

跟踪热带地区所施用农药的一个国际研究项目的成果

F. P. CARVALHO, D. D. NHAN, C. ZHONG, T. TAVARES 和 S. KLAINE

本世纪 40 年代以来,世界农药用量一直以每年约 11% 的速率稳步增加,在 1995 年达到 500 万吨。农药和化肥在农业中起着重要的作用,有助于提高粮食产量。

现代发展趋势,正在使这种情况渐渐地发生变化。由于正在推广各种生物学耕作法,因而农用化学品的用量正在减少,但这主要发生在发达国家中。在大多数国家里,农用化学品在可预见的将来仍将是农业实践中不可或缺的组成部分。

热带经济作物——例如香蕉、咖啡、棉花和蔬菜——的农药施用量,尤其是杀虫剂和杀真菌剂的施用量,比温带作物的多得多。例如,在哥斯达黎加的香蕉种植园中,每公顷施用的农药(有效成分)达到 45 公斤,而在日本施于农作物的类似农药平均只有 10.8 公斤。

专家们估计,所施农药只有很小部分——小于 0.1%——能够对目标害虫起作用;多余的农药都进入

了环境,因而有可能污染土壤、水和生物群。为了能可信地评估与施用农药有关的危害,弄清楚这些农药的去向和对非目标物种的毒性是必不可少的。

农田一般位于海滨平原和河谷,因此农业生产过程排出的废物会流入这些河流,并被带到河口和近海。例如,美国密西西比河 1989 年把中西部玉米和大豆种植区排出的估计为 430 吨的莠去津带入墨西哥湾。

农药残留物的环境影响及其对人体健康的影响都是很受关注的问题。有关滴滴涕和多氯联苯在人体中的类雌激素行为的最近研究结果说明,乳腺癌与这些化合物密切相关。此外,由于人们对有机污染物(农药和工业有机化学品)的环境持久性的

了解日益增加,最近促使许多国家政府就《持久性有机污染物公约》在国际上达成协议,决定逐步淘汰若干种有害产品,包括滴滴涕、多氯联苯和其他的氯化烃。不过,将几百种新旧化合物用作农作物保护化学品的状况仍会在世界各地继续下去。我们的紧迫任务是要制订出有利于高产、有益于健康和经济上有生命力的农业与自然资源保护共存战略。

为完成这个任务,需要在承受巨大农药负担的生态系统方面做更多研究工作。有关农药的环境循环、去向和影响的研究工作,大多是在温带气候(北美和西欧)条件下进行的。有关这些化学品在热带生态系统中的行为的资料很少。

为帮助填补这一资料空

Carvalho 先生是摩纳哥海洋环境实验室海洋环境研究实验室主任; Nhan 先生是越南河内核科学技术研究所研究人员; Zhong 先生是中国广州中山大学教授; Tavares 女士是巴西巴伊亚联邦大学教授; Klaine 先生则是美国南卡罗来纳州克莱姆森大学教授。

利用放射性同位素研究农药在热带环境中的行为

17个国家——孟加拉国、巴西、中国、哥伦比亚、哥斯达黎加、古巴、厄瓜多尔、印度、牙买加、肯尼亚、马来西亚、墨西哥、菲律宾、西班牙、荷兰、美国和越南——的18个实验室，参加了IAEA有关农药在热带环境中的去向和影响的协调研究计划。

这些实验室所用过的花钱最少的最佳研究工具中包括放射性示踪剂技术。研究人员在模拟系统中使用放射性同位素标记的农药，有助于研究例如农药的持久性、降解途径和农药在海洋食物链中的转移。使用标准的流体闪烁设备，研究人员能够以较低的费用迅速处理和测定大量样品。几个参加实验室正在利用这种技术，获得以前不可能获得的有关农药在热带海洋环境中的行为的数据。

