

需进行示踪试验, 仅仅根据河流的流动状况就可以预定出该河段的各特性混合参数. 预定的实际意义很大, 它可以避免耗时费力的示踪试验及试验对天然河流的人为污染, 充分利用水利部门的河流水文测量结果; 又能在污染事故突然发生时, 对尚缺乏混合过程实测数据的河流做出基本可靠的污染事故预报.

然而, 对纵向极不均匀的河段中的混合过程, 因为河床和流动状态极为复杂, 目前尚处于定性描述阶段. 定量表示这些复杂的影响因素就是现阶段及今后一个时期的研究重点, 例如, 河流急剧拐弯处的一维纵向离散过程; 河床纵向及横向的不规则性对各特性混合参数的影响; 第一类二次流和第二类二次流对混合过程的影响; 等等. 这一切又都取决于河流水力学和流体力学的发展. 譬如, 随着河流单宽流量分布与河床断面形状关系的经验公式的准确性的提高, 就可以用此关系推算的单宽偏离流量代入预定公式直解求出 D_L , 河流深度可以用回声测深仪测定, 比用流速仪测量整个河流横断面上的流速分布要简单得多, 因此这种方法将减少很多测定工作量.

参 考 文 献

[1] Taylor, G. I., The Dispersion of Matter in

- Turbulent Flow Through a Pipe, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol. 223, p. 446, 1954.
- [2] Taylor, G. I., Dispersion of Soluble Matter in Solvent Flowing Slowly Through a Tube, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol. 219, p. 186, 1953.
- [3] Elder, J. W., *Journal of Fluid Mechanics*, 5, Part 4, 544 (1959).
- [4] Fischer, H. B., *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 93, No. HY6, 187 (1967).
- [5] Dagan, G., *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 95, No. HY5, 1699 (1969).
- [6] Yotsukura, N., and Sayre, W. W., *Water Resources Research*, 12(4), 695 (1976).
- [7] Harden, T. O., and Shen, H. T., *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 105, No. HY4, 393 (1979).
- [8] Fischer, H. B., *Air and Water Pollution*, 10, Nos. 6—7, 443 (1966).
- [9] Lau, Y. L., and Krishnappan, B. G., *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 103, No. HY10, 1173 (1977).
- [10] Fischer, H. B., *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 94, No. SA5, 927 (1968).
- [11] Hays, J. R., "Mass Transport Mechanisms in Open Channel Flow", Ph. D. thesis. Vanderbilt University, Nashville, Tenn., 1966.
- [12] Li, W. H., "Effects of Dispersion on DO-Sag in Uniform Flow," *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 98, No. SA1, 169, (1972).

生态系统模拟技术在环境科学研究中的应用简介

杨 居 荣 林 大 任

(北京师范大学地理系)

概 述

生态系统模拟技术迄今尚无一致名称,

如微宇宙(microcosm)、人工生态系统(artificial ecosystem)、模拟生态系统(model ecosystem)、实验生态系统(experimental ecosystem)、室内

生态系统 (laboratory ecosystem) 等, 虽名称不一, 但都是以自然真实生态系统为原型设计和制作的一种模拟试验装置。它不同于生态系数学模拟, 而是为数学模拟提供必要的参数和变量的一种试验手段。它可核实数学模式的推论, 并使抽象、笼统的数学模式更符合于实际状况。

近年来, 在环境科学研究中, 十分重视研究污染物在生态系统的迁移、运动规律及污染物累积的生态效应。要揭示这些规律, 需对贯穿整个生态系的物质循环、能量交换、信息传递等过程进行分析。这些过程靠短时间直接观测难以实现, 需进行长时期的野外调查、监测及实验室内分析才能确定。即使如此, 若忽视模拟试验这一中间环节, 也往往难于阐明规律和解决实际问题。因此, 通过模拟试验手段, 把复杂生态系统的结构和功能加以简化和分割, 以突出和捕捉环境因素的作用, 这样便能减少产生信息的时间, 较快地获得结果。模拟试验还可以多次重复进行, 使所获数据更加可靠。生态系统模拟技术就是具有这些特点的研究手段^[1,2]。它将自然生态系统引进实验室而又保留自然系统的许多复杂特性, 并使现场难以进行的试验成为可能, 因而是整体研究生态系功能及污染物迁移、转化规律的理想工具^[2,3,10]。本文简要介绍当前生态系统模拟技术在环境科学中的应用。

