

环境生态示踪, 散落核素示踪
研究进展

综述与评述

172-177

X17

环境生态系统散落核素示踪研究新进展

万国江^①, P. G. Appleby^②

(^①中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳, 550002)

(^②Dept of Mathematical Sciences, University of Liverpool, P. O. Box 147, Liverpool L69 3BX, UK)

摘要:环境生态系统中的放射性核素既具有生态毒性,对生物和人体健康产生重要影响,又具有稳定的衰变函数和输入通量,对环境生态系统具有重要示踪价值。人类可利用放射性核素来认识环境生态系统:①环境生态系统中放射性核素的基准;放射性强度与环境生态系统之间的平衡关系;②环境生态系统中放射性核素的行为;在环境生态系统不同宿体和组分间的运移关系。考察放射性核素在生态系统不同环节中比活度的变化有助于认识环境生态过程生物地球化学作用的影响。

关键词:²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 和 ⁷Be;环境生态系统;国际生态大会

中图分类号:X171.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-8166(2000)02-0172-06

第7届国际生态大会于1998年7月19~25日在意大利佛罗伦萨举行。大会由国际生态协会(INTECOL)组织,意大利生态学会承办。会议探讨的主题是:①释放进入环境中的放射性核素的输入通量;②环境中放射性核素的季节变化;③在短的或长的时间尺度下生态系统中放射性核素运移的地球化学条件;④不同生态系统中放射性核素的分布函数;⑤生态系统中放射性核素的平衡状态和寄宿时间;⑥影响放射性核素在土壤和沉积物中记录的扩散、平流和混合作用过程;⑦放射性核素污染环境的控制和补救等。专题讨论会的中心议题是²¹⁰Pb、¹³⁷Cs和⁷Be 3种不同来源的散落核素在生态系统中的地球化学行为。本文就专题讨论会上关于陆地和水生生态系统中的散落核素、湖泊现代沉积物的放射性核素计年等领域的最新研究进展作一简介。

1 环境生态系统中放射性核素

万国江^①在其主题报告中论述了环境生态系统中放射性核素的概况。基于毒理学和放射性辐射,放

射性核素对于环境生态系统存在着潜在的危害性。但是对于科学研究而言,它们又可能具有有益的方面,例如,作为研究地球化学和生态过程动力学的示踪剂以及重建地质和环境变化历史的天然计时钟。此外,它们还可能在生态系统演化中充当着遗传进化推进器的作用。放射性核素广泛存在于环境生态系统中,其来源有:①天然 U/Th 系衰变产物和⁴⁰K;②宇宙射线轰击产生;③人类通过核试验和核设施释放。认识生态系统中放射性核素的运移、归宿及影响是非常重要的任务。

包括宇宙射线产生的放射性核素在内的天然放射性核素一直相伴于地球生态系统的演化过程。这就意味着除了放射性核素自身的平衡之外,还可能存在着放射性核素与生态系统之间的另外一种平衡关系。或许这正是促进生态系统演化的一个关键因素。因此,我们猜测放射线可能是一种生命线。从另一方面看,放射性核素还具有作为研究地球演化和物质运移的重要示踪价值。人类可以利用放射性核素来认识环境生态系统。研究环境生态系统中的放射性

• 国家自然科学基金项目“²¹⁰Pb 的环境地球化学”(编号:49773207,49894170,49333040)和中国科学院“九五”重点项目(编号:KZ951-A1-402)资助。

第一作者简介:万国江,男,1940年6月出生,研究员,主要从事环境地球化学研究。

收稿日期:1999-06-21。

① 万国江. 生态系统中的核素. The radionuclides in the ecosystems.