有12个实验室引入了使用碳-14标记化合物的研究方法。有14个参加实验室现在正在使用气相色谱分析技术。这些实验室大多已经采用质量保证程序，包括定期参加比对活动和使用经认证的参照物质以确保数据的质量。

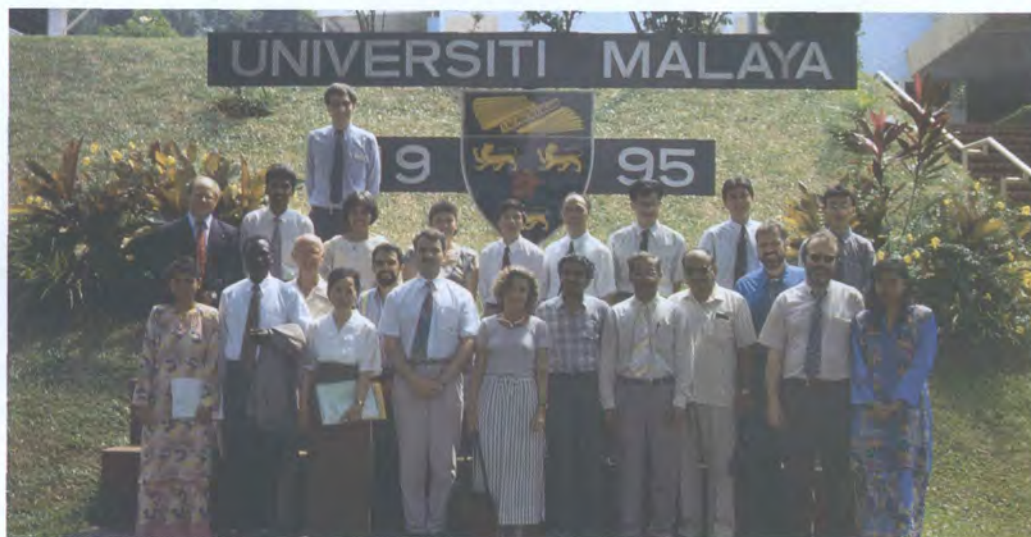
许多研究结果已见诸于各种科学论



坛，包括1996年由IAEA和粮农组织共同组织的“作物保护化学品的环境行为国际学术会议”。

在将于1998年10月在摩纳哥举行的“国际海洋污染学术会议”上，与会科学家将宣读有关他们的工作成果的14篇科学论文。（有关这次学术会议的信息见第4、5页方框。）

照片：菲律宾马来亚大学化学实验室正在进行分析工作。该大学曾于1995年6月主办了CRP参加者协调会议。



白,IAEA 建立了一个题为“农药在热带海洋环境中的分布、去向和对生物群的影响”的协调研究计划(CRP),由瑞典国际发展局提供资金。本文着重介绍这项计划的成果,包括通过一国的个案研究取得的成果。

研究目标和参与情况

这个 CRP 的技术目标是测量沿海环境中农药残留物的现有水平;借助放射性标记化合物和核技术描述农药的循环和去向;评价农药残留物对海洋生物群的影响;评估与沿海热带生态系统中的农药残留物有关的危害;以及提出有关保护热带海洋环境的措施的建议。

IAEA 收到了要求参加该计划和获取信息的大量请求。这证明该 CRP 适合诸多国家的要求,并证明许多国家愿意行动起来解决有关的环境问题。17 个 IAEA 成员国的 18 个实验室同意参加由 IAEA 的摩纳哥海洋环境实验室(MEL)牵头的这个 CRP。(见第 25 页方框。)

1994 年 6 月,在 MEL 举行了第一次研究协调会议。会上回顾了各参加国使用农药的情况和有关农药残留物污染的数据,确定了将作为研究对象的化合物和可用来达到 CRP 目标的方法。