生态系模型的类型、设计与制作

生态系统模型有各种不同类型, 根据选择的生态组分, 可以是生态系单个组分的模型也可以是生态系多个组分的模型, 甚至是包含生态系所有功能组分的模型。从食物链的结构方面分类, 有包括几个食物链生物在一起的综合型模型, 也有几个营养级生物分开试验再最后合成的合成型。模型中的生态组分可以取天然生态系各组分为“元件”, 在实验室配置, 也可以直接采用真实自然生态

系组分, 例如直接采用自然群落或一块土壤。根据污染物的投加方式分为一次或几次分批投加的静态型和污染物连续、稳定输入的连续流型。后者比前者能更大范围地控制和监测多种环境因子, 以便准确地判断化学物质对环境的危害及生物 (或群落) 在一定浓度下长期暴露所产生的伤害。模型采用的装置可以人工装置 (具有经济、可重复及可控制条件等优点) 在实验室内进行, 也可以将自然生态系的一部分割离起来在现场进行研究。

设计和制作模型时, 首先要深刻认识原型, 将原型的结构和功能加以简化, 以便确定模型的规模和复杂程度。通常模型的大小与复杂程度相关联, 小型模型造价低, 易于重复和便于控制。但规模越小, 测定的参数受边界遮蔽影响的机会就越多, 而且限制一些大的组分 (如大植物) 及缩短迁移途径。因此, 需选取能代表生态系特性的最佳规模。通常采取从简单到复杂, 循序加进生态组分, 逐渐增加试验单元复杂程度的办法, 定量地弄清每一个子系统对其他部分的影响, 最后综合确定化学物质的动态及危害。

制作模型前还需充分认识试验物质的物理化学特性、输入到环境中的浓度、可能存在的形态和迁移途径等。尽可能按照真实生态系中物质的迁移机理进行设计。如研究挥发物质时, 需注意到它在环境中的挥发作用, 设计封闭式系统, 以便检测气相迁移途径。

选择模型中试验生物时, 需先了解污染物对生物的危害过程, 选取可代表该过程各个阶段的恰当试验生物及产生信息的恰当方法。理想的测量参数应能代表生态系特性而且容易鉴别, 参数达到平衡所需时间要短, 达到平衡后生态系统的功能要稳定。通过可靠的辨认和精确的分析技术来测量参数。最后应用所获参数值建立数学模型, 用以描述和计量物质在生态系统中的迁移过程。

应 用 实 例

在探索化学物质对陆、水生态系多物种的危害规律中,美国伊利诺斯大学 R. L. Metcalf^[4] 等人被誉为陆、水生态系模型的开拓者。他们采用包括水、气、陆三相的生态模型研究了农药在生态系统中累积、分解代谢规律。试验装置为一设有通气装置的玻璃水槽(图1),置于温度为26℃的人工控制室中。

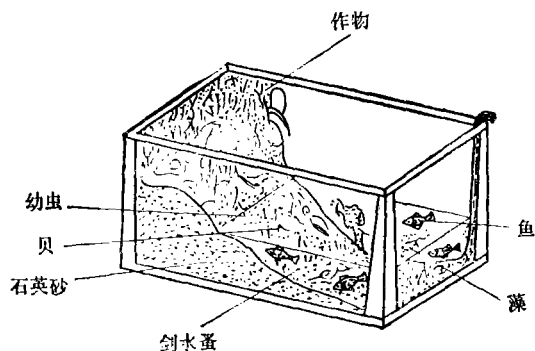


图1 Metcalf 的生态模式图^[4, P. 163]

