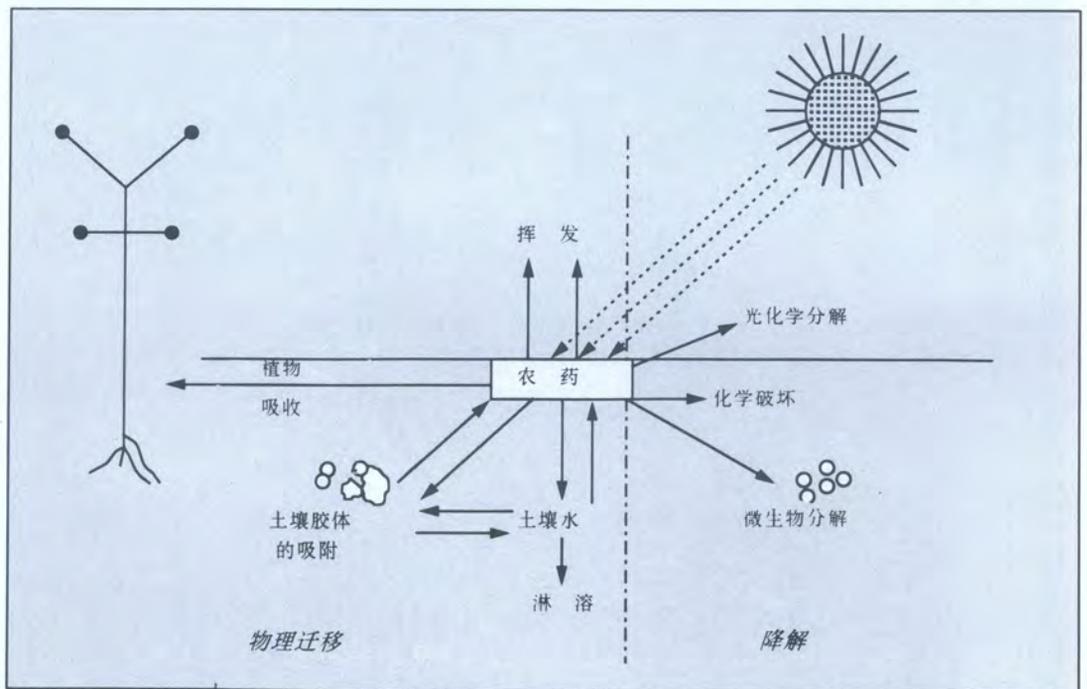
20000 人中毒致命。较好地遵守农药安全管理建议,这些情况基本上可以避免。这些建议要求农药施用人员有较好的有关知识和专业训练,并对雇主施加压力。现在,多数国家正在实施或制定有关这方面的法律。这些立法常常还包括有关监督食品中农药残留物和控制农药在农业使用中的条款。

控制农药使用不仅应确保食品的安全,而且还应保证农药残留物不向环境扩散。遗憾的是,许多发展中国家缺乏实施有关农药法律的资源,所以这些目标虽好,但还没有到处都能达到。许多小土地占有者,在使用农药可提高作物产量的刺激下,施用了过量的农药,幻想能获得更好的收成。一个结果就是大量农药进入江河,从而使海洋中也出现了农药。

### 海洋环境中的农药

40 多年前采用的第一代农药包括了一些有机氯化物(OC),例如 DDT、狄氏剂和毒杀芬。按照后来的标准,这些农药在环境中的持久性是不能接受的,尽管在使用

作用于环境中有机化学品的各种过程



的当时,这一特性还被认为是一个优点。因此,现在已越来越少使用这些化合物,并且在许多国家已不允许或严格限制使用这些农药。

有机磷化合物(OP),如对硫磷、马拉硫磷、毒死蜱以及氨基甲酸酯和合成除虫菊酯类,已逐渐替代了OC农药。约有100种OP化合物可在市场上买到。

一般来说,比起OC农药,OP农药对哺乳动物和无脊椎动物毒性更大,但是在环境中的持久性要短些。然而,每种物质都有其自身的特性。众所周知,农药在环境中的持久性取决于环境条件——比如对某种化合物能起破坏作用的光照、湿度、酸度和微生物活动等,但在许多情况下,这些因素的确切作用及其相互作用则是鲜为人知的。总之,这些物质对非靶生物体影响、在生物体中的积累或它们转移到食物链的更高食性层次,也大体为人所知。但是对具体情况的预测则是不能肯定的。

有证据表明,OP化合物有一定的稳定性,足以在进入海洋环境后保持能够影响水生动物群和植物群的浓度。它们在极低的浓度(毫微克—微克/升)下对无脊椎和脊椎水生动物也是有毒的。虾和鱼类对这