农药的主要使用地区

世界各地的农业都在使用作物保护化学品。除草剂使用量最大的是北美、西欧和亚洲,而杀虫剂大部分用在东亚、北美和拉丁美洲。世界杀虫剂用量的约 50%用在发展中国家,尤其是热带地区,主要用于防治以经济作物为食的昆虫和家庭害虫。在今后若干年中,预计亚洲地区的农药用量会普遍增加,西欧地区则保持下降趋势。

照片:越南的稻田中正在喷洒除草剂。(来源:Carvalho/MEL)



此外,还确定了参加实验室的设备和培训需要,以便组织 IAEA 给这些实验室提供技术支持。自那以后,每年举行一次协调会议,介绍和讨论每个国家在这个项目方面取得的成果。在两次会议之间,各参加者之间通过定期印发的通报性文件维持不间

断的联系和数据交换。

该 CRP 组织过一些大型的联合活动,以满足共同的需要或实现共同的目标。这些活动包括:开设有关农药化学、水生毒理学和生态危害评估的课程(讲座);组织有关农药分析的培训讲习班(在哥斯达黎加和马来西亚各组织了一期)以对 CRP 参加者进行分析培训;以及开展比对活动,检验各实验室在分析有机氯农药和放射性标记化合物方面所得结果的准确性,并鼓励数据质量保证工作的进步。在这些活动中,用包含合适的基质(沉积物、海藻或贻贝)的海洋样品均匀混合物作测试样品。

个案研究的成果

CRP 的每个参加研究单位都曾安排进行现场调查研究,以监测各自国家沿海生态系统中的农药残留物。研究区域涵盖多种多样的生态系统,例如菲律宾的马尼拉湾、中国的珠江三角洲、哥伦比亚的卡塔赫纳湾、牙买加金斯敦港地区的几个集水区、巴西的全圣湾、越南北部的红河流域和红河三角洲,以及肯尼亚的印度洋沿海。

正如所料,在这些地区的沿海生态系统中测出的农药残留物与当地使用农药的趋势是一致的。不过,在远离

其原始使用地区的地方也可测出挥发性的化合物,它们是经大气过程输运和重新淀积在世界各地的。现将所得成果实例介绍如下:

■ **在巴西的研究。**对在巴西全圣湾若干取样点采集的沉积物和贻贝的分析结果表明,在贻贝组织中存在着滴滴涕的残留物,含量为0.24—44 纳克/克(湿重)。像渔民那样经常消费这些可食用的贻贝,会导致每天摄入75—589 纳克滴滴涕。对这样的摄入量虽然不必大吃一惊,但也应该认为是比较高的。此外,与10年前在同一地区所进行的测量结果相比,这些水平表明这个海湾中的滴滴涕浓度有所增高,尽管巴西早在1976年就已禁用滴滴涕。这种增加说明该地区的农民仍在施用滴滴涕。

除测得滴滴涕这种有机氯农药外还测得其他化合物。对同一批样品中的六氯苯、艾氏剂、狄氏剂和异狄氏剂的分析结果表明,一些地区存在这些化合物,虽然浓度一般低于1 纳克/克。

通过该CRP,一些实验室测定海洋样品中农药残留物(例如贻贝中滴滴涕残留物)的能力明显改善。

■ **在中国的研究。**在珠江三角洲进行的有关666和滴滴涕的环境调查被认为是

很有意义的。这是因为作为世界上稻麦生产大国的中国,在50年代和60年代主要使用滴滴涕、六氯环己烷和666防治虫害。1990年,中国农药总消费量达到200万吨有效成分(约占世界用量的1/3),并正式停止在农业中使用滴滴涕和666。

珠江流经广大的肥沃地区,因此有可能把这些农药残留物带入南中国海。在本CRP范围内进行的研究发现,目前通过珠江带走的农药残留物水平不高,这与今天已禁用这些农药的情况相符。