水槽底部倾斜堆积白砂,砂上种植高粱,水中养殖藻(*Oedogonium Cardiacum*)、浮游生物、剑水蚤(*Daphia magna*)、卷贝(*Physa, snail*)、干蒲西鱼(*Gumbusia affinis*)等。用放射性标记的农药喷于植物叶片上,经过33天之后,测定各种生物中的放射性强度,从而揭示DDT等多种农药从作物经过昆虫幼虫→剑水蚤→浮游生物→孑孓→鱼的迁移过程,以及通过剑水蚤→鱼或藻→鱼的食物链迁移、富集状况。并筛选具有和DDT同等杀虫能力而生物浓缩性低的化学农药。此后, Kearney^[4] 等人在 Metcalf 生态模型基础上,增加了土壤微生物和其他栖息于土壤中动物等生态组分(图2),研究了化学物质通过土壤→水生生物或土壤→土壤微生物→水生生物的迁移途径。将研究的化学物质用放射性同位素标记,制成悬浮液,吸附于土壤后投加到试验模型之中,考虑到生物间的捕食关系,在水槽内制作间隔,人为控制生物同居或分居(图

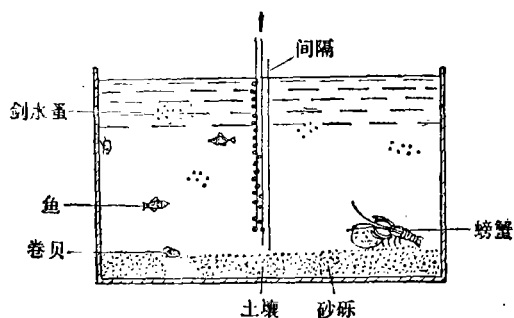


图2 Kearney 的生态模式图^[4, P. 168]

3、4)。各间隔之间通过溢流使鱼居住区与其他生物区的水系相通,使试验生物长期共存,以便较长时间观察污染物的慢性影响。

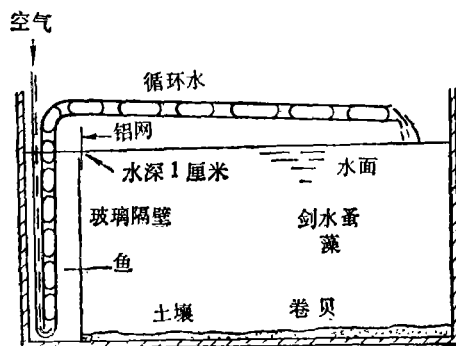


图3 对 Kearney 生态型的修正^[4, P. 169]

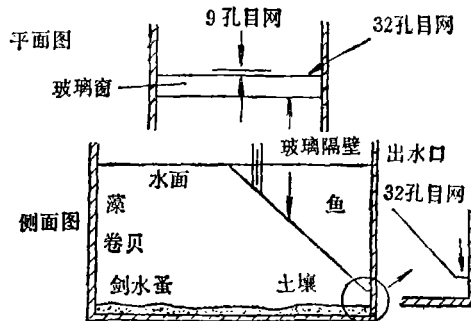


图4 Isensee 的生态模型^[4, P. 168]

应用陆地生态系模型研究物质转化实例,可以 Bernard C. Patten^[5] 等人研究¹³⁴Cs在陆地生态系的循环中,由于一些生态组分难于分离,经常只考虑二个组分,如土壤-枯枝落叶或土壤-植物系统。Bernard 等人将陆地生态系有机、无机组分制成多“隔室”,采用循序加进组分的方式研究了¹³⁴Cs在陆地生

态系组分中的行为。生态组分包括有①枯枝落叶,②土壤,③微生物区系,④多足虫,⑤淋洗液等五种(称为“隔室”)、“隔室”组合可为:1-5(即“隔室”①和⑤组合,以下类推)、1-2-5、1-3-5、1-4-5、1-2-3-5、1-2-4-5、1-3-4-5和1-2-3-4-5。将不同“隔室”组合的模型同置于室温 25℃ 条件下,使 ^{134}Cs 在各种组合的“隔室”间流动,测定各“隔室”间迁移 ^{134}Cs 的放射强度,得到一系列参数。由于整个模型系统的环境条件相同,只是“隔室”组合不同, ^{134}Cs 在“隔室”间的交换数量就不相同。故“隔室”组合成为主要试验变量。由于 ^{134}Cs 在“隔室”间以不同形式和不同比率迁移,呈现不同的动态特性。根据这些特性即可反推不同“隔室”组合系统的行为和功能,从而确定 ^{134}Cs 在生态系各环境因子中的平衡时间、稳态浓度、富集因素、输入输出流及周转率、稳定性等。

