

^{137}Cs 在滇西与黔中地区散落的差异*

——青藏隆起对滇西地区全球性扩散 大气污染物散落屏蔽效应的推断

万国江^① 白占国^② 刘东生^③ 王仕禄^①
陈敬安^① 黄荣贵^①

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,贵阳 550002;

②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;

③中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029

摘要 云贵高原是青藏隆起在南亚大陆形成的一个海拔梯度大、地势格局复杂的特异环境单元。该地域兼受东南季风与西南季风的交汇影响,是全球变化的敏感区之一。青藏隆起对云贵高原现代环境影响主要表现在:1) 全球性大气扩散污染物的屏蔽效应和局地性大气扩散污染物的滞留效应;2) 区域化学风化的增强效应和物理侵蚀的梯级效应;3) 地表环境地球化学过程的低纬度·高海拔效应。核素示踪模式分析表明:滇西与黔中地区之间 ^{137}Cs 自大气散落差异明显[1986 年以前,洱海和红枫湖沉积物中 ^{137}Cs 散落的累计值分别为 $(0.11 \pm 0.01)\text{Bq}/\text{cm}^2$ 及 $(0.37 \pm 0.01)\text{Bq}/\text{cm}^2$],而 ^7Be 的散落相近。这说明青藏隆起对滇西地区存在全球性扩散大气污染物散落的屏蔽效应。

关键词 ^{137}Cs - ^7Be 散落蓄积 屏蔽效应 云贵高原 青藏隆起

1 引言

全球变化源于全球物质和能量循环的驱动。地质历史时期形成的地表环境格局对全球物质和能量循环产生重要影响。一些研究基于风化作用强度与地表温度、大气 CO_2 浓度之间的反馈关系,提出地球具有抗外部干扰而保持表面温度稳定的能力^[1];并建立长时间尺度碳的地球化学循环模型,以解释新生代青藏隆起后地表高差增大,风化作用加强,大气 CO_2 浓度和表面温度降低^[2-4]。尽管这些模型及其模拟结果仍面临严峻的挑战^[5],但毋庸置疑的是:青藏隆起塑造了中国大陆的三级阶地,形成了季风气候,改变了物质循环和水汽输送途径,从而对周边地区现代环境产生多种类型的重要影响。云贵高原作为青藏隆起的东翼斜坡,位于藏滇褶皱带和扬子准地台两种不同性质大地构造的过渡带,是南亚大陆的一个海拔梯度大、地势格局复杂的特异环境单元。

第一作者简介:万国江,男,61岁,研究员,地球化学专业, E-mail: gjw@ms.gyig.ac.cn

* 国家自然科学基金(批准号:49971053、49894170、49773207 和 49333040)资助项目和中国科学院“九五”重大项目(批准号:KZ951-A1-402-06-04)

2001-05-12 收稿,2001-06-19 收修改稿

洱海是滇西高原最大的断陷湖泊^[1],位于云南省大理市北(25°46'N,100°11'E),湖面正常水位 1 974m(海防高程),呈 NNW - SSE 方向狭长状展布,长 42km,最大宽度 8.4km;属澜沧江水系。洱海西岸为强烈上升的点苍山,其河谷呈剧烈下切的不对称侵蚀地貌景观。其汇水区域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%。

红枫湖是黔中地区最大的人工湖^[1],位于贵州省贵阳市郊(26°31'N,106°26'E)。湖面高程 1 240m,属乌江水系猫跳河开发的第 1 梯级,1960 年建成蓄水。红枫湖下游 6km 串联有第 2 梯级开发的百花湖,系 1966 年建成蓄水。为叙述方便,本文中统称红枫湖。红枫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。山坡上仅依稀见有草灌。