不过,在河底沉积物中和在从浮游植物到贻贝与海鸟的海洋食物链中,滴滴涕的浓度比较高,在贻贝和海鸟的组织中分别达到1.3 微克/克(湿重)和2.1 微克/克(湿重)。这些较高的浓度值显然与过去该地区使用过这类化合物有关,并证实滴滴涕在这样的环境中的存留时间很长。

■ **在越南的研究。**在越南红河三角洲进行的研究得出的结论是,红河三角洲水环境中实际上不存在艾氏剂、狄氏剂和异狄氏剂之类的环戊二烯类农药化合物。这表明,这些在美洲和欧洲一度普遍使用而现在已完全禁用的持久性化合物,在越南可能从未使用过。另一方

面,在所有样品中都可测到滴滴涕。此外,在稻田附近抓到的淡水鲤鱼中,滴滴涕浓度(13 微克/克脂质重)比欧洲标准规定的食品中最高容许水平高得多。

由于滴滴涕在越南是禁止使用的,所以这些测定结果说明主管部门需要加强对农药使用的管理。此外,鉴于红河流域人口稠密和沿河而下的河水被多次重复使用,因此有必要仔细评估各种污染问题,并应通过一体化的流域管理来解决这些问题,以改善水质和节约水资源。

■ **在墨西哥的研究。**有关锡那罗亚州墨西哥湾沿岸咸水湖中农药残留物的现场调查表明,咸水湖中有滴滴涕、艾氏剂、狄氏剂以及有机磷化合物(毒死蜱和对硫磷)的残留物。在这个咸水湖系统中发现有机磷化合物,有点令人吃惊。一般认为这类农药在这样的环境中是可以很快降解的,因而是不能持久的。源于库利阿坎河流域甘蔗和园艺种植园的这些残留物的存在被认为是锡那罗亚州养虾活动的潜在威胁。已建议地区主管部门和农民妥善处理农业废物和废水排放。

■ **在牙买加的研究。**有关牙买加境内农药残留物的研究,重点放在受咖啡种植园排水污染的山间溪流上。



除了几种有机磷农药外,硫丹是令人担忧的污染饮用水源和淡水生物群的污染物。排入沿海环境的这种山间溪流排放物使海洋生态系统受到污染,虽然污染水平不高。不过,为保护地下蓄水层免受污染,看来急需对在山坡上施用农药的情况进行严格的管理。

■ **在哥斯达黎加的研究。**在哥斯达黎加,针对两个流域的香蕉种植园来源的农药残留物的污染情况开展了一项监测计划,其中一个流域在加勒比沿海(托尔图格罗河——帕里斯米纳河流域),另一个流域在太平洋沿海(滕皮斯克河河口)。哥斯达黎加每年进口约 5000 吨农药(有效成分),其中 56%



是杀真菌剂,30%是除草剂,12%是杀线虫剂。这些农药几乎全部用在香蕉种植园。高降雨量和频繁施用农用化学品,引起残留物渗入该国的主要河流。这些河流流经位于两个沿海地区的保护区(自然保护区)。在河水中或岸边收集到的蛤中,曾检测到克瘟散、毒死蜱、二嗪农、莠灭净、虫螨威和灭克磷的残留物。不过,这些残留物对生态系统的影响仍有待评估。

■ **在尼加拉瓜的研究。**在尼加拉瓜,尼加拉瓜大学和 MEL 合作完成一项研究。这项研究旨在监测太平洋沿海主要沿岸咸水湖被农药污染的情况。该地区数十年内一直是该国的主要农业区,大部分农药也是用在这个地区。

有关多种长效含氯农药的分析结果表明,此类农药在几个咸水湖水中的浓度较低。但在奇南德加省和莱昂省棉区的沿岸咸水湖中的浓度极高,尤其是毒杀芬和滴滴涕的浓度。在那里,沉积物和蛤软组织中的毒杀芬浓度分别达到 6.9 微克/克(干重)和 1.6 微克/克(干重)。