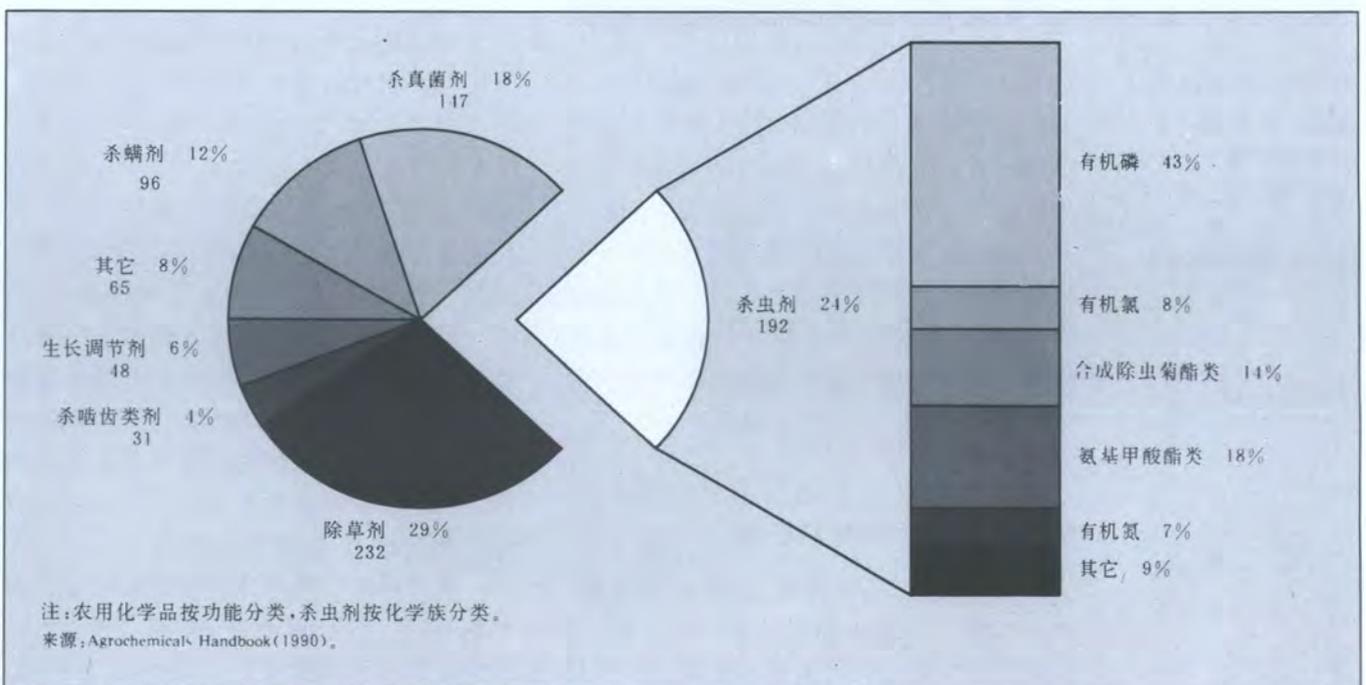
种化合物特别敏感。

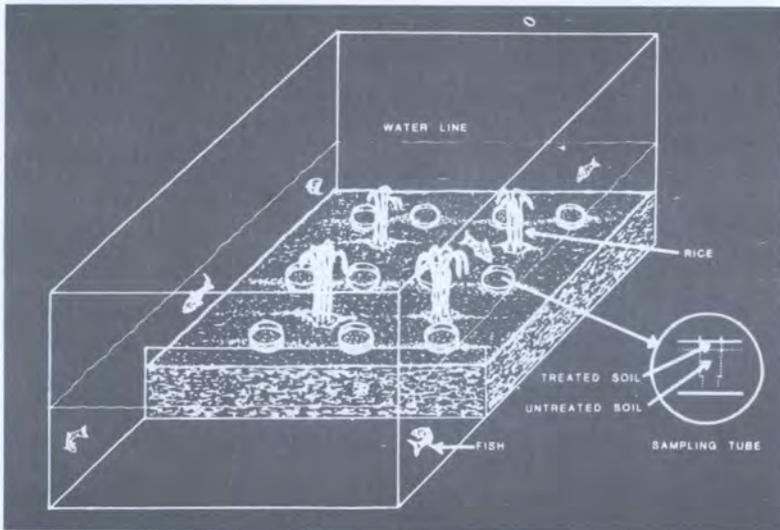
同有关农药在温带地区的去向的资料相比,有关农药在热带海洋环境中的行为的资料非常有限。由IAEA海洋环境实验室(IAEA-MEL)在中美洲地区滨海泻湖进行的初步调查表明,沉积物和水生生物中的DDT及其代谢物的浓度很高。还发现,OP化合物(比如毒死蜱)是这些泻湖中分布很广的污染物。

