

应用<sup>137</sup>Cs 技术调查河漫滩沉积物的研究进展

张心昱, 王秋兵  
(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘 要: 人工同位素<sup>137</sup>Cs 可以作为环境示踪因子研究河漫滩沉积物。综述了应用<sup>137</sup>Cs 技术调查河漫滩沉积物的沉积率、确定沉积物来源和研究与沉积物相结合的污染物质的研究进展。  
关键词: <sup>137</sup>Cs; 河漫滩; 沉积物; 沉积率  
中图分类号: TL99; S157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005) 01-0149-03

Advances on Uses of <sup>137</sup>Cs Technique to Investigate  
the Sediments on River Floodplains

ZHANG Xin-yu, WANG Qiu-bing  
(Department of Land and Resources, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** Man-made radionuclide of Cesium- 137 can be as environment tracer to research the sediments on river floodplains. The basis of the <sup>137</sup>Cs technique and the uses of this technique to investigate the sedimentation rates of suspended sediments deposited on river floodplains are reviewed to identify the sources of sediments and to research the sediment-associated contaminates on river floodplains.  
**Key words:** <sup>137</sup>Cs; river floodplain; sediment; sedimentation rate

土壤侵蚀及其输出泥沙是全球的重要环境问题, 给土地和水资源的可持续利用和管理带来了巨大的危害<sup>[1,2]</sup>。土壤侵蚀不仅包括原位( on-site) 影响<sup>[3]</sup>, 也会带来离位( off-site) 危害<sup>[3]</sup>, 如导致河流水库的淤积, 水体的污染和覆盖河漫滩上的土壤。已有研究表明河水泛滥将导致沉积物在河漫滩上的沉积<sup>[4~6]</sup>。为了评价和解决沉积问题, 需要及时获得高精度、大面积的沉积方面的数据, 确认沉积物质的主要来源和空间分布规律。

由于沉积作用在河漫滩上的时间和空间变化性, 研究河漫滩上洪水泛滥的操作非常困难, 获得河漫滩上沉积物现代沉积率的信息面临很多不确定性和问题。河漫滩上洪水泛滥的偶然发生性和随机发生性是研究河漫滩沉积的重要问题。对多数河流而言, 很难预测洪水事件, 无法提供足够的预先布置监测设备的时间。而且与每一个洪水事件相关的沉积率, 与洪水大小和洪水持续时间以及包括河流沉积物浓度在内的其他特征有关, 所以以单一事件甚至几个事件为基础估算的沉积率没有长期代表性<sup>[7]</sup>。传统应用的长期小区监测法<sup>[8]</sup>、调查侵蚀特征法<sup>[9,10]</sup>和侵蚀模型模拟法<sup>[11]</sup>无法满足评价和解决沉积问题的所有要求, 而最近发展并逐渐成熟的<sup>137</sup>Cs 技术<sup>[6,12]</sup>在调查和评价侵蚀与沉积方面具有明显的优势。

1 河漫滩沉积物中<sup>137</sup>Cs 的来源

<sup>137</sup>Cs 是铯(Cs)的放射性同位素, 半衰期为 30. 17 年, 环境中的<sup>137</sup>Cs 主要来源于核武器大气试验<sup>[13,14]</sup>。<sup>137</sup>Cs 技术包括如下被证明的基本假设: 核武器试验产生的<sup>137</sup>Cs 总量在

大气中是均匀分布的; 沉降后的<sup>137</sup>Cs 被矿质土壤颗粒快速强烈的吸附; 只有侵蚀和沉积产生随后的<sup>137</sup>Cs 再分布<sup>[14]</sup>。如果接受这些假设, 那么<sup>137</sup>Cs 的再分布将反映土壤的再分布, 而且通过<sup>137</sup>Cs 的测量值可以计算和评价土壤的侵蚀和沉积。

