

文章编号: 0379-1726(2002)02-0113-06

散落核素 ^7Be 和 ^{137}Cs 在洱海和红枫湖 沉积物中蓄积对比

白占国^{1,2}, 万国江², 刘东生³, 黄荣贵²

(1. 中国农业科学院 土壤肥料研究所 农业部植物营养学重点实验室, 北京 100081; 2. 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; 3. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 沉积物柱芯分别采自滇西地区的洱海和黔中地区的红枫(及百花)湖。散落核素 ^7Be 和 ^{137}Cs 在沉积物中的蓄积特征对比分析表明, ^7Be 在洱海及红枫湖沉积物中的累计值分别为 $(237 \pm 73) \text{ Bq/m}^2$ 和 $(783 \pm 44) \text{ Bq/m}^2$; 按校正到沉降年代的数值, 1986 年以前 ^{137}Cs 的累计值分别为 $(519 \pm 26) \text{ Bq/m}^2$ 及 $(3704 \pm 56) \text{ Bq/m}^2$ 。由模式计算获知, (1) ^7Be 和 ^{137}Cs 在红枫湖沉积物中的蓄积以侵蚀影响为主; 在洱海的蓄积受直接散落控制。(2) 在洱海和红枫湖地区 ^7Be 大气散落累计值分别为 $(0.07 \pm 0.02) \text{ Bq/cm}^2$ 及 $(0.08 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$; 1986 年以前 ^{137}Cs 大气散落累计值分别为 $(0.11 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$ 及 $(0.37 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$, 显示出滇西与黔中地区之间 ^{137}Cs 散落的地区差异。这一现象可能反映出青藏高原对滇西地区存在着全球性大气扩散污染物散落的屏蔽效应。

关键词: ^{137}Cs ; ^7Be ; 湖泊沉积物; 洱海; 红枫湖**中图分类号:** P597; X142 **文献标识码:** A

0 引言

流域侵蚀和湖泊沉积是地表环境物质运移的主要地球化学过程之一。现代人为活动不仅影响着流域侵蚀作用的进程, 而且人为释放物质也叠加到侵蚀物质的运移过程中; 湖泊沉积物不仅是流域地表物质运移的主要宿体, 而且还是流域内大气散落物的积蓄场所^[1]。

环境中存在的放射性核素具有已知的输入函数和衰变关系, 在不同时间尺度和不同景观类型的地球化学过程研究中具有特殊的示踪价值。 ^7Be 是宇宙线轰击大气中 N、O 靶核而产生的散落核素, 半衰期为 53.3 d; 来源单一, 无长期累积效应。在季节性环境微粒迁移方面具很好的示踪价值^[2-6]。大气层核试验全球扩散而散落到地表的 ^{137}Cs 具 30.2 a 的半衰期, 是研究流域侵蚀和湖泊沉积的良好示踪剂^[3,4,7-12]。

鉴于 ^7Be 和 ^{137}Cs 两种核素在来源、散落、运移及半衰期等方面的较大差异, 二者在流域侵蚀和湖

泊沉积地球化学过程中可能呈现出不同的特征, 可提供更多的示踪信息。在对洱海和红枫(及百花)湖汇水区表土中 ^7Be 累计分布特征、沉积物计年及碳循环研究^[10-14]的基础上, 本文拟进一步对比湖泊沉积物中 ^7Be 和 ^{137}Cs 的蓄积特征, 以期探讨全球性大气扩散污染物散落的地区差异。

1 区域概况

本研究选择了云南西部的洱海和贵州中部的红枫(及百花)湖。洱海位于大理市北 ($100^\circ 11' \text{ E}$, $25^\circ 46' \text{ N}$), 湖面正常水位 1974 m (海防高程), 是滇西高原最大的断陷湖泊, 呈 NNW-SSE 向狭长状展布, 长 42 km, 最大宽度 8.4 km, 属澜沧江水系。红枫湖位于贵阳市郊 ($106^\circ 26' \text{ E}$, $26^\circ 31' \text{ N}$), 属长江流域的乌江水系, 是其支流猫跳河梯级开发第一级人工湖。湖面高程 1240 m, 1960 年建成蓄水; 百花湖处红枫湖下游 6 km, 属第二梯级, 1966 年建成蓄水 (表 1)。