核素应包括以下两个方面:①环境生态系统中放射性核素的基准;放射性强度与环境生态系统之间的平衡关系;②环境生态系统中放射性核素的行为;放射性核素在环境生态系统的不同宿体和组分间的运移关系。

环境放射性核素的生态毒性不仅来自放射线影响,而且也可能来自它们的化学性质。前者的影响是研究它们在环境生态系统中行为的最初动力。对于人类而言,关注的焦点是它们的射线的危险性。环境中放射性核素可能对生物有机体构成影响;对研究生态系统中污染物迁移具有价值;对自然档案馆中环境历史记录(如潮汐、海洋沉积物或泥炭)具计年意义。认识和了解天然的、宇宙射线和人为作用产生的不同来源的环境放射性核素在生态系统中的扩散和归宿是十分重要的。考察放射性核素在生态系统的不同环节中比活度的变化有助于认识生态过程生物地球化学作用的影响。在模拟污染物的地球化学行为方面,污染物对于放射性核素的标准化浓度起着重要作用。

关于环境生态系统中放射性核素的研究领域面临许多挑战。首先,由于环境样品的剂量水平很低,在准确分析方面存在着许多技术上的困难。在一个环境单元范围内,对于整体系统的任何子系统研究而言,放射性核素浓度的可靠数据是必不可少的。其次,需要进一步强调的是建立环境放射性模型。建立模型必须明白放射性核素在环境中运移和相互作用的控制过程。为了解环境变化过程,检验测量是必须的。一旦模型获得验证,它们便可能用于实际的或假想的事件或情况的预报。

2 陆地生态系统中的放射性核素

2.1 放射性核素在地表的沉降和归宿

Albers 等^①提交的论文重点讨论了放射性核素散落沉降到地表及其归宿的实例。针对切尔诺贝利(Chernobyl)事故散落放射性铯在德国阿尔卑斯山高山草场的归宿,他们研究了散落核素¹³⁷Cs 在不同土壤中的迁移和进入上覆地植物的途径。在从山顶到山脚大约100 m 长的两个横断面上采样分析结果显示了散落核素¹³⁷Cs 的空间分布^①;切尔诺贝利事故后的10年间,比活度的峰值仍然集中于土壤上部5 cm,在大多数情况下浓集于顶部2 cm。¹³⁷Cs 在表土层的富集可能与被污染土壤在干旱月份的再扬起有关,并可能导致对动物和人群相对高的、长期的表面放射性暴露。由于1986年5月暴雨后地表水的径流,

与相应分布的天然同位素⁴⁰K 相比,在坡地上的土壤和植物中放射性铯比活度增高。这种现象为大量资料所揭示并为地质统计学方法所评价。草本植物获取放射性核素取决于当地的物理—化学条件和生物学相互作用。如微体动植物的活性、土壤有机质含量及植被类型等都是植物体中放射性铯浓度的重要影响因素。这些资料表明了在半天然生态系统中生物学参数对放射性核素实地利用的重要性。

2.2 ⁷Be 示踪表土季节性侵蚀

土壤侵蚀是当今世界重要环境问题之一。近30年来,许多文章报道利用散落放射性核素¹³⁷Cs 作为土壤侵蚀的地球化学示踪剂^{②,③}。¹³⁷Cs 输入到地球表面取决于核试验强度、地区性和纬度特征。¹³⁷Cs 在示踪较长时间尺度的土壤侵蚀方面已经获得了好的结果。然而由于降水的影响,土壤微粒的迁移具有季节性特征,无法用¹³⁷Cs 示踪解决。

⁷Be 作为宇宙射线轰击大气 N、O 靶核产生的核素,其半衰期仅有53.3 d,而且在一定区域范围内,⁷Be 散落地表的输入通量近于常量。因而提供了用它示踪环境物质季节性变化的可能。在⁷Be 示踪水系统表层沉积物季节性微粒混合作用方面已有一些报道^{④,⑤},但是尚无用于土壤侵蚀的报道。白占国等^①的文章报道了一个新的研究实例。