河漫滩沉积物中的<sup>137</sup>Cs 有两个来源, 即直接来源和间接来源。直接来源是指来自大气沉降的<sup>137</sup>Cs (the atmospheric- derived input), 河漫滩在多数没有洪水泛滥的情况下是干燥的, 源于大气沉降的<sup>137</sup>Cs 直接沉降在河漫滩表面。间接来源是指来源于流域侵蚀土壤 (catchment- derived input) 上的<sup>137</sup>Cs, 对于低地河流而言, 洪水过岸泛滥的频率较高, 例如一年内发生若干次, 该期间将导致河流中沉积物及与其相结合的<sup>137</sup>Cs 在河漫滩上沉积<sup>[15,16]</sup>。可以用公式描述河漫滩上特定位点<sup>137</sup>Cs 的输入量<sup>[17]</sup>:

$$I_m(t) = I(t) + RCr, sd(t)$$

式中:  $I_{in}(t)$  (mBq · cm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>) ——沉积物中<sup>137</sup>Cs 总量;  $I(t)$  (mBq · cm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>) ——大气直接输入量;  $Cr, sd(t)$  (mBq · g<sup>-1</sup>) ——河流沉积物中的<sup>137</sup>Cs 含量;  $R$  (g · cm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>) ——沉积物沉积率, 公式中  $R$  是特定位点的值。

河漫滩沉积物中高于参照点处<sup>137</sup>Cs 的含量值及其空间变化, 反映了沉积物在河漫滩上的沉积和空间变化, 同时也反映了河流沉积物中的<sup>137</sup>Cs 的含量变化<sup>[18]</sup>。在河漫滩上, 大气输入的<sup>137</sup>Cs 将分布在河漫滩表层沉积物中的一定深度, 在接受直接大气沉降<sup>137</sup>Cs 时, 河漫滩沉积物与流域土壤的

<sup>1</sup> 收稿日期: 2004-05-17  
基金项目: 国家留学基金委资助( 留学学号: 21821016)  
作者简介: 张心昱( 1973- ), 女, 满族, 辽宁桓仁人, 在职博士生, 从事土地与土壤环境保护方面的教学和科研工作。

行为相似。在解释河漫滩沉积物中<sup>137</sup>Cs 含量在剖面中分布时,如果河漫滩上沉积物的沉积率较低,考虑大气输入的直接影响就更为突出。

## 2 应用<sup>137</sup>Cs 技术调查河漫滩沉积物的沉积率

众多的研究者应用<sup>137</sup>Cs 技术估算河漫滩沉积物的沉积率。采用的方法可以归纳为两类。第一类途径应用<sup>137</sup>Cs 含量的剖面分布图形,比较采样点处与参照点处<sup>137</sup>Cs 含量的剖面分布差异;第二类途径比较河漫滩采样环中<sup>137</sup>Cs 总量与附近参照点处<sup>137</sup>Cs 总量的差值,从而计算河漫滩沉积物的沉积率。

在第一类途径中,通过比较河漫滩采样点和邻近参照点中<sup>137</sup>Cs 含量的剖面分布图形,利用河漫滩采样环中<sup>137</sup>Cs 含量剖面分布图形向下延伸的深度值,估算沉积物沉积的深度<sup>[8]</sup>。另外,可以采用<sup>137</sup>Cs 含量峰值在剖面中的深度定位 1963 年沉积的沉积物<sup>[19]</sup>,或者采用<sup>137</sup>Cs 活性在剖面中初次被探测到的位置来定位 1954 年沉积的沉积物<sup>[20,21]</sup>。由于<sup>137</sup>Cs 在沉积物剖面中的最初输入量较低,沉积后在剖面中发生迁移,一般不采用剖面中<sup>137</sup>Cs 含量最初出现位置计算 1954 年以来的沉积率。如果<sup>137</sup>Cs 沉积后,沉积物在河漫滩上的混合可以看作是一个较慢的过程,即 1963 年输入沉积物的<sup>137</sup>Cs 含量的峰值没有明显的位置迁移,那么根据沉积物剖面中<sup>137</sup>Cs 含量峰值的深度位置,可以计算 1963 年以来沉积物沉积率。在该方法中,由于没有考虑<sup>137</sup>Cs 在河漫滩上沉积后在剖面中的再分布,而这种再分布将明显的影响到<sup>137</sup>Cs 含量在剖面中的峰值位置和初次出现的位置,使该测量值相对偏高。Walling 和 He<sup>[17]</sup>考虑了<sup>137</sup>Cs 在剖面中的向下迁移率,对该方法进行了改进,平均沉积率( $R_0$ )用如下公式计算:

$$R_0(t) = \frac{M(t)}{T} - V$$

式中: $M(t)/(g \cdot cm^{-2})$ ——沉积物剖面中<sup>137</sup>Cs 峰值处的累加质量深度; $T/a$ ——从 1963 年到采样年的时间段; $V/(g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1})$ ——<sup>137</sup>Cs 在剖面中的向下迁移率,通过参照点处累加质量深度与时间  $T$  计算。