洱海西岸为强烈上升的点苍山, 河谷剧烈下切

收稿日期: 2001-02-19; 接受日期: 2002-01-20

基金项目: 国家自然科学基金 (49971053, 49894170, 49333040); 中国科学院基金 (KZ951-A1-402); 国际科学基金 (IFS of Sweden, A/2704-1)

作者简介: 白占国 (1966-), 男, 博士, 研究员, 环境地球化学专业, 主要从事土壤侵蚀研究。

表 1 洱海和红枫(及百花)湖水文特征

Table 1 Hydrological features of Lake Erhai and Lake Hongfeng(Baihua)

湖泊名称	正常水位 (m)	汇水面积 (km ²)	水面面积 (km ²)	补给系数	平均水深 (m)	最大水深 (m)	蓄水量 (×10 ⁶ m ³)	年来水量 (×10 ⁶ m ³ /a)	水寄宿时间 (a)	年均气温 (°C)
洱海	1 974	2 656	250	10.6	10.5	20.9	28.8	8.13	2.75	15.0
红枫湖	1 240	1 578	32.2	49	9.25	50	2.98	9.19	0.32	14.1
百花湖	1 189	1 915	14.5	132	7.72	40	1.12	10.94	0.10	13.8

注:洱海水文资料转引自文献[14,15];红枫(及百花)湖水文资料转引自贵州省环境保护局尹道谦等,贵州省猫跳河流域水环境综合整治对策研究综合报告,1996。

的不对称侵蚀地貌景观。其汇水区域基岩以沉积岩和变质岩为主,广泛发育着碳酸盐岩、片麻岩和硅质岩;表土类型多样,以红壤、水稻土及冲积土为主;光山秃岭,草灌稀疏,森林覆盖率仅7%。红枫(百花)湖汇水区域以三叠纪白云岩为主,岩溶作用发育,石灰土和黄壤广布,土层浅薄;由于侵蚀严重,呈现出“石漠化”景观。石山上部岩石裸露,表土仅残存在凹陷的溶臼、溶沟、溶槽及裂隙中。山坡上仅有依稀的草灌。

滇西和黔中地区均属亚热带季风气候,前者主要受西南季风影响,后者处东南季风与西南季风的交汇地带。气候温和,季节性变化不明显;雨量充沛,降雨主要集中于5~10月。但滇西地区年均降水量略低于黔中地区,而年均蒸发量比黔中地区高50%以上。

受碳酸盐岩地质背景及亚热带季风气候的控制,两地区均表现出明显的岩溶水化学特征:(1)湖水呈弱碱性、中硬度、低矿化度;(2)湖水溶质以Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻为主,为典型的碳酸盐岩侵蚀特征;(3)湖水离子浓度Ca²⁺>Mg²⁺>Na⁺>K⁺,HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻,属于重碳酸盐类、钙组、二型水(CF)。但红枫湖水的离子总量较高^[15]。

2 采样与分析方法

湖泊沉积物柱芯样品是利用湖泊沉积物-水界面采样装置,分别于1988年和1994年采自黔中地区的红枫(及百花)湖深水部位(HF/BH8801,覆水深度38m;HF/BH941003-2,覆水深度20m)和滇西地区的洱海深水湖区的3号样点(EH940713-3-2,覆水深度16m)。所有样点均远离河道入口和湖水出口。采得的沉积物柱芯长26~90cm,悬浮层未受扰动,界面水清澈透明。采样后,立即在野外现场

按0.5~1.0cm间隔分截沉积物柱芯并称量。逐层节的湿沉积物样品用FD-3-85D-MP型冷冻干燥仪在-80℃、30mT条件下进行低温干燥或低于60℃条件下烘干,称取干质量并研磨至0.15mm待分析用。根据逐层节的干、湿称量关系计算出其孔隙度并进行沉积物柱芯的质量深度校正。

放射性比活度分析用谱仪为美国Canberra公司生产的S-100系列16384道多道分析器,仪器具有良好的稳定性,测试过程中无道漂。根据样品计数情况,分别用GC5019同轴锗探测器(效率50%)或GCW3022井型锗探测器(效率30%)测量。¹³⁷Cs计数峰的位置为661.6keV,⁷Be为477.7keV。¹³⁷Cs及多核素放射性标准源由中国科学院原子能所提供,测试结果已在美国Texas A&M大学海洋环境研究实验室(LOER)进行了比对。