贵州红枫湖汇水区域喀斯特发育,并存在严重的表土侵蚀。喀斯特区域环境条件的季节变化可能具有全球变化意义。该项研究用⁷Be 示踪的目的是了解土壤侵蚀的动力学特点和季节性变化^{⑤,⑥}。⁷Be 用 γ -谱测量,其结果表明^②:

(1) 在同一地点未受扰动的表土中,⁷Be 在秋季的渗透深度(0.2~0.4 g/cm³)大于春季(0.1~0.3 g/cm³);由于扩散作用,⁷Be 比活度随土层深度呈指数降低。

(2) 在同一地点表土中,春季⁷Be 表观比活度(0.3~2.2 Bq/g)高于秋季(0.2~0.5 Bq/g);⁷Be 累计值随位置和季节而变化(154~541 Bq/m²)。虽然⁷Be 输送到地表的通量随降水而增加,但降雨之后,它在表土剖面中的累计值减少30%~40%。

① Bai Z G, Wan G J, Wang C S, et al. The distribution and geochemical behaviour of ⁷Be, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra & ²³⁸Ra in the soil of karst ecological landscape and their erosion trace; an example from central Guizhou Plateau. 1998.

② Albers B P, Kleinschroth S, Schimmack W, et al. Behaviour of radiocesium in German alpine pasture ecosystems. 第7届国际生态大会交流文章,意大利佛罗伦萨,1998.

(3) 按照扩散方程计算的土壤微粒侵蚀或堆积速率与现场观察一致, 并表明秋季的侵蚀速率为春季的1.5倍。同时, 还表明喀斯特山区土壤侵蚀过程中土粒主要作短距离局部迁移。

了解土壤中 ^7Be 、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 等放射性核素的地球化学相, 有助于评价它们作为示踪剂的价值。土壤中这些核素的85%以上存在于 Fe-Mn 氧化物相、有机质相和残渣相, 表明它们能随土粒移动并可作为土粒侵蚀、堆积及沉积物计年的示踪剂。在土粒侵蚀或堆积过程中, ^7Be 、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 在地球化学相中比活度的差异可用于表土侵蚀状态的示踪。

2.3 天然 ^{222}Rn 的放射性影响

生态系统中氡的放射性是十分重要的, 占地表总放射性的50%。卢伟等^①对锡矿山的研究表明: 室内低的氡水平0~100 Bq/m³不会出现伤害, 而室内较高氡水平(超过200 Bq/m³)常常出现癌病人。癌病增加与较高的氡水平有关。

3 水生生态系统中的放射性核素

3.1 散落核素在大气扩散污染物研究中的应用

瑞士沼泽泥炭中2 000多年的大气铅沉降的记录给出了人为污染影响的时间尺度^②。南极 Signy 岛沉积物柱芯中 ^{137}Cs 散落的记录给出了人为污染影响的空间尺度^③。

Appleby 等^④的文章中报道了欧共体 MOLAR (山区湖泊研究)项目的一部分研究结果。该项目的主要目标之一是定量和模拟污染物(微量金属、微量有机物)在偏远山区湖泊的通量和途径, 以及它们被鱼类的吸收。欧洲的北极和高山地区是最偏僻且最少受到扰动的环境。鉴于这些地区距离污染源相对遥远, 毒性物质在食物链更容易积累, 汞和挥发性有机物等污染物侧重于寒冷地区积累, 因而它们被作为区域和全球污染的最佳敏感地区。当前, 这些地区已经成为毒性微量金属和有机物显著污染的证据。验证迁移模式对于预报生态系统中大气投递污染物的影响是一个基本的必备工作。给出来自大气圈的输入通量后, 模型的主要目标是定量模拟从汇水区域到湖泊的迁移过程、在水体中与生物有机体的相互作用, 以及经过水体到沉积物的迁移。由于天然(^{210}Pb 、 ^7Be)和人为(^{137}Cs 、 ^{241}Am 、 $^{239,240}\text{Pu}$)散落核素有以下特征, 它们被视为完成这一目标的理想选择。
①进入环境生态系统的放射性核素具有稳定的输入函数; ②它们的地球化学行为差异显著; ^{210}Pb 存在