根据前期研究进展分析,青藏隆起对云贵高原现代环境影响主要体现在:1)全球性大气扩散污染物的屏蔽效应和局地性大气扩散污染物的滞留效应;2)区域化学风化的增强效应和物理侵蚀的梯级效应;3)地表环境地球化学过程的低纬度-高海拔效应。此外,从多种敏感指标的综合分析和⁷Be-¹³⁷Cs-²¹⁰Pb 计年的时间序列,还揭示出洱海地区气候冷暖变化存在 200a 和 400a 准周期,干湿变化存在 100a,200a 和 400a 准周期的短尺度波动。本文通过¹³⁷Cs 和⁷Be 在滇西和黔中地区表土及(洱海和红枫湖)沉积物中累计分布特征的对比,来讨论全球性扩散大气污染物散落的地区差异。

2 基本原理

流域侵蚀和湖泊沉积是地表环境物质迁移的主要地球化学过程。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迁移过程中;湖泊沉积物不仅是流域地表物质迁移的主要宿体,而且还是流域内大气散落物的积蓄场所^[2]。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特殊的示踪价值^[3-10]。

在前期研究工作中,根据放射性示踪核素在水系和冰芯中积累的资料,间接地获取了其大气浓度和沉降通量等很有价值的资料。但是,这些资料的全球覆盖率较低,数据的质量精度不够确定。无论从目前,还是长远的角度,广泛地检验和评价现有的全球数据非常必要。由全球变化欧洲研究网 5 个实验室发起于 1999 年在瑞典 Uppsala 举行的全球循环示踪剂国际研讨会^[1]即以此作为中心议题。在全球物质循环研究中,⁷Be,¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 具有重要的示踪价值。

2.1 ¹³⁷Cs 是流域侵蚀和湖泊沉积的优良示踪剂

早年大气层核试验后通过全球大气扩散而散落到地表环境中的¹³⁷Cs(半衰期 30.2a),其散落通量的年际变化受核试验强度、地区性和纬度效应影响。利用某些年代

1) El-Daoushy F. Large-scale and long-term environmental changes in surface water as modelled through environmental radioactivity 1999

散落并蓄积在湖泊、海湾沉积物中的 ^{137}Cs 比活度的异常作为时间标志,可确定沉积物平均堆积速率^[18-19];利用表土层中 ^{137}Cs 的分布变化,可指示表土的侵蚀特征^[8, 10, 19]。特别是如下一些重要问题的解决,更肯定了 ^{137}Cs 的示踪价值:1) 当前使用的沉积物采样和分样设备,可以不扰动沉积物柱芯并高精度分截出季节性沉降微粒的样品,从而使 ^{137}Cs 可靠地用于沉积速率小于 1cm/a 的沉积物计年^[9, 15, 20-22]。2) 尽管 1955 年 ^{137}Cs 计年时标因时间较长、强度不大而失效^[19],但是,与 1974 年全球散落相对应的次级蓄积峰作为计年时标,增加了 ^{137}Cs 的沉积计年价值^[18, 21-22]。前苏联切尔诺贝利核电站事故散落的 ^{137}Cs 也同样保留在湖泊沉积物的相应层节中,也具备辅助计年时标意义^[18, 20-22]。3) ^{137}Cs 计年的可靠性是以 ^{137}Cs 在沉积物中赋存状态的稳定性为基础。虽然 ^{137}Cs 在湖泊沉积物中存在一定的扩散能力,但沉积物中绝大部分 ^{137}Cs 处于固定态,能较好地保存于其沉积年代的相应层位中。分子扩散不足以改变蓄积峰的位置,确保了 ^{137}Cs 计年时标的可靠性^[12, 18, 22]。