3 结果与讨论

分析结果列于表2。并绘于图1和图2。根据图表资料讨论如下。

3.1 ⁷Be在沉积物柱芯中的蓄积特征

在洱海和红枫(百花)湖沉积物中,⁷Be主要分布在沉积物柱芯顶部2cm深度以内,与表土层的渗透深度不一样^[5],但与¹³⁷Cs在其他湖泊和海湾沉积

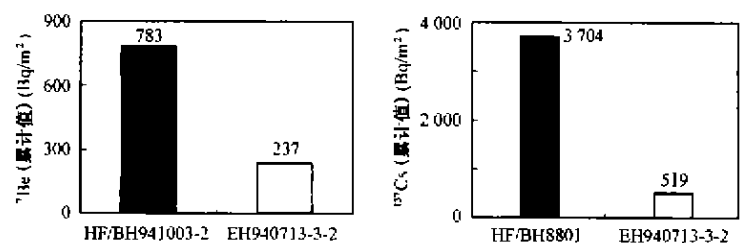
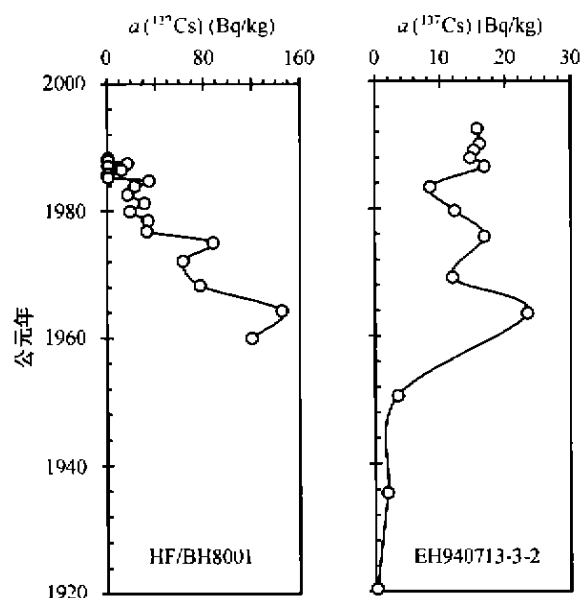


图1 ⁷Be和¹³⁷Cs在洱海和红枫(及百花)湖沉积物中的累计值比较
Fig. 1 Inventories of ⁷Be and ¹³⁷Cs in the sediments of Lake Erhai and Lake Hongfeng (Baihua)

表 2 洱海和红枫(及百花)湖沉积物中 ^7Be 和 ^{137}Cs 蓄积资料Table 2 Accumulation data of ^7Be and ^{137}Cs in sediments of Lake Erhai and Lake Hongfeng (Baihua)

湖泊名称	柱芯编号	^7Be 渗透深度 (cm)	累计值 (Bq/m^2)	^{137}Cs 主峰质量深度 (g/cm^2)	沉积物堆积速率 [$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$]	主峰比活度 (Bq/kg)	总累计值 (Bq/m^2)	1986 年前累计值 (Bq/m^2)
洱海	EH940713-3-2	2	237 ± 73	1.455	0.047 ± 0.002	48.3 ± 2.7	590 ± 27	519 ± 26
红枫湖 - 百花湖	HF/BH941003-2	2	783 ± 44					
红枫湖 - 百花湖	HF/BH8801			4.112	0.17 ± 0.01	252.6 ± 15.1	$3\,713 \pm 56$	$3\,704 \pm 56$

图 2 ^{137}Cs 在洱海和红枫湖沉积物中的垂直分布Fig. 2 Vertical profiles of ^{137}Cs in the sediments of Lake Erhai and Lake Hongfeng

物表层的渗透深度一致^[2-4,6]。 ^7Be 在洱海和红枫(百花)湖沉积物中累计值分别为 $(237 \pm 73) \text{ Bq}/\text{m}^2$ 和 $(783 \pm 44) \text{ Bq}/\text{m}^2$ (表 2)。