于稳定微粒态; ^{137}Cs 具有相对较大的溶解能力; ③它们易于被准确地测定, 并且不会与其它非大气来源的核素相混淆; ④ ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 信息广泛地存在于众多的古湖沼学研究的沉积物记录中。

Appleby 等报告了为确定模型重要参数而进行野外调查的初步结果, 其中包括散落核素的大气输入通量、放射性核素在水体中的浓度及其在溶液和微粒之间的分配、放射性核素输入到沉积物记录中的通量。大气输送通量是根据直接沉降和土壤蓄积二者关系测定。尽管直接测量在短时间尺度上呈现出很大的波动, 但是年平均值与从土壤柱芯中测定的结果一致。虽然水体数据并不完善, 但是结果仍然与利用大气输入通量模拟估算一致。 ^{210}Pb 在水体中的寄宿时间按微粒的寄宿时间确定。 ^{137}Cs 寄宿时间在很大程度上受水寄宿时间的影响, 反映出它的较大溶解性。浮游生物样品测量表明它们吸收 ^{210}Pb 的能力超过 ^7Be 和 ^{137}Cs 的20倍或更多。

根据湖泊沉积物中记录的散落放射性核素的资料, 可用来推测污染历史。由于历史资料常常不复存在, 所以这在微量金属和有机污染物影响的研究中具有特殊重要的意义。迁移模型预测污染物进入水体中转移到沉积物中的部分按如下方程给出^⑤:

$$F = \frac{f_D T_L}{T_S}$$

式中: f_D 是微粒相的部分, T_L 是污染物在水体中的寄宿时间, T_S 是微粒的寄宿时间。给出沉积物中污染物记录为 $\Phi_S(t)$, 大气 ^{210}Pb 沉降通量为 P , 输送到沉积物中的 ^{210}Pb 通量为 P_S , 则大气污染历史 $\Phi(t)$ 由如下方程计算:

$$\Phi(t) = \Phi_S(t) \frac{P F_{Pb}}{P_S F}$$

式中: F_{Pb} 是 ^{210}Pb 的迁移因子。

3.2 鱼体中天然放射性核素的生物积累

Hameed 等^⑥提交了一份关于印度 Kaveri 河流系统鱼体中天然放射性核素生物积累的研究结果。该河是印度 Tamil Nadu 邦最大的第五级终年流水

① Lu W. et al. ^{222}Rn in ecological systems, studies in the Geju and Taishun. 第7届国际生态大会交流文章, 意大利佛罗伦萨, 1998.

② Appleby P G, Koulikov A O. Fallout radionuclides as tracers in aquatic eco-systems. 第7届国际生态大会交流文章, 意大利佛罗伦萨, 1998.

③ Hameed P S, Shahul P. Bioaccumulation of natural radionuclides in fishes of the Kaveri river system, Tiruchirappalli, India. 第7届国际生态大会交流文章, 意大利佛罗伦萨, 1998.