2.2 ^7Be 是环境中微粒季节性迁移的最佳示踪剂

^7Be 是宇宙线轰击大气中 N、O 靶核而产生的全球性散落核素。 ^7Be 作为微粒季节性迁移的最佳示踪核素,业已广泛用于湖泊、海湾沉积物混合作用^[17, 23-25]和表土微粒季节性迁移^[28-31]的示踪。其示踪原理主要基于:1) ^7Be 可能作为季节性环境变化的示踪核素。 ^7Be 的半衰期为 53.3 天,平均寿命 76.5 天,不存在长期累积效应;而散落于湖水中的 ^7Be 通过沉降作用的寄宿时间也仅几十天,与其平均寿命相当^[17, 24, 25]; ^7Be 在海洋沉积物中的增长相当于该地区的大气散落,也暗示进入水体的 ^7Be 在短期内便可转移到沉积物^[1]。2) ^7Be 具有微粒水迁移的示踪价值。铍具有难溶的氢氧化物地球化学赋存特性,决定了 ^7Be 的微粒迁移性质。 ^7Be 自大气散落受降水冲刷影响^[32]。3) ^7Be 在土粒中的结合状态适合于微粒季节性迁移示踪。对表层土样溶析实验知, ^7Be 绝大部分存在于有机质或铁锰氧化物相中,溶解扩散迁移性远较 ^{137}Cs 小^[29]。

3 滇西和黔中地区表土和沉积物中 ^7Be 和 ^{137}Cs 分布的差异

3.1 表土顶部 $^7\text{Be}/^{137}\text{Cs}$ 值的差异显示两核素散落-蓄积的地区差异

表土层中散落核素的分布是大气散落与土粒侵蚀的共同结果。采自滇西(洱海汇水区)和黔中(红枫湖汇水区)表土分层样品中 ^7Be 和 ^{137}Cs 的比活度分析表明, ^7Be 比活度随土层深度下降, ^{137}Cs 比活度在表土层中呈略增(减)的较稳定分布。两核素比活度比值 ($^7\text{Be}/^{137}\text{Cs}$) 的垂直剖面也随土层深度呈下降趋势。但是,两核素在滇西地区表土顶部边界层表观比活度的比值 ($^7\text{Be}/^{137}\text{Cs}$) 总体较黔中地区高(图 1)。这一现象显示出两核素在两地区存在着散落-蓄积的差异:既可能滇西地区 ^7Be 的散落-蓄积较黔中地区高,也可能滇西地区 ^{137}Cs 的散落-蓄积较黔中地区低。