已有研究表明,不同类型土壤样品中 79% 以上的 ^7Be 与有机质及铁-锰氧化物结合^[16]。滇西地区 10 个样点表土中 ^7Be 累计值平均为 $445 \text{ Bq}/\text{m}^2$ ($184 \sim 1\,065 \text{ Bq}/\text{m}^2$); 而黔中地区 18 个采样点表土中 ^7Be 累计值平均为 $274 \text{ Bq}/\text{m}^2$ ($154 \sim 539 \text{ Bq}/\text{m}^2$)。对比可见, HF/BH941003-2 沉积物柱芯中 ^7Be 的累计值远高于黔中地区表土中累计值的平均水平,表明红枫(百花)湖汇水区域表土中的 ^7Be 可能伴随含有有机质的土粒搬运而进入湖底沉积物中; 而 EH940713-3-2 沉积物柱芯中 ^7Be 的累计值低于或相当于滇西地区表土的累计值,说明洱海汇水区表层土粒的选择性侵蚀不明显^[5,13]。

3.2 ^{137}Cs 在沉积物柱芯中的累计特征

^{137}Cs 在洱海和红枫(百花)湖沉积物柱芯中具有相似的垂直分布特征(图 2)。EH940713-3-2 柱芯

中 ^{137}Cs 的最大蓄积峰值出现在质量深度 $1.455 \text{ g}/\text{cm}^2$, 并在质量深度 $0.370 \text{ g}/\text{cm}^2$ 和 $0.888 \text{ g}/\text{cm}^2$ 出现次级蓄积峰。而 HF/BH8801 柱芯中 ^{137}Cs 的最大蓄积峰值出现在质量深度 $4.112 \text{ g}/\text{cm}^2$, 并在质量深度 $2.286 \text{ g}/\text{cm}^2$ 出现次级蓄积峰。其最大蓄积峰与 1964 年的散落沉降蓄积相对应; 而其他次级蓄积峰与 1975 年的全球散落沉降和 1986 年前苏联切尔诺贝利核泄漏有关。由沉积物柱芯中 ^{137}Cs 计年获知: 近几十年间洱海沉积物的堆积速率稳定为 $(0.047 \pm 0.002) \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$, 红枫湖为 $(0.17 \pm 0.01) \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。后者为前者的 3.6 倍, 显示出红枫湖流域侵蚀较洱海严重。上述 ^{137}Cs 计年结果不仅与 ^{210}Pb 方法吻合, 而且还表明近几十年间它们的沉积作用稳定^[10-12]。

虽然 ^{137}Cs 在两湖沉积物中给出了可靠的沉积计年结果, 但 ^{137}Cs 在其沉积物相应层节中的比活度具有很大的差异。按已经校正到沉降年代的数值表示, 洱海沉积物柱芯中最大蓄积峰位上, ^{137}Cs 比活度为 $(48.3 \pm 2.7) \text{ Bq}/\text{kg}$; 而红枫湖沉积物柱芯中为 $(252.6 \pm 15.1) \text{ Bq}/\text{kg}$, 为洱海的 5.2 倍(图 2)。通常, 如果核素的散落或侵蚀来源相似时, 湖泊沉积物的堆积速率越大, 则相同层位沉积物中的比活度越小。洱海与红枫湖沉积物堆积速率与 ^{137}Cs 在沉积物中比活度相悖的现象, 正好反映出两湖沉积物中 ^{137}Cs 累计值的差异。1986 年以前, 洱海和红枫湖沉积物柱芯中 ^{137}Cs 的累计值分别为 $(519 \pm 26) \text{ Bq}/\text{m}^2$ 及 $(3\,704 \pm 56) \text{ Bq}/\text{m}^2$, 后者为前者的 7.1 倍。上述分析可见, 滇西地区湖泊沉积物中 ^{137}Cs 的蓄积量明显低于黔中地区。

3.3 ^7Be 和 ^{137}Cs 在沉积物柱芯中散落蓄积的模式分析

湖泊沉积物中散落核素的蓄积既与其直接散落有关, 又受湖泊汇水区的水文地质条件和表土侵蚀情况影响。为进一步认识 ^{137}Cs 和 ^7Be 在滇西和黔中两地区的散落蓄积特征, 现进行散落蓄积的模式分析。万国江等曾就大气散落核素在流域侵蚀和湖泊沉

