



巴西亚马孙地区正在利用同位素研究生态效应

同位素在环境研究中的应用

巴西的亚马孙河流域研究

正在帮助评价土地用途改变对生态和气候的影响

● Glynn Bowen、Kazimierz Rozanski 和 Peter Vose

人类生存环境发生重大改变的威胁正在变得越来越明显。

全球生态系统受到的压力愈来愈大，大气中温室气体浓度的迅速增长、水资源的恶化、森林的减少和各种工业污染物的增多，仅是其中的几个例子。现在迫切需要恰当地评估这些影响深远的变化可能带来的社会-经济后果，并制定相应的对策。在制订这些对策之前，需要对这些具有多相内部结构的、极其复杂的系统和大量的反馈机制，有一个比现在好得多的了解。

环境问题可根据被考虑的范围加以论述，当然这些范围之间是有联系的。有些问题，例如使用过度的易损土壤的侵蚀，或多或少只局限于当地。而资源管理不善，特别是涉及面积很大时，将产生水中硝酸盐和磷酸盐含量大增之类的非当地效应。林木采伐可能影响到河流沉积、水质和水生生物的食物链。那些能改变整个景观的非当地效应可以来自很远的源——例如，热带雨林的大面积砍伐可能使降水发生种种变化；又如酸雨，其源也往往很远。再往大说，现在已有一些十分令人担心的全球效应，其中最引人注目的要算全球变暖这样的气候变化。

长期以来，人们一直把放射性同位素和稳定同位

素看作研究全球生态系统如何运转这一大课题中的物理和生物问题的十分有效的工具。它们在环境研究中的应用很多，涉及到各个层次的研究工作。

本文介绍的只是几种用到同位素的环境问题处理方法。重点介绍有关亚马孙河流域的研究。

亚马孙河流域

亚马孙河流域的面积为 600 万平方公里，它是世界上最大的蒸发型大陆盆地。该流域蓄积的热带雨林约占全球的一半，养育着近 8 万种植物和可能高达 3000 万种的动物（多半是昆虫）。亚马孙河排入海洋的水占全球河流泄水量的 20 %。由于大面积的砍伐，这个唯一有全球影响的生态系统目前已受到严重威胁。最近十年，亚马孙河流域巴西部分已经减少了大约 18 万平方公里的原始森林。

国际原子能机构（IAEA）通过以技术合作计划名义支助的各种项目，在环境同位素的研究方面与巴西有着长期的合作关系。这项迄今最富有雄心的工作始于 1985 年。它是一个大型的多学科项目，涉及若干个借助同位素研究土地用途改变对巴西亚马孙地区的生态和气候影响的研究课题。这个项目集中了巴西一些研究所的约 80 名科学家。它接受联合国粮食和农业组织（FAO）/ IAEA 联合处和机构物理和化学处同位素水文学科的技术支援。

在巴西内部，该项目由巴西原子能委员会（CNEN）负责协调，涉及到巴西的许多研究单位。

Bowen 先生是 FAO / IAEA 核技术应用于粮食和农业联合处土壤肥力、灌溉和作物生产科科长，Rozanski 先生是 IAEA 物理和化学处同位素水文学科职员。Vose 先生是 IAEA 亚马孙河首席技术顾问。

该项目与巴西以外的许多单位有着富有成效的联系。例如，瑞典政府通过瑞典与发展中国家的研究合作机构 (SAREC) 给水文学计划提供了大量资金。与法国科学研究合作发展局 (ORSTOM)、美国国家科学基金会、德国马克思普朗克湖沼学研究所、加拿大滑铁卢大学地学系、世界野生生物基金会等机构也有着有效的联系。

区域的水平衡——蒸散作用

环境同位素是水循环研究方面非常有效的工具，其部分原因是可进入水分子的三种同位素能有效地用作示踪剂。氘是一种放射性示踪剂，它在研究（不管是地区性的还是全球性的研究）水在水圈各组成部分内的运动规律方面特别有用。氢和氧的较重稳定同位素（氘和氧-18）可提供水循环稳态特性方面的信息。

自 60 年代初以来，由 IAEA 和世界气象组织 (WMO) 联合主办的全球监测站网，月月监测降水中氘、氚和氧-18 含量的分布。这个独特的同位素数据库，使得环境同位素大量地用于水文学、气象学和大气科学成为可能。（见本期《通报》有关文章。）

最近几年，在水在大气中输送的各个方面，借助于同位素方法完成的研究项目愈来愈多。处理这些问题的方法，已经由半经验的“孤立气团”模型演变成各种全球规模的大气环流模型 (GCM)。这些模型要考虑在不同的时空尺度内导致降水形成的各种大气过程的极端复杂性。近期的一些研究旨在把各种同位素的循环过程引入 GCM 中。这些研究已经证实，IAEA / WMO 的数据库在确认和进一步改进这几种模型方面是有用的。