3.2 ^{137}Cs 和 ^7Be 在红枫湖沉积物中蓄积累计值大于洱海沉积物

3.2.1 洱海和红枫湖沉积物中的 ^{137}Cs

^{137}Cs 在洱海和红枫湖沉积物中具有相似的垂直分布特征,并与全球散落的时序相吻

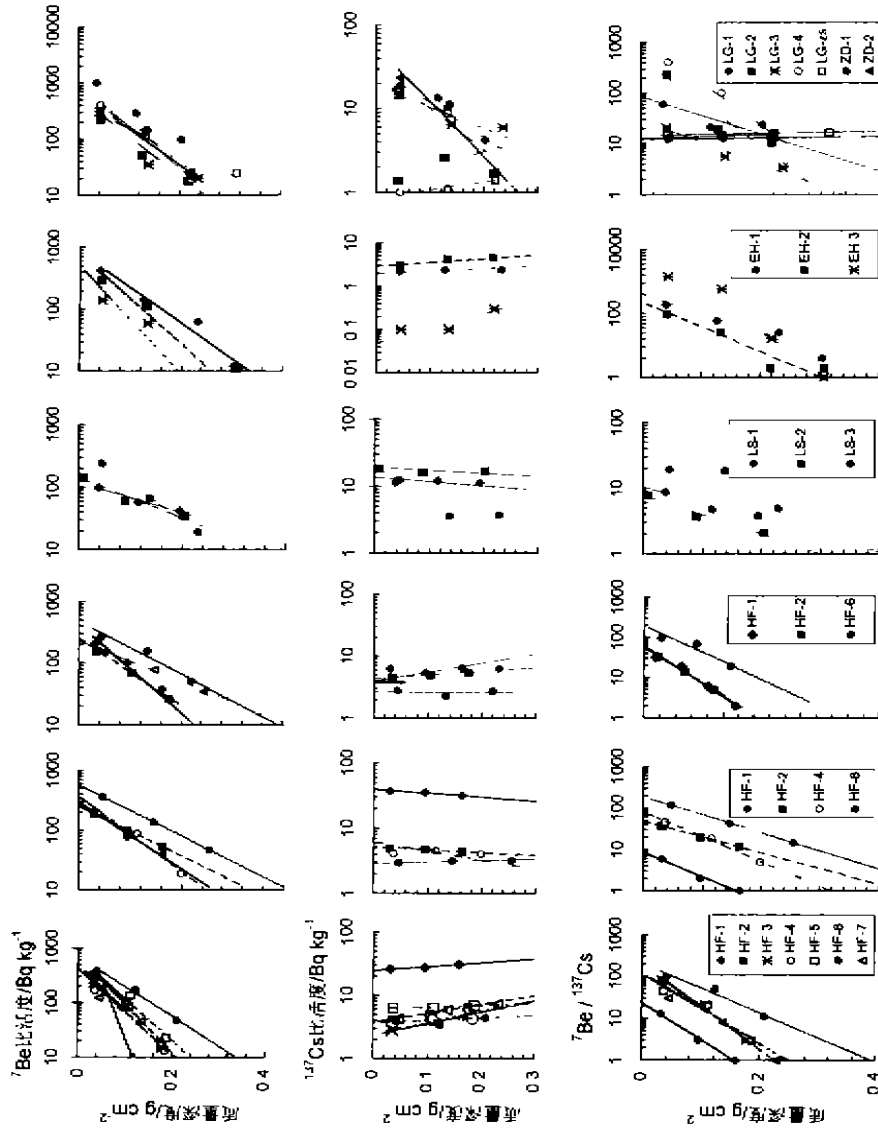


图 1 ${}^7\text{Be}$ 和 ${}^{137}\text{Cs}$ 比活度及其比值在滇西和黔中表土层中的垂直剖面

HF, LS 黔中地区表土; FH, LG, 7D 滇西地区表土

Fig. 1 Vertical profiles of ${}^7\text{Be}$ and ${}^{137}\text{Cs}$ activities and their ratios in surface soils of western Yunnan and center Guizhou

合；由沉积物柱芯中¹³⁷Cs 时标获得的沉积物堆积速率与²¹⁰Pb 计年结果一致。这一事实表明，近几十年间两湖的沉积作用均较稳定^[10, 21, 22]。

但是，按已经校正到沉降年代的数值表示，1986 年以前洱海和红枫湖沉积物中¹³⁷Cs 的累计值分别为(519 ± 26)Bq/m² 及(3 704 ± 56)Bq/m²。后者约为前者的 7.1 倍(表 1)。上述分析可见，滇西地区湖泊沉积物中¹³⁷Cs 的蓄积明显低于黔中地区。为确证¹³⁷Cs 散落的地区差异，需联系到侵蚀-沉积过程进行分析

表 1 洱海和红枫湖沉积物中⁷Be 和¹³⁷Cs 蓄积资料

Table 1 Data of ⁷Be and ¹³⁷Cs accumulation in the sediments of Erhai Lake and Hongfeng Lake

湖泊名称	⁷ Be		¹³⁷ Cs				
	渗透深度 (cm)	累计值 (Bq·m ⁻²)	主峰质量深度 (g·cm ⁻²)	沉积物堆积速率 (g·cm ⁻² ·a ⁻¹)	主峰比活度 (Bq·kg ⁻¹)	总累计值 (Bq·m ⁻²)	1986 年前累计值 (Bq·m ⁻²)
洱海	2	237 ± 73	1 455	0.047 ± 0.002	48.3 ± 2.7	590 ± 27	519 ± 26
红枫湖	2	783 ± 44	4 112	0.17 ± 0.01	252.6 ± 15.1	3 713 ± 56	3 704 ± 56

3.2.2 洱海和红枫湖沉积物中的⁷Be

洱海和红枫湖沉积物中，⁷Be 主要分布在沉积物顶部 2cm 深度以内，与在其它湖泊和海湾沉积物表层的分布深度^[12, 13] 一致。但是，⁷Be 在两湖沉积物中的累计值具有两点重要差异：1) ⁷Be 在洱海沉积物中的累计值[(237 ± 73)Bq/m²] 远较红枫湖沉积物中的累计值[(783 ± 44)Bq/m²] 小(见表 1)；2) 红枫湖沉积物中⁷Be 的累计值远高于其汇水区表土中累计值的平均水平，而洱海沉积物中⁷Be 的累计值较其汇水区表土的累计值小或相当(图 2)。上述事实说明，黔中地区流域侵蚀较严重，表土中的⁷Be 可能随土粒搬运进入湖底沉积物；滇西地区表层土粒的选择性侵蚀不明显。