积间的关系建立了示踪模型^[4,17]。本文利用该模型计算出¹³⁷Cs和⁷Be两核素在所研究湖泊沉积物中的蓄积散落比,再根据沉积物中实测的累计值讨论其散落的地区差异(表3)。表3中, λ_a 为核素通过微粒沉降作用自湖水向沉积物迁移的初级迁移速率常数(a^{-1}); τ_a 为核素通过微粒沉降作用的寄宿时间(d); f_i 及 f_e 分别为核素在湖泊沉积物中蓄积的散落因子和侵蚀因子; f 为核素在沉积物中的蓄积-散落比; I_a 为核素自大气散落的累计值(Bq/cm^2)。通过两核素蓄积-散落比的模式分析,我们获得如下两点认识。

(1) 对⁷Be而言,洱海沉积物中的蓄积以散落影响为主,散落-侵蚀因子之比为5.6;红枫(百花)湖的侵蚀因子大于散落因子,散落-侵蚀因子之比仅为0.6。洱海的蓄积-散落之比小,仅为0.33;而红枫(百花)湖为1.02。从而,计算得洱海和红枫(百花)湖的大气散落累计值分别为 $(0.07 \pm 0.02) Bq/cm^2$ 及 $(0.08 \pm 0.01) Bq/cm^2$ 。这就意味着在洱海和红枫(百花)湖地区⁷Be的大气散落相近。

(2) 对¹³⁷Cs而言,红枫(百花)湖的蓄积以侵蚀为主,侵蚀因子为散落因子的4.3倍;而洱海的蓄积受直接散落控制,其散落因子为侵蚀因子的1.9倍。模式计算的蓄积-散落比为0.49;而红枫(百花)湖沉积物的蓄积-散落比为洱海的2倍,反映了侵蚀来源的重要影响。根据蓄积-散落比关系,分别计算出洱海和红枫(百花)湖地区1986年以前¹³⁷Cs自大气散落的累计值为 $(0.11 \pm 0.01) Bq/cm^2$ 及 $(0.37 \pm 0.01) Bq/cm^2$ 。上述分析说明,洱海所在的滇西地区,¹³⁷Cs的大气散落远小于红枫(百花)湖所在的黔中地区。

3.4 ⁷Be和¹³⁷Cs在滇西和黔中地区散落差异原因分析

⁷Be作为宇宙线成因的短寿命核素,具直接散落特征,其散落分布可能存在纬度效应和海拔效应。在同一地区,⁷Be自大气散落通量变化主要受降水影响^[18],其最大值出现在夏天,可能高出冬春季的几倍^[19]。瑞士⁷Be的年均散落累计值约为 $530 Bq/(m^2 \cdot a)$ ^[20]。位于美国墨西哥湾的加尔维斯顿(Galveston),其⁷Be的年均沉降散落通量为 $0.245 Bq/(cm^2 \cdot a)$ ^[18]。本项研究的沉积物柱芯样品采自

表3 洱海和红枫(百花)湖沉积物中散落核素¹³⁷Cs和⁷Be蓄积-散落模拟计算结果

Table 3 Simulating calculation results for accumulation-precipitation of ¹³⁷Cs and ⁷Be in the sediments of Lake Erhai and Lake Hongfeng (Baihua)

核素	湖泊名称	λ_a (a^{-1})	τ_a (d)	f_i	f_e	f_i/f_e	$f=f_i+f_e$	I_a (Bq/cm^2)
¹³⁷ Cs	洱海	0.18	2.05×10^3	0.32	0.17	1.9	0.49	0.11 ± 0.01
¹³⁷ Cs	红枫(百花)湖	0.73	5.01×10^2	0.19	0.81	0.2	1.00	0.37 ± 0.01
⁷ Be	洱海	2.13	1.71×10^2	0.28	0.05	5.6	0.33	0.07 ± 0.02
⁷ Be	红枫(百花)湖	10.01	3.65×10^1	0.40	0.62	0.6	1.02	0.08 ± 0.01

注:模式计算中,固-液分配系数K:¹³⁷Cs取 $4 \times 10^3 cm^3/g$,引自Robins *et al.*^[17];⁷Be取 $5 \times 10^4 cm^3/g$,引自Wan *et al.*^[14]。