在该方法中,可以获得比较准确的结果,同时可以提供沉积物沉积的时间信息。但该途径需要获得<sup>137</sup>Cs 剖面分布的详细信息,必须分析采样环中切分的大量的样品,在时间和资源有限的情况下,限制了采样数量和对沉积速率空间变化的研究。

在第二类途径中,通过比较河漫滩采样环中的<sup>137</sup>Cs 总量与附近的未受侵蚀和沉积破坏的参照点采样环中<sup>137</sup>Cs 总量,认为两者的差值是来源于与流域侵蚀土壤相结合的<sup>137</sup>Cs 在河漫滩上的沉积量,结合河流沉积物中<sup>137</sup>Cs 含量,可以计算自 1954 年以来的河漫滩上沉积物累加质量和深度<sup>[18]</sup>。该途径只需要测量采样环中一个整体样品的<sup>137</sup>Cs 总量,就可以估算该采样点处的沉积率。与第一类途径相比,该途径可以分析大量的样品,从而调查河漫滩沉积物沉积的空间变化规律,具有明显的资源优势。但是,考虑到河漫滩沉积物颗粒

参考文献:

[1] Pimental D. World Soil Erosion and Conservation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.  
[2] Johnson D L, Lewis L A. Land Degradation: Creation and Destruction[M]. Oxford: Blackwell, 1995.  
[3] Braune E, Looser U. Cost impacts of sediments in South African rivers[A]. In: Hadley R F, Ongley E D (eds.). Sediment and the Environment[C]. IAHS Publ. No. 184, 1990. 21– 30.  
[4] Walling D E, Quine T A. Using Chernobyl- derived fallout radionuclides to investigate the role of downstream conveyance losses in the suspended sediment budget of the River Severn, United Kingdom[J]. Physical Geography,

大小和组成的空间变化,以及<sup>137</sup>Cs 被细颗粒优先强烈吸附的特征<sup>[14]</sup>,应用<sup>137</sup>Cs 平均含量来计算沉积率将带来一定的误差。虽然 Walling 和 He<sup>[22]</sup>在使用该方法时,考虑了河漫滩沉积物颗粒大小和组成对<sup>137</sup>Cs 含量时空变化的影响,但是在过岸沉积率较低的河漫滩上,由于土壤动物的活动和样品采集过程的混合,表层沉积物将明显区别与最近沉积的沉积物。Waling 和 He<sup>[17]</sup>在 1997 年进一步改进了该途径,采用如下公式计算河漫滩沉积物的沉积率 $R_i(t)$ :

$$R_i(t) = R_o \frac{I_{ai}(t)}{I_{ao}(t)} \left( \frac{S_{ao}}{S_i} \right)^v$$

式中: $R_o(g \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1})$ ——用第一类途径计算的相似点处的沉积率; $I_{ai}(t)(Bq \cdot m^{-2})$ ——在时间  $t$  时采样点  $i$  处<sup>137</sup>Cs 总量与参照点处<sup>137</sup>Cs 总量的差值; $I_{ao}(t)(Bq \cdot m^{-2})$ ——在时间  $t$  时相似点处<sup>137</sup>Cs 总量与参照点处<sup>137</sup>Cs 总量的差值; $S_{ao}(m^2 \cdot g^{-1})$ ——相似点处沉积物的特定表面积(specific surface area); $S_i(m^2 \cdot g^{-1})$ ——采样点处沉积物的特定表面积。

## 3 <sup>137</sup>Cs 技术在河漫滩沉积物研究中的其他应用

为了合理的管理流域内的农业生产实践,防止沉积物淤积河漫滩,有必要获得河漫滩沉积物来源的信息。由于不同土地利用类型土壤中<sup>137</sup>Cs 含量不同,可以利用这种<sup>137</sup>Cs 含量的差别确认(fingerprint)沉积物的来源<sup>[23]</sup>。近年来确认沉积物来源(Sediment fingerprinting)技术越来越引起研究者的重视。已有研究表明,<sup>137</sup>Cs 含量在区分来源于不同土地利用类型的表层土壤、表下层土壤和河岸土壤<sup>[24]</sup>,区分来源于不连续的支流小流域或不同地质条件下的沉积物<sup>[25]</sup>,重建近年来沉积物来源的时间变化规律<sup>[26]</sup>等方面具有重要的应用。