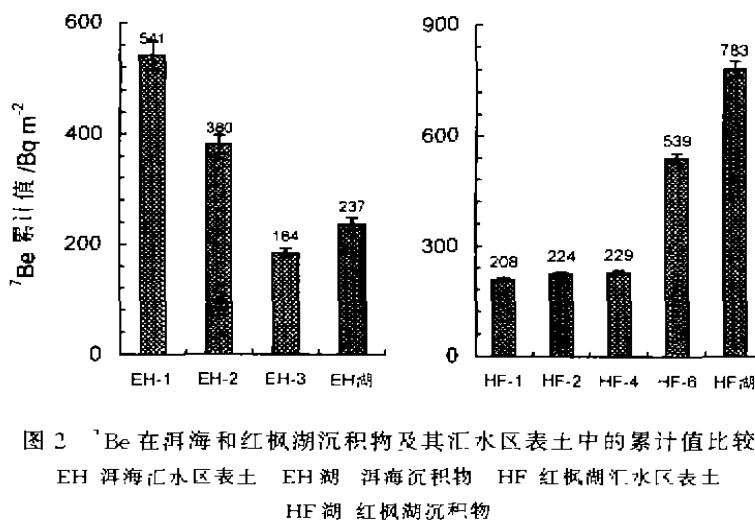


图 2 ⁷Be 在洱海和红枫湖沉积物及其汇水区表土中的累计值比较
EH 洱海汇水区表土 EH湖 洱海沉积物 HF 红枫湖汇水区表土
HF湖 红枫湖沉积物

Fig.2 Inventories of ⁷Be in the sediments of Erhai Lake and Hongfeng Lake and their watersheds

3.3 ¹³⁷Cs 和⁷Be 在沉积物中散落蓄积的模式分析

大气散落核素在湖泊沉积物中的蓄积是大气散落、流域侵蚀和湖泊沉积共同作用的

结果。为认识核素散落蓄积的地区差异,尚需从流域侵蚀与湖泊沉积作用的耦合关系上综合分析它们在沉积物中的累计特征。散落核素在湖泊沉积物中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的影响。笔者已就大气散落核素在流域侵蚀和湖泊沉积间的关系建立示踪模型^[17,23]。本文利用该模型计算¹³⁷Cs和⁷Be在洱海和红枫湖沉积物中的蓄积-散落比值,再根据沉积物中实测的累计值讨论其散落的地区差异。表2中, λ 、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, τ 、为核素通过微粒沉降作用的寄宿时间, f_e 及 f_s 分别为核素在湖泊沉积物中蓄积的散落影响因子和侵蚀影响因子, f 为核素在沉积物中的蓄积-散落比值, I_s 为核素自大气散落的累计值。

表2 洱海和红枫湖沉积物中¹³⁷Cs和⁷Be蓄积-散落模式计算结果^{*}
Table 2 Imitating calculation results for accumulation-precipitation of ¹³⁷Cs and ⁷Be in the sediments of Erhai Lake and Hongfeng Lake

核素	湖泊名称	λ , /a ⁻¹	τ , /d	f_e	f_s	f_e/f_s	$f = f_e + f_s$	I_s , /Bq·cm ⁻²
¹³⁷ Cs	洱海	0.18	$2.05 \cdot 10^5$	0.32	0.17	1.9	0.49	0.11 ± 0.01
	红枫湖	0.73	$5.01 \cdot 10^5$	0.19	0.81	0.2	1.00	0.37 ± 0.01
⁷ Be	洱海	2.13	$1.71 \cdot 10^4$	0.28	0.05	5.6	0.33	0.07 ± 0.02
	红枫湖	10.01	$3.65 \cdot 10^4$	0.40	0.62	0.6	1.02	0.08 ± 0.01