夏秋季节,⁷Be大气散落累计值可能偏高。同时,云贵高原海拔较高,也可能导致⁷Be大气散落累计值偏高。但是,洱海与红枫(百花)湖两地区之间仅700m的海拔差异,尚未对⁷Be大气散落累计值变化产生明显的影响。

大气层核试验产物在对流层和平流层间交换,并按照一定的分配关系逐年向地表散落。它们随西环流的扩散和散落既具有全球一致性,又具有纬度效应。¹³⁷Cs作为大气层核试验产生并在全球范围内扩散和散落的核素,其散落通量的变化受核试验强度、地区性和纬度效应影响。作为两个地区散落累计值对比的讨论,不涉及核试验强度的原因。特别是洱海和红枫湖沉积物柱芯中¹³⁷Cs的垂直剖面与全球散落的时序变化一致,所以滇西和黔中地区¹³⁷Cs大气散落的差异不可能用核试验强度的变化来解释。滇西和黔中地区纬度相近且降水量相差仅20%,¹³⁷Cs的大气散落也应相近。同样不可能由纬度效应来认识两地区之间¹³⁷Cs的散落变化。因此,滇西地区¹³⁷Cs的大气散落远小于黔中地区的问题只能从地区性的角度寻求答案。¹³⁷Cs每年自平流层向对流层沉降主要发生在秋季。在1500m高度的流场,滇西和黔中地区春、夏季(如4月和7月)受西环流南支的影响;秋、冬季(如9月和1月)则受北支反气旋的影响。而在5000m高空流场,西环流分支已经不够明显。滇西和黔中地区地处青藏高原东翼斜坡,¹³⁷Cs散落的地区差异可能反映出气流输送过程中被屏蔽的现象。UNSCEAR曾就¹³⁷Cs全球扩散散落累计值的区域分布给出模拟图示^[21]。滇西和黔中地区正好分别位于模拟累计值不同等值线区域。湖泊沉积物中¹³⁷Cs的累计值是湖泊及其汇水区长期散落和蓄积的反映。¹³⁷Cs作为一个全球性污染物扩散的示踪剂,根据其蓄积值的上述差异,可以推

测青藏高原对滇西地区存在着全球性扩散大气污染物沉降的屏蔽效应。如果这一效应存在, 我们将可能从其他全球性扩散污染物的沉积记录中寻求印证; 当然也可以通过干沉降量和湿沉降量的长期监测予以证实。

4 结 论

(1) 洱海沉积物中 ^7Be 的累计值为 (237 ± 73) Bq/m^2 , 低于或相当于滇西地区表土的累计值; 而红枫(百花)湖沉积物中的累计值为 (783 ± 44) Bq/m^2 , 高于黔中地区表土中累计值的平均水平, 显示了汇水区表土侵蚀对沉积物中散落核素蓄积的明显影响。

(2) 按校正到沉降年代的数值表示, 1986 年以前洱海和红枫(百花)湖沉积物中 ^{137}Cs 的累计值分别为 (519 ± 26) Bq/m^2 及 $(3\ 704 \pm 56)$ Bq/m^2 。显示出滇西地区湖泊沉积物中 ^{137}Cs 的蓄积量明显低于黔中地区。

(3) 模式计算结果表明, ^7Be 和 ^{137}Cs 在红枫(百花)湖沉积物中的蓄积以侵蚀影响为主, 而在洱海的蓄积受直接散落控制。在洱海和红枫(百花)湖地区 ^7Be 大气散落累计值分别为 (0.07 ± 0.02) Bq/cm^2 及 (0.08 ± 0.01) Bq/cm^2 ; 1986 年以前 ^{137}Cs 大气散落累计值分别为 (0.11 ± 0.01) Bq/cm^2 及 (0.37 ± 0.01) Bq/cm^2 。

(4) ^{137}Cs 作为一个全球性扩散的污染物, 其在滇西和黔中地区之间散落的地区差异可能反映出气流输送过程中被屏蔽的现象。由此可推测, 青藏高原对滇西地区存在着全球性大气扩散污染物散落的屏蔽效应。

参考文献(References):