采用生态系模型研究物质在水生生态系中迁移、转化的实例较多。R. T. Heath 等人^[3]根据物质输入和输出的行为研究对生态系的影响。他们将不受压力与受不同镉压力(含镉 1、10、100ppm)后的水生生态系的特性相对比,整体评价了镉对水中生物群落的影响。模型的设计按 Beyers^[7,8]等人的设想,由隔离的组分构成,包含有初级生产者: *Chlorella pyrenoidosa* (绿淀粉核)和 *Oscillatoria sp.* (颤藻属),消费者: *Paramecium bursaria* (原生袋形纤虫属)和 *philodina sp.* (原生旋输虫属)和分解者: 10 种细菌。试验装置为玻璃器皿,分为四个模型,其中三个加入不同浓度氯化镉(0、1、10、100ppm)。在两周内根据每 12 小时间隔中 pH 的变化估量净光合作用和暗呼吸作用,并每隔 2—3 天分析模型中溶解性碱酸盐量,观察受镉引起的生态系变化过程。结果看到,在含镉 1ppm 时,对水生生态系无影响,光合作用和呼吸作用与正常情况相似;试验早期(11 天)投加镉时,系统内 N 含量增加, P 含量降低。当投加镉量增至

100ppm 后,系统内光合作用及呼吸作用均未能检出。

在评价污染物在海洋环境迁移动态研究中, A. W. Bourquin^[10] 等人改变惯用的只根据个别物种毒性试验评价污染的方式,设计了一系列揭示污染物特定行为而又相互联系的生态模型,并研究了甲基对硫碱对海湾生态系的影响及迁稳、转化和降解规律。研究者针对生态系的特定过程制作数个不同模型(图 5—8),称为环境筛分模型(Environmental fate screening system)、生态样芯模型(Eco-core system)、连续流模型(Continuous flow system)、水中梯度躲避响应模型(Aquatic gradient avoidance response system)、水底生物测试模型等。每个模型可提供污染物的某些特定行为。如筛分模型系统揭示了底质形态(底质有机、无机物吸附过程),水化学条件(盐分、pH、Eh)、物理条件(温度、阳光)、生物因素(微生物分解代谢作用)等对农药的分解及农药迁移的影响。生态样芯模型用于评价微生物对农药的分解及农药对微生物生态干扰作用。模型中生物群落采自自然底质及水体。通过微生物的异样平板计数法及对析出 CO_2 总量评价农药的干扰作用。连续流模型系统采用标记农药连续输入模型以观察其在生态系中的转化速率和范围。水中梯度躲避响应模型为一 Y 形、矩形或圆柱形水