* 模式计算中,固-液分配系数K:¹³⁷Cs取 $4 \cdot 10^3 \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$,引自文献[13];⁷Be取 $5 \cdot 10^4 \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$,引自文献[17]

通过模式分析可见:

(1) ⁷Be 洱海沉积物中的蓄积以散落影响为主,散落-侵蚀影响因子的比值为5.6;而红枫湖以侵蚀影响为主,散落-侵蚀影响因子的比值仅为0.6。洱海的蓄积-散落比值小,仅仅为0.33;而红枫湖为1.02。从而,计算得洱海和红枫湖的大气散落累计值分别为 $(0.07 \pm 0.02) \text{Bq/cm}^2$ 及 $(0.08 \pm 0.01) \text{Bq/cm}^2$ 。这就意味着⁷Be在滇西与黔中地区的大气散落通量相近。

(2) ¹³⁷Cs 红枫湖沉积物的蓄积以侵蚀影响为主,侵蚀影响因子为散落影响因子的4.3倍;而洱海的蓄积受直接散落控制,其散落影响因子约为侵蚀影响因子的1.9倍,模式计算的蓄积-散落比值为0.49。红枫湖沉积物的蓄积-散落比值约为洱海的2倍,反映出侵蚀来源的重要影响。根据蓄积-散落比值关系,分别计算出洱海和红枫湖地区1986年以前¹³⁷Cs自大气散落的累计值为 $(0.11 \pm 0.01) \text{Bq/cm}^2$ 及 $(0.37 \pm 0.01) \text{Bq/cm}^2$ 。模拟计算说明,¹³⁷Cs在滇西地区的大气散落远小于黔中地区。

4 ¹³⁷Cs在滇西地区的散落被屏蔽

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^[32],其最大值出现在夏天,可能高出冬春季的几倍^[26]。瑞士⁷Be的年均散落通量为 $0.25 \text{Bq}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ^[34,11];位

11 KUEK (Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivitaet) Bericht: 25 Jahre Radioaktivitaet Ueberwachung in der Schweiz, 1982

于美国墨西哥湾的 Galveston, 其⁷Be 的年均散落通量为 $0.245 \text{ Bq}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})^{[32]}$ 。两地的纬度和海拔虽然有别, 但是其年均散落通量相近。本项研究的沉积物样品采自夏秋季节, ⁷Be 大气散落累计值可能偏高。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, 滇西与黔中两地区之间仅 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。模式计算出洱海与红枫湖沉积物中⁷Be 的大气散落累计值很接近 (见表 2)。

¹³⁷Cs 是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, 不涉及试验强度的问题。特别是洱海和红枫湖沉积物中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从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现象 (见表 2), 只能从地区性的角度寻求答案。¹³⁷Cs 作为一个全球性的污染扩散指标, 系伴随西风带气流输送而全球扩散。特别是滇西地区因青藏隆起的影响, 受印度洋西南季风的控制, 全球大气物质传递有别于黔中地区。UNSCEAR 曾就¹³⁷Cs 全球扩散散落累计值的区域分布给出模拟图示^[1]。滇西和黔中地区正好分别位于模拟累计值的不同等值线区域。¹³⁷Cs 散落的地区差异反映出气流输送过程中被屏蔽的现象, 青藏隆起对滇西地区存在着全球性扩散大气污染物散落的屏蔽效应。