河流,河中鱼是当地居民传统的食品来源。鉴于这些鱼具有从周围水体中生物积累放射性核素的能力,需要调查其对人体健康的潜在放射性影响^[10~12]。在Kaveri河长95 km的范围内采集了10种鱼并进行天然放射性核素²¹⁰Po、²¹⁰Pb、²²⁶Ra和²²⁸Ra剂量的测定。结果显示²¹⁰Po高度浓集在鱼肉中,而²¹⁰Pb和Ra同位素则更多地浓集在骨质中。在肌肉组织中²¹⁰Po的比活度范围是2.37~10.68 Bq/kg¹(干重),²¹⁰Pb为0.12~0.32 Bq/kg¹(干重),²²⁶Ra为痕迹量至0.40 Bq/kg¹(干重),²²⁸Ra为痕迹量至0.70 Bq/kg¹(干重)。在骨质中²¹⁰Po、²¹⁰Pb、²²⁶Ra、²²⁸Ra比活度的范围分别是:1.19~4.80 Bq/kg⁻¹、0.39~2.32 Bq/kg⁻¹、1.11~3.02 Bq/kg⁻¹和1.01~3.70 Bq/kg⁻¹。食肉类(*M. vittatus* and *M. bleekeri*)和杂食类(*O. mossambicus*, *A. testudineus*, *C. punctatus*)鱼较食草类鱼(*P. filamentosus*, *P. chola*和*P. tictoticto*)记录了更高水平的放射性核素。根据这些鱼消费量,利用一定时间内的比活度资料和ICRP剂量因素,计算出可能的放射性剂量为0.0003~10.6 μSv/a。显然,在没有任何人为产生的放射性输入到河流系统的情况下,从Kaveri河的鱼转移的放射性剂量低于最大容许限度(5 μSv/a)。

4 湖泊近代沉积物的放射性核素计年

近年来,放射性核素最重要的一种应用是湖泊沉积物环境记录的计年。特别是放射性核素²¹⁰Pb和¹³⁷Cs对于过去100~150 a人为影响的环境计年具有重要价值。

4.1 ²¹⁰Pb和¹³⁷Cs沉积物计年的基本情况

²¹⁰Pb计年是根据如下基本假设:①²¹⁰Pb自大气的输入通量稳定;②进入湖泊的²¹⁰Pb能有效地转移到沉积物中;③沉积物中的²¹⁰Pb不受沉积后迁移作用的明显影响;④沉积物中来自当地²²⁸Ra产生的²¹⁰Pb与²²⁶Ra保持放射性平衡关系。沉积物柱芯必须未受扰动并根据沉积作用速率进行分切。²¹⁰Pb比活度由γ-能谱测定或是经放射化学处理后的α-能谱测定。大气散落来源的²¹⁰Pb_{ex}由从总²¹⁰Pb比活度减去²²⁶Ra比活度计算出。在沉积作用速率稳定的湖泊中,²¹⁰Pb_{ex}比活度将随深度呈指数下降。在沉积作用速率变化的湖泊中,²¹⁰Pb_{ex}剖面呈非指数变化。由于沉积物混合作用或季节性缺氧湖泊中²¹⁰Pb再迁移作用,²¹⁰Pb_{ex}记录可能被改变。解析这种剖面可能是复杂的。稳定同位素组成(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb)研究表明,铅可能由

非碳酸盐相转入可溶解的碳酸盐相,并通过孔隙水发生扩散作用,可能导致沉积后丢失,使²¹⁰Pb计年失误^[13]。

通常,¹³⁷Cs计年是基于该放射性核素在沉积物记录中的层位对比。最主要的特征是大气核试验谈判之后的1963年核爆炸和1986年Chernobyl反应堆事故产生¹³⁷Cs的散落峰。由于在孔隙水中的化学迁移,1954年开始核爆炸的散落物已经不可靠,但有时还可利用。当²¹⁰Pb资料不确定时,¹³⁷Cs资料的价值是无法衡量的。在许多实例中,放射性核素计年的正确性和可信赖性被沉积物柱芯的年纹理所验证。在不同地球化学条件下,沉积物-水界面附近²¹⁰Pb地球化学相和迁移性的研究对于确定沉积物计年的可靠性是十分重要的。

为获得可靠的数据,需注意如下几点:①采样时,表层沉积物不能丢失;②如用α-计数,采样和测量的时间间隔必须≥1.9,以便²¹⁰Pb和²¹⁰Po之间达成平衡;③在季节性缺氧湖泊中,²¹⁰Pb可能因沉积后扩散而迁移。在此情况下,早期成岩数学模型可用于校正计年结果;④由于²²⁶Ra比活度可能随深度变化,在分析每一沉积物层节的²¹⁰Pb时需要用它进行校正^[14]。