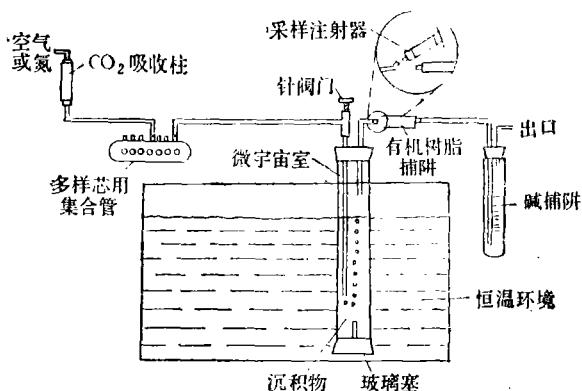


图 5 生态样芯微宇宙示意图

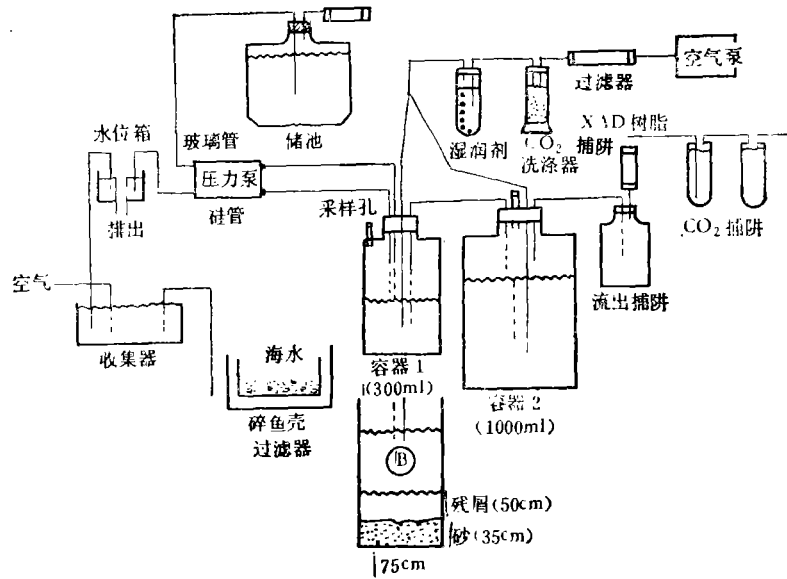
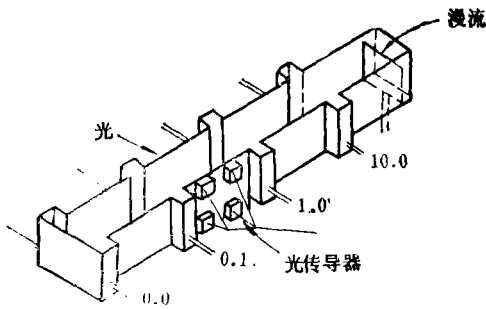
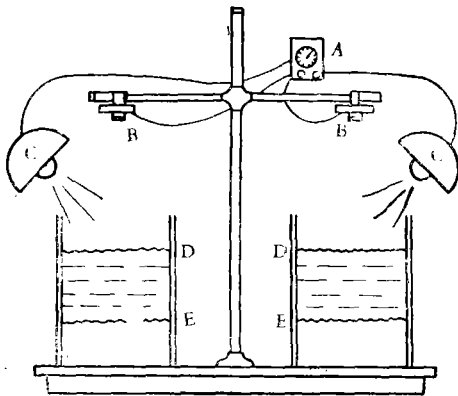
图6 连续流微宇宙示意图^[10,135页]图7 水中梯度躲避响应系统^[10,138页]

图8 海底生物测定系统^[10,138页]
 A——24 小时计器 B——35 mm 照相机
 D和E——125 l 养鱼缸

槽,使生物在不同污染水中进行选择,从而研究非致死剂量下污染物对水体生物的潜在毒性。海底生物测定模型通过海洋底质状态的变化研究栖息于底层生物的活动状况。海洋底质状况受许多原生多节肢出正常活动(如蛭孔、摄食、运动等)的影响,如砂蝎摄食使底层表面产生漏斗形凹陷,试验通过砂蝎在未污染及投药区摄食造形的比较,确定引起砂蝎取食习性影响的污染物浓度及死亡浓度。而砂蝎又是食物链中的一个环节,从它的变化可了解到整个生态系的变化。

此外,美国田纳西州环境科学部橡树岭实验室^[8]采用生态系统模型研究物质转化已有很长历史。他们利用复杂程度不断增加的生态系模型研究了放射性核散落物、营养物质及其他化学物质在环境中的迁移以及环境各变量因素对元素迁移的影响,综合报道了元素在陆地生态系的迁移过程,并确认生态系模型所取得数据与现场调查相符。一些国家还对生态系模型的设计、制作、效能以及与实际生态系的对比做了研究^[1,2,9],探讨制作标准生态系模型的方法。有的国家还将其

(下转第 44 页)