该地区棉田使用毒杀芬和滴滴涕的历史长达几十年。虽然这两种农药在 90 年代初开始停止使用,但积累在土壤和咸水湖沉积物中的

这些化合物的量很大,它们的环境持久性也很长。

在 1997 年 11 月于马那瓜举行的全国农药会议上,介绍了这项研究的成果。这次会议之后,期待已久的《国家农药法》获得批准。尼加拉瓜主管部门现在也能实施成套的综合性管理措施,以减少沿岸地区的污染。

■ **其他调查。**在肯尼亚、印度、孟加拉国和厄瓜多尔的另一一些热带沿海地区,人们也正在进行类似的调查工作,以评估农药残留物造成的环境污染。从已经获得的调查结果来看,到处都有持久性有机氯农药,虽然有些地区含量很低。在可以检测到的地方,有机磷农药的浓度一般似乎比有机氯化物的低。

放射性示踪剂技术

实验工作使用了碳-14 标记化合物和液体闪烁探测技术调查农药在水环境中的行为。这项研究的重点放在已在热带沿海环境中发现的一些化合物,即滴滴涕、硫

照片:(上)流体闪烁计数器是越南杀虫剂研究人员正在使用的实验室设备之一。(左)哥斯达黎加收获的香蕉。(来源:VINATOM/ISTN)

丹、林丹、毒死蜱和对硫磷。

许多实验旨在获取与这些农药在不同海域中的去向、持久性和生物积累量有关的某些信息。实验研究是按照该 CRP 参加单位共同商定的方法,在实验室小天地和模拟生态系统中进行的。

农药在咸水湖系统中的迁移、弥散和最终的生物学效应,取决于这些化学品在热带条件下的持久性及其生物积累和生物降解。一般认为,热带的阳光和高温有助于这些化合物的迅速分解。不过,初步的实验结果表明与化学水解相比,光解在这些化合物的分解方面的作用较小。

实验研究的结果表明,在 32℃ 温度下,已溶解农药的半存留期对毒死蜱来说为 1.4—10 天,对对硫磷来说为 9—46 天,对滴滴涕来说为 130—155 天,具体数值与水的盐度有关。

有关沉积物-水系统的实验已经证明,已吸附在咸水湖沉积物上的农药的半存留期是其上部水域中的同样化合物的 10—100 倍,尽管沉积物中的微生物量比水中的多。因此,农药迅速吸附在沉积物颗粒上可以增加其持久性。情况很可能是,这些化合物的最大储存处是受附近农田排出的废物影响的那些

咸水湖沉积物中。

孟加拉国、中国、印度、菲律宾、越南、马来西亚、牙买加和墨西哥的一些 CRP 参加单位进行过类似的实验。这些单位研究了滴滴涕和毒死蜱在模拟热带海洋环境条件并加有当地海洋生物群的水族槽中的预期结果。实验结果表明,水中的这些农药通过贻贝、蛤、虾和鱼积累很快,一般在几分钟到几小时内就完成。此外,滴滴涕和滴滴涕代谢物之类亲脂化合物的生物浓集因子一般很高。

这些实验室在农药研究中通过利用放射性示踪剂技术已经取得显著进展。(见第 25 页方框。)这包括开发出了用以研究化合物降解和挥发的微型化实验系统。这还包括取得了能够证明如下结论的成果:农药在海洋环境中的持久性和生物积累与它们的分子构型及氯含量有关。

根据利用放射性标记化合物取得的实验结果,似乎可以清楚地看出,滴滴涕之类的有机氯化物在热带海洋环境中的降解很慢。另一方面,在研究过的有机磷化合物中,有些化合物的存留时间也许长到足以使其扩散到河口和沿海环境中,从而影响水中的生物群。不过,这些化合物在热带海洋环境中