高分辨率湖泊沉积物计年是建立精确的地球化学循环模型的基础,也是认识区域环境污染历史和全球环境变化的需要。

4.2 沉积物柱芯中¹³⁷Cs垂直剖面的峰特征

万国江等^[2]提供了关于¹³⁷Cs在沉积物柱芯中垂直剖面比较的报告。利用高精度的不扰动沉积物的采样装置,在1994年和1988年分别对位于云贵高原的洱海和枫湖湖采样。这些湖泊位于喜马拉雅隆起的东翼斜坡,敏感地指示环境和生态的变化。¹³⁷Cs剖面显示出三个峰特征:主峰与1964年核爆炸散落的最大值相符合;另外的两峰分别相应于1975年全球散落的较小增量和1986年切尔诺贝利反应堆的散落。由于后两个峰能够指示出湖泊沉积物中¹³⁷Cs蓄积的时序关系,而可能被用作于新的计年时间标志。¹³⁷Cs垂直分布特征与其沉降通量之间的差异可

① Wan G J, Xu J Y, Bai Z G, et al. ²¹⁰Pb dating stability assessment for lake sediments. 第7届国际生态大会交流文章,意大利佛罗伦萨,1998。

② Wan G J, Cheng J A, Dou M X. A comparison of vertical profiles of ¹³⁷Cs in sediment cores from three lakes: Hongfeng Hu (China), Wallersee (Austria) & Greifensee (Switzerland). 第7届国际生态大会交流文章,意大利佛罗伦萨,1998。

能是由于 ^{137}Cs 沉积后经孔隙水扩散作用所致,但并不影响各个蓄积峰之间的相对位置。例如,根据1964、1975和1986年的时间标志,分别计算出洱海和红枫湖沉积物堆积速率。其结果展现出两湖沉积物堆积速率的稳定特点。洱海平均沉积物堆积速率($0.047 \pm 0.003 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{a}$)与用 ^{210}Pb 方法获得的结果一致;红枫湖的平均值($0.17 \pm 0.01 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{a}$)与该湖自1960年以来所观察到的沉积物堆积深度吻合。在湖泊沉积物中 ^{137}Cs 记录保持的环境信息可能被早期成岩过程再迁移改变。但是通过适当的资料处理,我们仍可获得有用的信息。该文详细地讨论了 ^{137}Cs 吸附作用和离子交换作用的实验结果,并指出沉积物中的 ^{137}Cs 大部分处于固定态,只有小部分处于可交换态。此外,离子交换实验表明粘土矿物的化学组成可能影响 ^{137}Cs 的吸附过程。虽然固定态的 ^{137}Cs 能够竞争吸附作用位置, ^{137}Cs 不会被固定态的 K^+ 和 NH_4^+ 替代。 ^{137}Cs 的迁移过程主要受离子交换作用控制。根据水—沉积物界面散落物沉积和相互作用的数学模型,用纽约和东京的散落通量可以重建 ^{137}Cs 在沉积物柱芯中的垂直剖面,并与测量结果一致。同样,估算出红枫湖汇水区自1960~1988年间 ^{137}Cs 的散落通量。Wallersee湖(奥地利)与Greifensee湖(瑞士)同样的研究工作与之对比,红枫湖的沉积作用速率是三个湖泊中最高的,而 ^{137}Cs 的扩散作用是最小的。并且同样辨识出这些湖泊汇水区不同的侵蚀特征。此外,还显示出 ^{137}Cs 的区域散落沉降有助于对Wallersee湖与Greifensee湖堆积作用的认识;而红枫湖 ^{137}Cs 的垂直剖面则受全球散落控制。