滨海泻湖出现农药并非是完全出乎意料,因为主要农业区都处在沿海平原和河谷地区。不过,一般认为OP化合物持久性不长,因此,它们在泻湖中出现是出乎意料的。然而,据报道,在港湾和滨海泻湖生态系统有时有大量鱼虾死亡。虽然通常不能明确地证实有这种药剂存在,但是人们已经怀疑毗邻农田使用的农用化学品是使这些鱼虾致死的毒药。

港湾和滨海泻湖是特别丰富多样的生态系统,通常为沿海渔业提供育苗场。此外,它们通过将有机物质输向海洋,对控制沿海区的生物的繁殖率是非常重要的。这些生态系统还为软体动物(牡蛎、蛤蜊、贻贝)、虾和鱼类的生长提供极其有利的条件,因此,其本身就是非常重要的渔业资

商业农用化学品的分配





露天稻田是难以进行试验的环境,科学家们经常利用模型——如这里所示的一种水稻—鱼类生态系——对农药进行同位素研究。

源。在许多国家(日本、墨西哥、越南),滨海泻湖被用来养殖虾和牡蛎,因此是重要的经济财富。因而,保护这些泻湖生态系统和改进海洋管理措施乃是迫在眉睫的事情。

了解农药在环境中的去向对风险评价和管理部门决策是至关重要的。使人为难的是,用以评价其潜在影响的有关农药在陆地和海洋热带环境中的去向和行为的资料却很少。

#### 核技术在农药研究中的应用

在研究农药在环境中的去向方面,碳-14标记分子的应用已有一些年头,它为研究陆生环境和水生环境提供了一种重

要手段。用这种技术可在实验系统跟踪一种化合物,并清楚地鉴定和量化极低浓度的分解产物。因为只测量放射性碳,在很多场合,对样品的净化不象用其它技术(如色谱法层析)要求的那么严格,因此,可以廉价地利用标准液体闪烁设备对大量的样品迅速进行处理和测量。

IAEA 和粮农组织(FAO)联合处农用化学品和残留物科和 IAEA 塞伯斯多夫实验室农用化学品股的计划,始终坚定地利用这些技术对农药的行为和去向进行研究,这涉及到对生物、物理和化学过程的研究。在隔离的实验室系统,利用碳-14 标记的化合物研究每种过程更为容易。例如,研究农药在土壤中固相(吸附的)和液相(溶液中)之间的分配动力学,尽管可用无标记化合物在短期内进行研究,但如果研究要持续若干天以检查农药是否已经发生分解的话,则确实需要利用碳-14 标记化合物进行研究才行。

如想对所有过程有一个全面了解,同位素的应用几乎是至关重要的。显然,人们不能在露天稻田使用放射标记化合物。但是,在一个封闭式的生态系统中,放射性同位素可以安全地用来估计控制条件下的农药分布和持久性。当然,这种情况不可直接外推到大田方面,但是它的确告诉我们,在其后的大田监测研究中可能遇到哪些化合物以及它们可能处在什么位置。

根据 IAEA-MEL 与马萨特兰墨西哥国立自治大学协作执行的一项正在实施的研究项目,借助这些技术对热带泻湖中农药的行为进行了研究。研究结果表明,这些技术一旦在模拟的泻湖生态系统中采用,OP 化合物(如毒死蜱)即迅速在水和悬浮微粒之间分配。附在微粒上的一部分农药被固定并持续很长一段时间,而溶液中的农药则因水解和微生物代谢作用而迅速降解。悬浮物质粘合的农药和沉积物可能缓慢地释放,并为海底生物所得。

模拟热带泻湖条件进行的小宇宙试验表明,低浓度的 OP 农药(微克/升级)可导致大量的虾和鱼类死亡。此外,试验表明,

农药在软体动物、虾和鱼体内细胞组织中的累积非常迅速(数分钟到数小时),可产生的浓度比周围水域中农药浓度高出 3-4 个数量级。可以认为,原来预料的由于热带泻湖环境周围高温、光解和大量微生物作用,应发生的 OP 农药迅速降解并没有发生。这可能是因为沉积的颗粒吸附和有机物质保护了它们。