- [1] 万国江. 环境质量的地球化学原理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 1~216.
Wan Guo-jiang. The Geochemical Principles for Environmental Quality [M]. Beijing. China Environmental Science Press, 1988. 1~216 (in Chinese).
- [2] Robbins J A, Eadie B J. ^7Be : A tracer of seasonal particle transport processed in Lake Michigan [J]. EOS, 1982, 63(45): 957.
- [3] 万国江, Santschi P H, Sturm M, 等. 放射性核素和纹理计年对比研究瑞士格莱芬湖近代沉积速率[J]. 地球化学, 1986, 15(3): 259~270.
Wan Guo-jiang, Santschi P, Sturm M, et al. The comparative study using varve counting and radionuclide dating for recent sedimentation rate of Lake Greifen, Switzerland [J]. Geochimica, 1986, 15(3): 259~270 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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]. Chem Geol, 1987, 63: 181~196.
- [5] 白占国, 万国江, Santschi P H, 等. 宇宙线散落核素 ^7Be 在山区表土中的分布特征及侵蚀示踪原理[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 266~275.
Bai Zhan-guo, Wan Guo-jiang, Santschi P H, et al. Distribution of cosmogenic ^7Be in surface soils of mountain region and the principles for erosion trace [J]. Acta Pedol Sinica, 1998, 35(2): 266~275 (in Chinese with English abstract).
- [6] Steinmann P, Billen T, Loizeau J, et al. Beryllium-7 as a tracer to study mechanisms and rates of metal scavenging from lake surface waters [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1999, 63(11-12): 1 621~1 633.
- [7] Robbins J A, Edgington D N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using ^{210}Pb and ^{137}Cs [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1975, 39: 285~304.
- [8] Edgington D N, Klump J Val, Robbins J A, et al. Sedimentation rates, residence times, and radionuclide inventories in Lake Baikal from ^{137}Cs and ^{210}Pb in sediment cores [J]. Nature, 1991, 350: 601~604.
- [9] 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]. J Environ Qual, 1990, 19: 215~233.
- [10] 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物 ^{137}Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪[J]. 科学通报, 1990, 35(19): 1 487~1 490.
Wan Guo-jiang, Lin Wen-zhu, Huang Rong-gui, et al. Dating characteristics and erosion traces of ^{137}Cs vertical profiles in Lake Hongfeng sediments [J]. Chinese Sci Bull, 1991, 36(8): 674~677.
- [11] 万国江. 现代沉积年分辨的 ^{137}Cs 计年——以云南洱海和贵州红枫湖为例[J]. 第四纪研究, 1999, 19(1): 73~80.
Wan Guo-jiang. ^{137}Cs dating by annual distinguish for recent sedimentation: Samples from Erhai Lake and Hongfeng Lake [J]. Quatern Sci, 1999, 19(1): 73~80 (in Chinese with English abstract).
- [12] 徐经意, 万国江, 王长生, 等. 云南省泸沽湖、洱海现代沉积物中 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 的垂直分布及其计年[J]. 湖泊科学, 1999, 11(2): 110~116.
Xu Jing-yi, Wan Guo-jiang, Wang Chang-sheng, et al. Vertical distribution of ^{210}Pb and ^{137}Cs and their dating in recent sediments of Lugu Lake and Erhai Lake, Yunnan Province [J]. J Lake Sci, 1999, 11(2): 110~116 (in Chinese with English abstract).
- [13] 白占国, 万国江. 滇西和黔中表土中 ^7Be 与 ^{137}Cs 分布特征对比研究[J]. 地理科学, 2002, 22(1): 43~48.
Bai Zhan-guo, Wan Guo-jiang. A comparative study on distribution of ^7Be and ^{137}Cs in the surface soils in the western Yunnan and the central Guizhou provinces [J]. Sci Geog Sinica, 2002, 22