4.3 沉积物中天然和人为作用散落核素的对比

Fernex^①等⁽¹⁵⁾的报告介绍了墨西哥热带湖泊Chapala湖沉积物中天然和人为作用散落放射性核素记录的对比。该湖长60 m,位于Guadalajara北部30 km。流入湖泊的主要河流Rio Lerma经400 km到墨西哥城东。虽然该湖受强烈的富营养化作用,但其水仍提供Guadalajara用水的一半。沉积物柱芯样品用于天然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{210}Pb 和人为放射性核素 ^{137}Cs 的分析。 Ra 和 Cs 的同位素用 γ -能谱测量, ^{210}Pb 比活度是用 α -能谱通过子体核素 ^{210}Po 确定。用 ^{210}Pb 确定与用 ^{137}Cs 峰计算的沉积作用速率之间存在差异(^{137}Cs 峰计算是假设1962~1964年大气核爆炸试验散落峰的记录)。该差异是由于沉积物的扰动,特别是生物扰动和甲烷气泡透过沉积物柱向上迁移;还可能是在前50年间汇水区域

的变化致使自Rio Lerma河进入湖泊的通量减少。在湖区西部沉积物柱芯顶部沉积作用速率为2 mm/a,湖区东部为4 mm/a,而在靠近Rio Lerma河口附近更高。由于西部湖区较低的沉积作用速率,致使其表层沉积物中 ^{137}Cs 比活度较东部高。

5 讨论和建议

5.1 建立环境散落放射性核素的全球数据库

散落放射性核素 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 和 ^7Be 在生态系统中重要性日渐增加。除了对于存储在自然档案馆中的环境记录的计年价值外,它们对于研究陆地、水和大气系统中物质迁移过程具有重要的示踪价值。为实践该目标,很有必要在大气输入通量和生态系统浓度方面建成一个综合的全球数据库。现有的资料在详细程度和覆盖范围方面有限,实际上在世界的许多地区没有资料。我们建议完成一个散落放射性核素的全球数据库,以供人们进一步作为环境和生态示踪剂利用。

5.2 探索放射性在生态系统演化中的作用

在生态系统演化中放射性核素同样起着对遗传变异的促进作用。包括在大气中形成于宇宙射线核素在内的天然放射性核素,在地球生态系统发展中始终参与了作用。除了放射性衰变的平衡之外,放射性比活度与生态系统之间存在着另外一种平衡。研究“低剂量”和“长效应”的影响是一个重要方面,或许放射线可能当作为一种生命线。

主要参考文献

- [1] Albers B P, Rackwitz R, Schimmack W, et al. Transect survey of radiocesium in soils and plans of two alpine pastures [J]. *Sci. Total Environment*, 1998, 216: 159~172.
 - [2] Wan G J, Santschi P H, Sturm M, et al. Natural (^{210}Pb , ^7Be) and fallout (^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland [J]. *Chemical Geology*, 1987, 63: 181~196.
 - [3] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout Cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1990, 19: 215~233.
 - [4] Schuler C, Wieland E, Shantschi P H, et al. A natural tracer
- ① Barci-Funel G, Dalmaso J, Berhani A, et al. Evaluation of the Chernobyl radioactivity in a forest ecosystem through a ten years period. 第7届国际生态大会交流文章,意大利佛罗伦萨, 1998.