参 考 文 献

- 1 Walker J C G. Carbon geodynamic cycle. *Nature*, 1983, **303**: 730 ~ 731
- 2 Berner R A. A model for atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 1991, **291**: 339 ~ 376
- 3 Berner R A. GEOCARB II: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 1994, **294**: 56 ~ 91
- 4 Tajika E. Climate change during the last 150 million years: Reconstruction from a carbon cycle model. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, **160**: 695 ~ 707
- 5 Francois L M, Goddard Y. Isotopic constraints on the Cenozoic evolution of the carbon cycle. *Chemical Geology*, 1998, **145**(3-4): 177 ~ 212
- 6 万国江, 徐文芳, 李荪蓉等. 云贵高原若干湖泊水库水化学组分研究. 环境科学丛刊, 1988, **9**(31): 37 ~ 51
- 7 沈仁湘. 洱海水位对环境的影响. 见: 云南大理白族自治州洱海管理局, 云南大理白族自治州科学技术委员会编. 云南洱海科学论文集. 昆明: 云南民族出版社, 1989. 93 ~ 99
- 8 万国江. 环境质量的地球化学原理. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 1 ~ 219
- 9 Santachi P H. Radioisotopes in aquatic sciences. *EAWAG/News*, 1983, (14-15): 1 ~ 6
- 10 Wan G J, Appleby P G. Radionuclides in ecological systems. In: Farina A ed. *Perspectives in Ecology*. NL: Backhuys of Leiden, 1999. 369 ~ 379
- 11 Krishnaswami S, Lal D, Martin J M *et al*. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 1971, **11**: 407 ~ 414
- 12 Krishnaswami S, Lal D. Radionuclide chronology. In: Lerman A ed. *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 153 ~ 177
- 13 Robbins J A, Edgington D N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1975, **39**: 285 ~ 304

1) Agudo E G. Global distribution of ¹³⁷Cs inputs for soil erosion and sedimentation studies. 1995

- 14 Pennington W, Cambray R S, Fisher E M. Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer. *Nature*, 1973, **242**: 324 ~ 326
- 15 Davis R B, Hess C T, Norton S A *et al*. ^{137}Cs and ^{210}Pb dating of sediments from soft-water lakes in New England (U. S. A.) and Scandinavia: A failure of ^{137}Cs dating. *Chemical Geology*, 1984, **44**: 151 ~ 185
- 16 万国江, P. 桑季, K. 法任库忍等. 瑞士 Greifen 湖新近沉积物中的 ^{137}Cs 分布及其计年. *环境科学学报*, 1985, (3): 360 ~ 365
- 17 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. *Chemical Geology*, 1987, **63**: 181 ~ 196
- 18 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. *科学通报*, 1990, **35**(19): 1490 ~ 1493
- 19 Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review. *Journal Environmental Quality*, 1990, **19**: 215 ~ 233
- 20 万国江. ^{137}Cs 及 ^{210}Pb 方法湖泊沉积计年研究新进展. *地球科学进展*, 1995, **10**(2): 188 ~ 192
- 21 万国江. 现代沉积年分辩的 ^{137}Cs 计年——以云南洱海和贵州红枫湖为例. *第四纪研究*, 1999, (1): 73 ~ 80
- 22 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. *湖泊科学*, 1999, **11**(2): 110 ~ 116
- 23 Santschi P H, Bollhalder S, Farrenkothien K *et al*. Chernobyl radionuclides in the environment: Tracers for the tight coupling of atmospheric, terrestrial, and aquatic geochemical processes. *Environmental Science and Technology*, 1988, **22**(5): 510 ~ 516
- 24 Robbins J A, Eadie B J. Beryllium-7: A tracer of seasonal particle transport processed in Lake Michigan. *EOS*, 1982, **63**(45): 957
- 25 万国江, Santschi P H, Sturm M *et al*. 放射性核素和纹层计年对比研究瑞士格莱芬湖近代沉积速率. *地球化学*, 1986, (3): 259 ~ 270
- 26 Schuler C, Wieland E, Santschi P H *et al*. A multitracer study of radionuclides in Lake Zurich, Switzerland: 1. Comparison of atmospheric and sedimentary fluxes of ^7Be , ^{10}Be , ^{210}Pb , ^{210}Po and ^{137}Cs . *Journal of Geophysical Research*, 1991, **96**(C9): 17 051 ~ 17 065
- 27 Wieland E, Santschi P H, Beer J *et al*. A multitracer study of radionuclides in Lake Zurich, Switzerland: 2. Residence times, removal processes and sediment focusing. *Journal of Geophysical Research*, 1991, **96**(C9): 17 067 ~ 17 080
- 28 白占国, 万国江, 王长生等. 黔中岩溶山区表土层中 ^7Be 的分布特征及其侵蚀示踪研究. *自然科学进展*, 1997, **7**(1): 66 ~ 74
- 29 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. *环境科学学报*, 1997, **17**(4): 407 ~ 411
- 30 白占国, 万国江. 宇宙线散落核素 ^7Be 表土迁移示踪原理. 见: 刘叔仪主编. *物理化学力学进展*(4). 北京: 地震出版社, 1996. 33 ~ 45
- 31 白占国, 万国江. 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. *土壤学报*, 1998, **35**(2): 266 ~ 275
- 32 Baskaran M, Coleman C H, Santschi P H. Atmospheric depositional fluxes of ^7Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas. *Journal of Geophysical Research*, 1993, **98**(D11): 20 555 ~ 20 571
- 33 万国江, Santschi P H. 瑞士 Greifen 湖沉积物中放射性核素累计值预测研究. *地理科学*, 1987, **7**(4): 358 ~ 363
- 34 Turekian K K, Benninger L K, Dion E P. ^7Be and ^{210}Pb total deposition fluxes at New Haven, Connecticut and at Bermuda. *Journal of Geophysical Research*, 1983, **88**(C9): 5 411 ~ 5 415