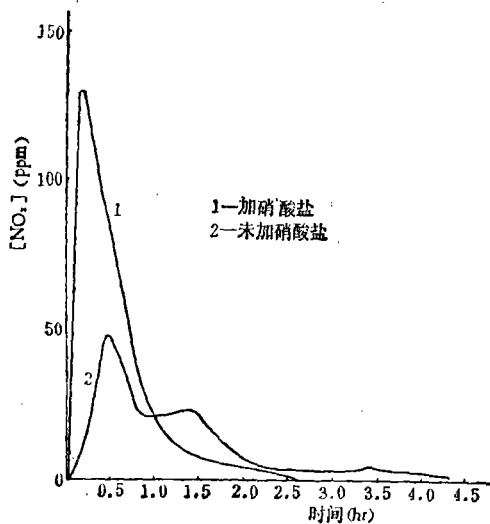


图 5 动态测定中 $[NO_x]$ 随时间变化曲线

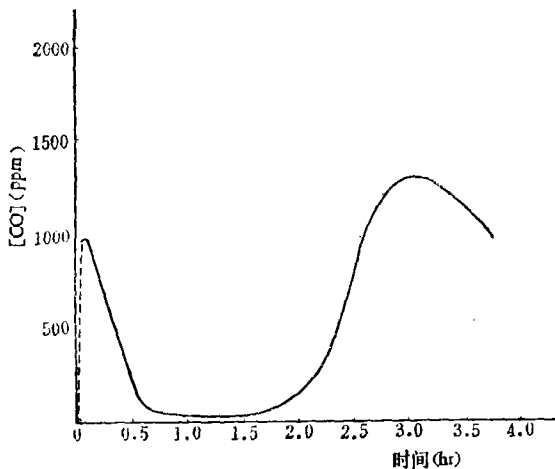


图 6 动态测定中 $[CO]$ 随时间变化曲线

用动态测定法可得到燃烧排气中各种污染物的瞬时浓度。根据瞬时浓度-时间的曲线,可以知道各种污染物的排放规律。例如

(上接第 63 页)

作为立法根据^[4](毒性物质法规 TOSCA),迅速对新生产的化学物质作初步筛选,以便控制开发、使用新农药及化学物质。

我国近几年也开始采用生态系统模拟技术研究污染物的迁移、转化规律,如模拟研究甲基汞由沉积物释放到水体和鱼体的转化过

图 5 中曲线 1 表明氮氧化物在刚点燃时排放较多,这是由于引燃煤层中硝酸盐分解造成的。图 5 是连续取样测定,记录仪自动记录的 $[NO_x]$ 随时间变化的曲线。又如图 6 中一氧化碳在刚点燃和快熄灭时出现两个高峰,这是由于在这两个时刻燃烧温度低的缘故。图 7 为 SO_2 的测定结果,其中曲线 1,为原煤中含硫较高的上点火蜂窝煤;曲线 2 为原煤中含硫较低的下点火蜂窝煤。曲线 2 极大值比曲线 1 的极大值提前出现,是由于下点火与上点火燃烧方式不同的缘故。

根据瞬时浓度-时间的曲线,可以积分求出排污量。动态测定法克服了静态法的缺点,即不存在泄漏问题,也避免了 CO 和 HC 重新进入炉膛再次燃烧。

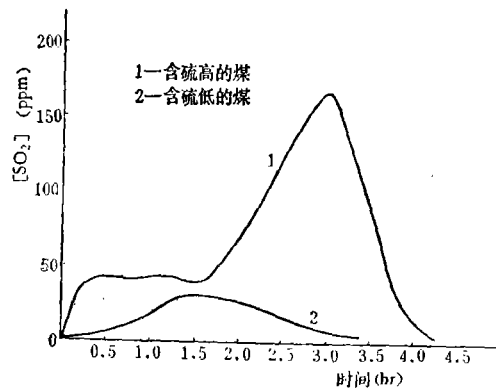


图 7 动态测定中 $[SO_2]$ 随时间变化曲线

结 语

我们用动态测定法测定了多种蜂窝煤、煤油和石油气为燃料的开放式炉具排放的污染物,为空气污染源的评价提供了可靠方法。

程,采用熏蒸模型研究植物长时间暴露于有害气体中的生态变化等,并已取得了一定成绩。但目前仍存在着模型的生态组分较为局限、环境条件的自动化控制程度不够理想、分析测试手段还不够先进等问题。试验工作仍处于开始阶段。今后尚需在生态系模型的理论与应用方面作进一步探讨。