的降解速度一般要比有机氯化物快得多。

对海洋物种的影响

菲律宾、牙买加、哥斯达黎加和墨西哥的几个研究所,正在测定热带条件下的海洋物种的毒性。这种研究的目的是,评估在热带生态系统条件下,可能接触农药残留物的那些常见热带物种(例如罗非鱼和养殖虾)对农药残留物的敏感度。

周围环绕着红树林的热带沿海咸水湖的一个共同特点是腐殖质浓度较高,这些腐殖质是由红树落叶层的逐渐分解形成的。由于有机氯化物和有机磷化合物的疏水性,这些农药与颗粒状和溶解的腐殖质的可能结合,可以改变这些农药残留物的总的结果及其生物可利用率。

有人曾用接触了溶在海水中的农药的海贝检验过这种假设。在一种情况下,海水中未加腐殖质。在另一种情况下,海水中加入了已经含有已结合农药的颗粒状腐殖质。结果表明,溶在水中的农药在海贝中的累积量在头 12 小时内迅速增加,此后缓慢增加。与颗粒状腐殖质相结合的农药也能在海贝组织中积累,但积累的程度低于直接来自水中的农药。

因此,似乎可以说农药事先与腐殖质相结合可以起到减少这些化合物被咸水湖动物群生物积累的作用。不过,还需要做进一步的研究,以便阐明支配着农药残留物在热带咸水湖中的分布、去向和影响的确切机制。

评估危害并提出战略

本 CRP 的一个总目标是描述农药残留物对人类和沿海海洋生态系统的现有危害,并提出今后减小这种危害(如果它现在已达到不可接受程度的话)的战略。

在本 CRP 框架内进行的一些个案研究,已经产生了大量农药残留物数据和毒性数据,足以开始评估农药残留物在特定生态系统中可能造成的生态学危害。在某些生态系统中,特别是受到农业排水影响的河口/沿海咸水湖系统中,沉积物和生物群中所含农药残留物达到了剧毒的水平。不过更常见的情况是残留物水平低于致死值,可以说构成了潜在的食物链问题。

凑巧的是,这些生态系统是养殖鱼、虾和牡蛎的理想场所。因此,这些农药残留物可以有机会通过水产养殖业危害公众。此外,对于这些

地区的生态系统的稳定性来说,这些残留物是一种重大的危害。关键物种或营养水平的丧失,或这些污染物的微生物降解引起的总体水质(例如溶解氧)下降,都可能使这种不稳定性增大。为了保护这些系统和相关的资源,需要对沿岸地区实施一

已经加强了人们的这种意识,即有必要减少起源于持久性有机化合物的环境污染。

已规划了更全面的以流域为基础的生态危害评估工作。它将把现有的农药残留和毒性数据与流域内土地使用情况的数据结合起来,以

便得出各种活动的因果关系。这项研究工作定会为制定土地和水资源的管理战略提供依据,确保生态系统的稳定,还会为农业、水产养殖业和工业的发展、休闲娱乐与家庭住宅建设提供资源。

处理来自农田污染废水和地面废物的一些切实可行的解决办法,还需要深入研究和检验。在有些场合,已提出了一些试验性的方法,例如利用农田周围的天然沼泽地或人造沼泽地除去水中的残留物。这种建议或其他建议最终有可能在热带地区以中试规模进行检验,例如在香蕉种植园周围。今后的这一步,当然是世界各参加实验室通过 IAEA 发起的这个研究项目已完成工作的合乎逻辑的一步。 □



体化的管理计划,以便使农民、水产养殖者和渔民的利益相协调。

本 CRP 的开展有利于评估关键沿海地区的农药污染状况。此外,获得的有关农药循环的实验数据有助于人们更全面地了解农药残留物在热带沿海环境中的影响与去向及环境管理战略的实施情况。

本 CRP 对参加国的另一些直接好处包括改善了测定环境样品中的农药残留物的能力,并增强了进行有关农药在热带地区中的循环的研究能力。总的来说,本项目

照片:在菲律宾马尼拉湾捕鱼。