THE DIFFERENTIALS OF FALLOUT ¹³⁷Cs BETWEEN WESTERN YUNNAN
AND CENTRAL GUIZHOU:
IMPLICATION FOR THE BARRIER EFFECT OF QINGHAI-XIZANG
UPLIFT ON GLOBAL ATMOSPHERIC POLLUTANTS IN
YUNNAN-GUIZHOU PLATEAU

Wan Guojiang¹ Bai Zhanguo² Liu Tungsheng¹ Wang Shilu¹
Chen Jingan³ Huang Ronggui¹

¹State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of
Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

²Key Laboratory of Plant Nutrition Research of Chinese Ministry of Agriculture, Institute of Soil and
Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

³Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Yunnan-Guizhou Plateau, the middle tier on the eastern slope of Qinghai-Xizang Plateau, is a complex geomorphic unit with a large altitude gradient in the South Asia. Impacts of the Qinghai-Xizang uplift on the modern environment in the area mainly embody: (1) barrier effect of global atmospheric pollutants and detaining effect of local atmospheric pollutants; (2) enhancement of regional chemical weathering and altitude-related effect of physical weathering; (3) low-latitude and high-altitude effect of environmental geochemical process of surface earth. Lake sediments embrace materials originating not only from watershed but also from atmospheric deposition. ¹³⁷Cs is an excellent tracer for watershed erosion and lake deposition. ⁷Be is an ideal tracer for seasonally transportation of environmental particles. Differentials of ⁷Be/¹³⁷Cs in the top soils between western Yunnan and central Guizhou show different characteristics of ¹³⁷Cs and ⁷Be deposition-accumulation in the two regions. ⁷Be inventories in the sediments of Erhai Lake correspond to that in the soils of its watershed in the western Yunnan. ⁷Be inventories in sediments of Hongfeng Lake are much higher than the average value in the soil profiles of its watershed. ¹³⁷Cs inventories in sediments of Hongfeng Lake is 7.1 times of the Erhai Lake. The model analysis indicated that ⁷Be atmospheric deposition in western Yunnan was similar to central Guizhou. Prior to 1986, ¹³⁷Cs inventories from atmospheric fallout in the western Yunnan and the central Guizhou were (0.11 ± 0.01) Bq/cm² and (0.37 ± 0.01) Bq/cm², respectively. This indicates that fallout ¹³⁷Cs in the western Yunnan was much lower than that in the central Guizhou. The regional differentials of the ¹³⁷Cs fallout reflect that the uplift of Qinghai-Xizang Plateau would have a barrier effect on the precipitation of global atmospheric pollutants in the western Yunnan.

Key words deposition and accumulation of ¹³⁷Cs-⁷Be, barrier effect, Yunnan-Guizhou Plateau, Qinghai-Xizang uplift