- (1): 43~48 (in Chinese with English abstract).
- [14] 万国江, 白占国, 王浩然, 等. 洱海近代沉积物中碳-氮-硫-磷的地球化学记录[J]. 地球化学, 2000, 29(2): 189~197.
Wan Guo-jiang, Bai Zhan-guo, Wang Hao-ran, et al. The geochemical records of C-N-S-P in recent sediments of Lake Erhai, China [J]. *Geochimica*, 2000, 29(2): 189~197 (in Chinese with English abstract).
- [15] 万国江, 徐义芳, 李荪蓉, 等. 云贵高原若干湖泊水库水化学组分研究[J]. 环境科学丛刊, 1988, 9(3): 37~51.
Wan Guo-jiang, Xu Yi-fang, Li Sun-rong, et al. Hydrochemical compositions in several lakes and reservoirs in Yunnan-Guizhou Plateau [J]. *Comment Environ Stud China*, 1988, 9(3): 37~51 (in Chinese with English abstract).
- [16] 白占国, 万曦, 万国江, 等. 岩溶山区表土中 ^7Be 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 的地球化学相分配及其侵蚀示踪意义[J]. 环境科学学报, 1997, 17(4): 407~411.
Bai Zhan-guo, Wan Xi, Wan Guo-jiang, et al. Geochemical speciation of ^7Be , ^{137}Cs , ^{226}Ra and ^{228}Ra in soils of the karst region, southwestern China and their erosion trace [J]. *Acta Sci Circum*, 1997, 17(4): 407~411 (in Chinese with English abstract).
- [17] 万国江, Santachi P H. 瑞士 Greifen 湖沉积物中放射性核素累计值预测研究[J]. 地理科学, 1987, 7(4): 358~363.
Wan Guo-jiang, Santachi P H. Prediction of radionuclide inventory for sediment in Lake Greifen, Switzerland [J]. *Sci Geog Sinica*, 1987, 7(4): 358~363 (in Chinese with English abstract).
- [18] Baskaran M, Coleman C H, Santachi P H. Atmospheric deposition fluxes of ^7Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas [J]. *J Geophys Res*, 1993, 98(D11): 20 555~20 571.
- [19] Schuler C, Wieland E, Santachi P H. A multitracer 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): 17 051~17 065.
- [20] KUR (Kommission zur Überwachung der Radioaktivität) Bericht. 25 Jahre Radioaktivität Überwachung in der Schweiz [R]. Freiburg: Phys Inst, Univ of Freiburg, 1982.
- [21] Agudo E G. Global distribution of ^{137}Cs inputs for soil erosion and sedimentation studies [A]. IAEA-TECDOC-1028. Proceedings of a Consultant Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and Held in Vienna, 13~16 November 1995. Vienna: IAEA, 1998. 117~121.

A comparative study on accumulation characteristics of ^7Be and ^{137}Cs in sediments of Lake Erhai and Lake Hongfeng, China

BAI Zhan-guo^{1,2}, WAN Guo-jiang², LIU Tung-sheng³, HUANG Rong-gui²

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition Research of Chinese Ministry of Agriculture, Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The sediment cores are collected from Lake Erhai in West Yunnan and Lake Hongfeng (and Lake Baihua) in Central Guizhou. The accumulation characteristics of the ^7Be and ^{137}Cs show that ^7Be inventories in sediment cores of Lake Erhai and Lake Hongfeng (and Lake Baihua) are $(237 \pm 73) \text{ Bq/m}^2$ and $(783 \pm 44) \text{ Bq/m}^2$, respectively. On the basis of the activity values that are corrected to the deposition, prior to year 1986, ^{137}Cs inventories in the lakes were $(519 \pm 26) \text{ Bq/m}^2$ and $(3\ 704 \pm 56) \text{ Bq/m}^2$, respectively. The model calculation indicated that (1) ^7Be and ^{137}Cs accumulations in Lake Hongfeng sediments are dominated by watershed erosion, but in Lake Erhai, they are mainly controlled by the directly atmospheric deposition, and (2) ^7Be atmospheric fallout inventories in Lake Erhai and Lake Hongfeng are $(0.07 \pm 0.02) \text{ Bq/cm}^2$ and $(0.08 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$, respectively. Prior to 1986, ^{137}Cs inventories were $(0.11 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$ and $(0.37 \pm 0.01) \text{ Bq/cm}^2$, respectively, indicating that ^{137}Cs deposition has a regional difference in the two regions. This phenomenon would reflect that uplift of the Himalayas could have the barrier effect on the fallout of globally atmospheric pollutants in the western Yunnan.

Key words: ^{137}Cs ; ^7Be ; lake sediments; Lake Erhai; Lake Hongfeng