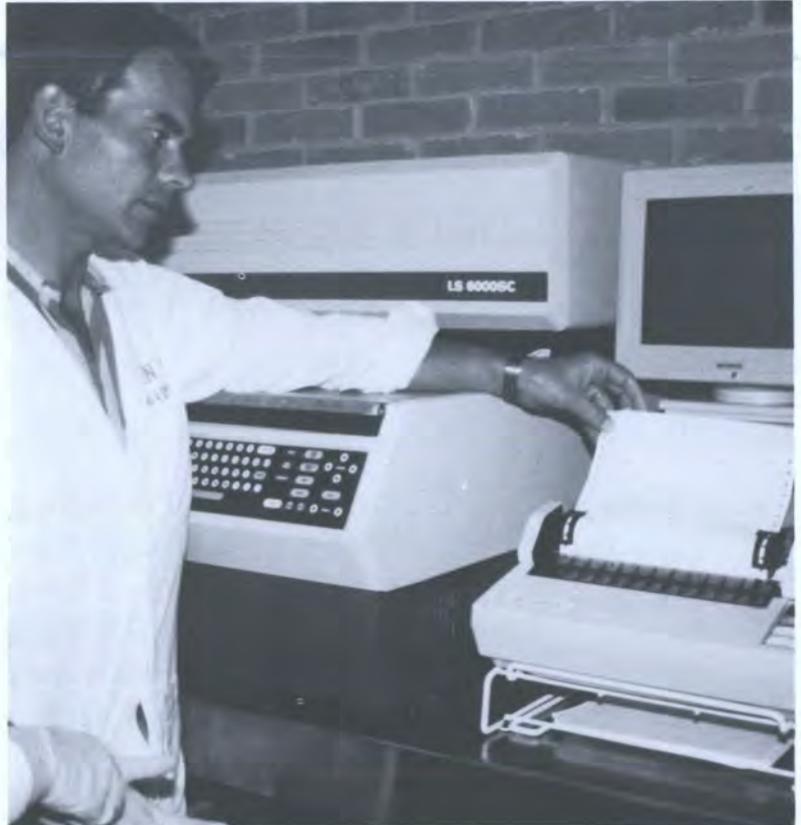
顺便说一句,这是农药研究常见的一个实例,研究结果可以予以解释,但不能有把握地加以预测。在这样的情况下,吸附(束缚)减少了破坏率。这大概是由于农药溶液浓度降低,使得微生物和光化学反应的影响减少。不过,可以预料,胶体表层附近的微生物密度比周围溶液中的微生物密度要大。某些吸附部位可以催化降解反应,这也是人所共知的。这两种情况都将提高降解率。人们大量研究了吸附对土壤中农药的持久性的影响。在某些情况下,吸附减少降解;在某些情况下,它又加剧降解;而在其它情况下,它则没有影响。如果在海洋系统没出现同样的多样性,那将是奇怪的,因为根据已知的机理,可以对这些观察加以解释,但是根据现有的知识则不可能对它们进行预测。

墨西哥计划的这种结论强调了进一步评价农药残留物对热带海洋环境污染的必要性。显然,为了评价农药对这些生态系统的影响,我们需要更多地了解有关农药的分布、持久性和去向以及控制各种过程的因素。

#### IAEA 支持的未来研究

为了开发相关的研究,IAEA 正在通过其设在摩纳哥的实验室和 FAO/IAEA 联合处,组织一项协调研究计划(CRP)。该计划题为《农药在热带环境生物群中的分布、去向和影响》;由瑞典国际开发署(SIDA)提供支助。研究将集中在这个问题的各个方面,包括:

- 检查选定的研究区内目前农药使用方式;



- 测量海洋环境中农药残留物水平;
- 海洋和陆地模拟生态系统中放射性标记农药的破坏和转化;
- 有关不同环境部分(水、沉积物、悬浮物质、生物群和大气)之间农药残留物分布的研究;
- 有关农药在沿海地区动物群落和植物群落的累积和影响的微生态系统试验;
- 制作所获得的数据的模型并用于提出“沿海地区统一管理”概念。

该协调研究计划将有来自约 15 个已有农药研究或正在开发农药研究的成员国的人员参加。这项 CRP 的成果应有助于扩大现有的有关残留物在热带沿海地区对环境污染的知识,以及有助于对残留物的潜在后果进行评估。

为帮助成员国实施切实可行的措施,使农业的受益与保护其水生资源相一致,将提出一些有关改进热带沿海地区敏感生态系统管理的建议。 □

IAEA 海洋科学家为墨西哥研究人员提供放射性示踪剂技术的培训。(来源:IAEA - MEL)