大规模砍伐森林会使进入大气的蒸散量减少，从而改变区域的水平衡。在亚马孙河流域，这个问题尤为突出。茂密的植被和较高的地表气温，使这个“生物水泵”十分有效，它能把大部分降水送回大气。有关水蒸气在该流域大气中输送情况的同位素模型（以降水同位素数据的早期研究成果为基础）揭示，该流域降水中的 50 % 左右是由再循环的水分组成的。（见图 1。）较新的数据能帮助证实这一点。再循环水分所占比例如此之大，以致使水循环对森林砍伐比较敏感：这台生物水泵的减弱必将使更多的水流入江河，并使当地气温升高。

为了更详细地了解水蒸气在该流域上空的输送型

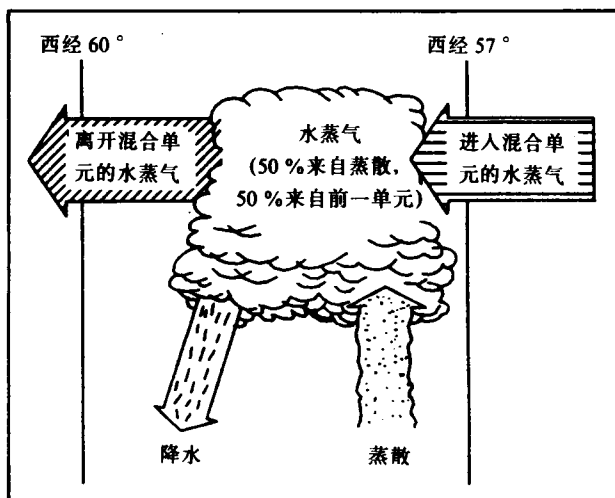
式，最近已在亚马孙项目范围内建立了一个专门收集同位素分析用降水样品的站网。以这种方式获得的数据，辅以水蒸气的同位素分析结果，将使人们能够建立一个有关该地区大气水分流动路线的更加先进的模型。鉴于亚马孙森林的消失有可能造成区域性的和全球性的影响，获得该区域符合实际情况的大气环流和水蒸气输送模型是特别重要的。

如果森林砍伐导致返回大气的水量减少，那么这种影响很可能会随采伐迹地的大小而变化。关于孤立林区 and 成片林区或邻近的不同面积的采伐迹地的水分收支情况，几乎没有详细的可供比较的资料。但是，目前通过亚马孙项目正在进行的中子湿度测量、微气象学和植物生理等方面的研究已经表明，林缘的影响在地表至少要延伸到林区内 100 米。这意味着，从气象学观点看，砍伐森林的影响范围可能比实际砍伐区稍大。这种影响会随着砍伐的延续和林缘与未扰动林面积的比率的增高而增大。

地表水的流动路线

为了更深入地了解亚马孙河流域上空的水循环动力学所需采取的第二个重要步骤，是更好地了解亚马孙地区的干流及其支流的中尺度地表水的流动路线。利用本区域降水收集网获得的同位素数据，辅以对干流和洪泛平原中河水的系统的、全流域范围的同位素监测，预计能在这方面起很大作用。特别是，这样做

图 1 亚马孙河流域上空雨水形成过程简化示意图



该图是说明亚马孙地区的雨水来自两个水蒸气源——大西洋和森林——的示意图。（该图是以 Salati 等人 and Dall'Olio 等人利用氧-18 和氘对天然水体和水蒸气进行的研究为基础绘制的。）

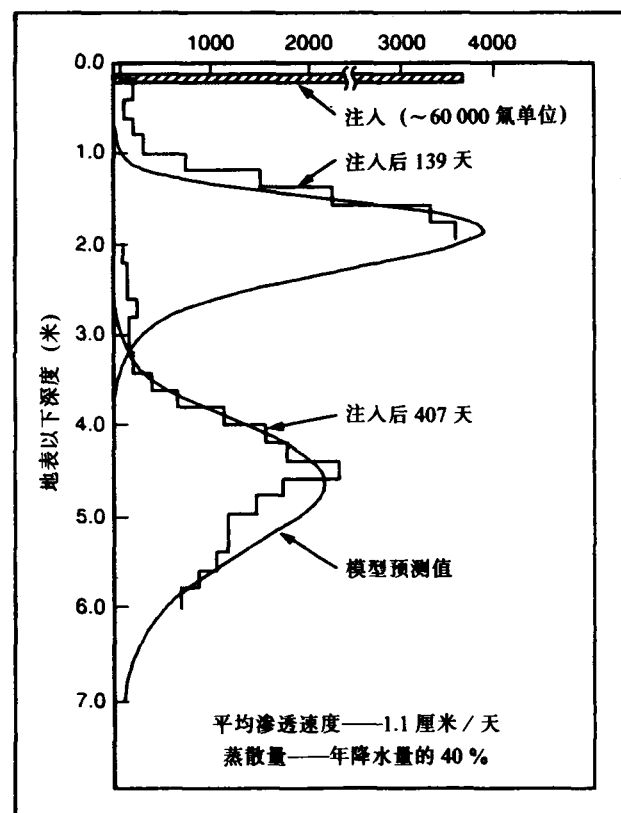
将有可能求得积蓄在干流和洪泛平原中的水各占多大的比例。还有可能求出不同季节和每段河谷中的水在这两大贮水部分间的转移率。初步的同位素分析表明,干流中多达 30 % 的水来自穿过洪泛平原的水。