- study of radionuclides in Lake Zurich, Switzerland. 1. Comparison of atmospheric and sedimentary flux of ^7Be , ^{10}Be , ^{210}Pb , ^{210}Po , and ^{137}Cs [J]. *J Geophys Res.* 1991, 96 (C9): 17 051~17 055.
- [5] Bai Zhanguo, Wan Guojiang, Wang Changsheng, *et al.* ^7Be distribution in surface soil of central Guizhou karst region and its erosion trace [J]. *Progress in Natural Science*, 1995, 6(6): 700~710.
- [6] Bai Zhanguo, Wan Guojiang, Wang Changsheng, *et al.* Geochemical speciation of soil ^7Be , ^{137}Cs , ^{226}Ra and ^{228}Ra as tracers to particle transport [J]. *Pedosphere*, 1997, 7(3): 263~268.
- [7] Shotyk W, Cheburkin A K, Appleby P G, *et al.* Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition recorded in a peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland [J]. *Earth Planet. Sci Lett.* 1995, 145: E1~E7.
- [8] Appleby P G, Jones V I, Ellis-Evans J C. Radiometric dating of lake sediments from Signy Island (maritime Antarctic), evidence of recent climatic change [J]. *J Palaeolimnology*, 1995, 13: 179~191.
- [9] Appleby P G. Sediment records of fallout radionuclides and their application to studies of sediment-water interactions [J]. *Water, Air & Soil Pollution*, 1997, 99: 573~586.
- [10] Hameed P S, Shaheed K, Somasundaram S S N. Bioaccumulation of ^{210}Pb in the Kaveri river ecosystem, India [J]. *J Environ Radioactivity*, 1997, 37: 17~27.
- [11] Hameed P S, Shaheed K, Somasundaram S S N, *et al.* ^{226}Ra levels in the Cauvery River ecosystem, India [J]. *J Bioscience*, 1997, 22: 225~231.
- [12] Shaheed K S, Somasundaram S N, Hameed P S. A study of ^{210}Po distribution aspects in the revering ecosystem of Kaveri, Trichirappalli, India [J]. *Environ Pollution*, 1997, 95: 371~377.
- [13] Wan G J, Liu J Y, Li B M. The isotopic character and the remobilization of lead at the top of sediment in Erhai [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(2): 139~142.
- [14] Wan G J. ^{210}Pb dating for recent sedimentation [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, (3): 230~239.
- [15] Fernex F, Michaud F, Michel H, *et al.* Vertical distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the sediments of a tropical lake, Chapala, Mexico. 第七届国际生态大会交流文章. 意大利佛罗伦萨, 1998.

PROGRESS ON FALLOUT RADIONUCLIDES AS TRACERS IN ENVIRON-ECOLOGICAL SYSTEMS

WAN Guojiang, P. G. APPLEBY

(① State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, 550002, China)

(② Dept of Mathematical Sciences, University of Liverpool, P. O. Box 147, Liverpool L69 3BX, UK)

Abstract: The radionuclides in environ-ecological systems are important for numbers of reasons. These include the potential radiological impact on biota and human health, and their use as tracers for environmental processes. Therefore, man can make use of radionuclides to know the ecosystem. Important aspects include: (1) radionuclide criteria in the environments and the ecosystem; equilibrium relationship between the radioactive ratio and the ecosystem, or the important significance of environmental radionuclides in the ecosystems; and (2) radionuclide behavior in the environments and the ecosystem; the transfer relationships of radionuclides between different components of the ecosystem. In order to understand the impacts of bio-geochemical processes in different ecosystems, it is essential to investigate the variety of radionuclide activity, and the interactions with the environment of all stages. The VII International Congress of Ecology was organised by the International Association for Ecology (INTECOL) in conjunction with the Italian Ecological Society (SITE). It was held in Florence, Italy on 19~25 July, 1998. With support from the Program Committee, we established a Symposium on Radionuclides in Ecological Systems (RNES) organised as below. On this symposium, the discussion focuses on the geochemical behaviours of ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^7Be , as three fallout radionuclides with different originating. This presentation is concerned with recent progress on the dating lake sediments by ^{210}Pb and ^{137}Cs , and the bio-geochemical behaviors of the ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^7Be in the terrestrial and aquatic ecosystems. With the fallout radionuclides such as ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^7Be are of increasing importance to a wide range of environmental and ecological programs, in order to know their role in the evolution of ecosystems by acting as propellers of genetic variation, it is essential to establishing a global database for environmental radionuclides.

Key words: ^{210}Pb , ^{137}Cs & ^7Be ; Environ-ecological system; VII International Congress of Ecology.