水在土壤中的迁移。利用环境同位素数据,还能得到水在不饱和带中迁移和贮存方面的因地而异的信息。大量的研究已表明,氙是不饱和带中水移动规律的强有力的示踪剂。

在巴西项目名下进行的一项研究,使我们有可能估计该区域未扰动林区和采伐迹地的平均渗透速度和蒸散量。(见图 2。)同位素示踪能提供不饱和带中水移动规律的动态信息,土壤的蓄水情况通常则用中子湿度计测定。

沉积。河流中沉积物的增加,长期以来一直被认为是森林砍伐所引起的主要后果。但是,难以进行求

图 2 中亚马孙地区渗透实验的结果



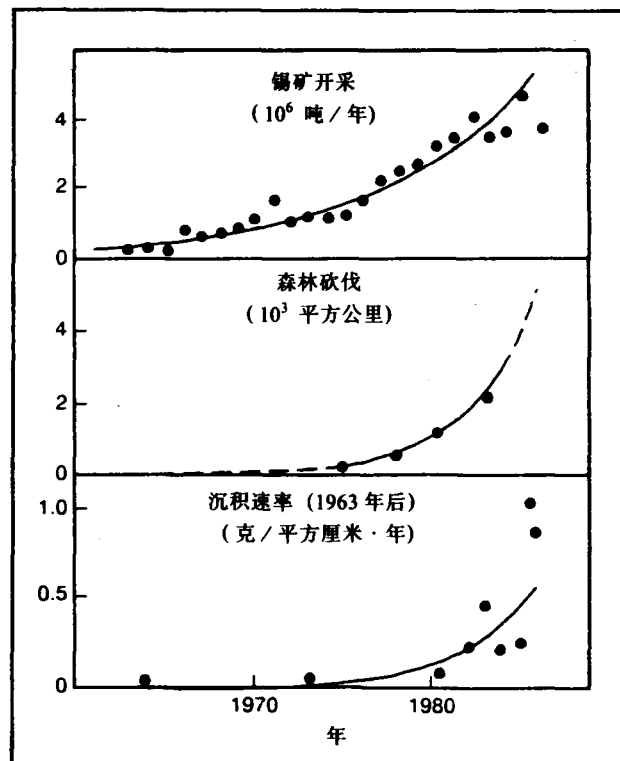
曲线示出的是在中亚马孙地区马瑙斯附近做的渗透实验的结果。该实验属于 IAEA 的巴西项目的一部分。利用人工注入的氙作为水在不饱和带中的移动规律的示踪剂。注入后 139 天和 407 天采集土壤样品,并测量从土壤中提取的水中的氙含量。根据示踪剂峰值的位置和土壤中的水含量,可求出该区域的平均渗透速度和平均蒸散量。建立了一个数字模型,可以逐日模拟水在土壤中的移动情况。

取亚马孙河诸白水河段底数的研究或测定其沉积速率的变化。雅马里河和日巴拉那河是朗多尼亚地区的泄洪河流,对于这些河流的洪泛平原湖泊的沉积史,正在用分析沉积物柱状样品的铅-210 和铯-137 的地层学特性的方法,从地质年代学的角度加以测定。从帕卡湖(雅马里河洪泛平原上的一个小湖)获得的结果表明,最近十年中沉积速度加快了十倍。这种情况与砍伐森林和开采锡矿直接相关。(见图 3。)

当地的营养物效应

就其本质而言,各种局部效应总是对较大范围的效应有贡献的。有问题的面积愈大,非当地效应便愈大。从营养学角度看,热带雨林是一个非常平衡的系统。砍伐森林之类的大干扰,会对土壤中的氮、硫等营养物资源的动态特性带来许多问题。这些营养物究竟损失了多少?是否仍然足以维持幼林的再生?能否满足在采伐迹地上从事耕作的需要?或者说这种热带土壤系统是否会象其它许多地区一样,其肥力不可逆转地每况愈下?如何才能开发出稳定的土壤系统?

图 3 开矿与砍伐森林对沉积速率的影响



铅-210 研究已经表明,朗多尼亚地区帕卡湖的沉积速率与砍伐森林和水利开采锡矿直接相关。(采自 Forsberg, Godov 和 Victoria 的数据。)

同位素方法（其中有些比较新）能在与当地有关的研究中发挥重要作用。一些有代表性的例子如下：

- 研究有机物的倒换。有机物中碳-13 或碳-12 同位素比例的变化，曾被用来测定来源于森林和牧草的有机碳的相应贡献。在亚马孙地区进行的研究发现，在 0—20 厘米的土层中，一年后来源于牧草的碳占 5%，两年后达到 20%。来源于森林的碳约有 40% 已经消失。显然，牧草已在很大程度上代替了失去的有机物。

- 研究生物固氮作用。利用生物固氮是使土壤中氮含量维持在生产力所需水平之上的途径之一。这种作用的存在和强弱可利用氮-15 技术来评估，包括评估植物中天然存在的氮-15 的丰度。

- 研究氮的产生量和损失量。氮-15 在用实验方法确定土壤氮转入大气和地下水的损失量，以及有机物分解的产氮量方面是极其有用的。利用硫的稳定的和放射性的同位素同样可进行此类研究。

水生生物食物链

碳、氮和硫的稳定同位素含量的天然变化，正在被用来追踪能量通过水生生物食物链的流动规律。在亚马孙地区，这一工作主要集中在碳-13 上，它一直被用来鉴别鱼、鳄鱼和水生昆虫的植物能量来源。迄今最惊人的发现是， C_4 草（它占亚马孙洪泛平原主要出产的一半以上）对水生生物食物链的贡献似乎甚微。资料表明，对于亚马孙地区商品鱼产量的 90% 来说，在鱼食中占有绝对优势的是 C_3 碳源。

污染物

污染物的种类很多，同位素方法有助于研究这些污染物；如可用于消除污染、或了解和尽量缩小其影响的研究工作。同位素标记的农用化学品长期被用于研究农药的转移和降解。现正在开发强有力的基于同位素的 DNA 探针，以监测能分解土壤中顽固污染物的各种生物的发育情况。

大量使用化肥势必导致水被硝酸盐污染，这是工业化国家关心的一个大问题。一种部分地解决问题的办法是挑选单产高、用肥量很少（即土壤负担减轻）的作物基因型。例如，某些谷类品种利用所施氮肥的效率高于其它品种。氮-15 之类的同位素在研究这种情况的原因方面，以及在指导植物育种人员确定其育

种计划中的作物性质方面，能起关键作用。

同样，稳定同位素氮-15 和硫-34 在涉及大气污染效应的植物研究方面特别有用。在植物生理研究中已广泛使用的碳-14 和磷-32 同位素也是这样。

侵蚀和沙漠化

侵蚀和沙漠化是全球两大环境问题。全世界每年约有 600 万公顷的土地变成沙漠。同位素在测定侵蚀速率方面常常是有用的；例如，表土层中铯-137 含量的变化已被用来测量侵蚀速率（铯来源于落下灰）。

在已侵蚀或已沙漠化土壤的恢复方面，固氮乔木可起关键作用。氮-15 对于检验不同乔木和不同品种的固氮能力，包括树木管理和其它因素的影响，是不可缺少的。此外，在豆科乔木方面，测定碳-13/碳-12 比率的工作，为选择在生长中能高效利用水的植物基因型提供了极大方便。在 FAO/IAEA 联合处的土壤计划中，包含有正在研究的这类问题。

评估各种变化

本文已经指出了同位素在环境研究中的某些潜在用途；它们都是至今尚未得到充分利用的十分有用的工具。尽管此处未专门论及全球气候变化这个大问题，但亚马孙森林的皆伐（IAEA 环境计划的一个重点）会给全球气候带来许多严重后果。这些后果包括大大减少输送给热带以外地区的潜热量，加速因大量释放二氧化碳和其它温室气体而引起的温室效应。

由目前的一些气候模型得出的结果表明，亚马孙森林全面而快速的毁坏可能是一种不可逆的变化。这个地区水文循环的变化和植物—动物间复杂的相互依存关系的破坏，有可能严重到这样的地步，以至森林一旦被毁就再也无法恢复往日的面貌了。因此，亚马孙模型各个方面的某些“输出”，将成为正在开发的全球气候变化模型的重要“输入”。亚马孙河流域对于全球生态平衡这架天平可以说起着举足轻重的作用。另一个方面是，同位素方法在确定和提供预期的变化方面将是有价值的。这里提到的是两个例子，一是利用碳和氮的同位素研究土壤中有机的变化，二是根据碳-13/碳-12 比率选择（特别是在预计将在世界许多地区出现更加干燥的气候的条件下）能高效利用水的植物基因型。