有研究表明,来自上游流域内人口密度大、工业化或城市化区域内的侵蚀物质,含有较高浓度的磷素<sup>[27,28]</sup>。各个洪水事件将导致河流中的沉积物在河漫滩上的沉积<sup>[4~6]</sup>,并导致来自上游流域、与沉积物结合的磷素在临近河流的河漫滩上积累<sup>[27,29,30]</sup>。Waling 等<sup>[30]</sup>应用<sup>137</sup>Cs 技术研究了英国 Yorkshire 郡 Aire 河和 Swale 河河漫滩沉积物中的营养物质磷和污染物质 Cr, Cu, Pb, Zn, PCB 的储量。Craft 和 Casey<sup>[29]</sup>应用<sup>137</sup>Cs 技术研究了美国 Georgia 的 Ichawaynochaway Creek 河河漫滩上近 30 年内有机质、氮和磷的含量和储量。Walling 等<sup>[27]</sup>应用<sup>137</sup>Cs 技术计算的沉积率,结合<sup>137</sup>Cs 作为沉积物示踪因子,调查了英国 20 条河流的 20 个河漫滩沉积物采样环中近 40 年来磷含量和储量的变化,并重建了其磷含量在 40 年内的时间变化规律。众多的研究表明,在研究河漫滩沉积物沉积率方面,<sup>137</sup>Cs 技术已经日趋成熟,而且<sup>137</sup>Cs 技术被广泛应用在确认沉积物来源的研究中,<sup>137</sup>Cs 作为时间示踪因子研究与沉积物相结合的污染物质也正引起人们的关注。

1993, 14: 239– 253.

[ 5 ] Middelkoop H, Asselmann N E M. Spatial variability of floodplain sedimentation at the event scale in the Rhine– Meuse delta, the Netherlands[ J]. *Earth Surf. Processes and Landforms*, 1994, 25: 561– 573.

[ 6 ] Walling D E, Owens P N, Leeks G J L. The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of river Ouse, Yorkshire, U K[ J]. *Geomorphology*, 1998, 22: 225– 242.

[ 7 ] Walling D E, He Q, Nicholas A P. Floodplains as suspended sediment sinks[ A ]. In: Anderson M, Walling D E, Bates P (eds. ). *Floodplain Processes*[ C]. Chichester: Wiley, 1996. 399– 440.

[ 8 ] Brown T, Schneider H. From plot to basins: the scale problem in studies of soil erosion and sediment yield[ A ]. In: Harper D, Brown T (eds. ). *The Sustainable Management of Tropical Catchments*[ C]. Chichester: Wiley, 1999. 21– 30.

[ 9 ] Thomas A W, Welch R, Jordan T R. Quantifying concentrated-flow erosion on cropland with aerial photogrammetry[ J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1986, 41: 249– 252.

[ 10 ] Whitlow R. Mapping erosion in Zimbabwe: a methodology for rapid survey using aerial photographs[ J]. *Applied Geography*, 1986, 6: 149– 162.

[ 11 ] Nearing N A, Lane L J, Lopes V L. Modeling soil erosion[ A ]. In: Lqal R ( ed. ). *Soil Erosion Research Methods*[ C]. USA: Soil and Water Conservation Society, 1994. 127– 156.

[ 12 ] Walling D E, He Q. Improved models for estimating soil erosion rates from caesium– <sup>137</sup> measurements[ J]. *Journal of Environment Quality*, 1999, 28: 611– 622.

[ 13 ] Wise S M. Caesium– <sup>137</sup> and lead– <sup>210</sup>: A review of techniques and some applications in geomorphology[ A ]. In: Cullingford R A, et al (ed. ). *Timescale in geomorphology*[ C]. New York: John Wiley and Sons, 1980. 109– 127.

[ 14 ] Richie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium– <sup>137</sup> for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and pattern: A review[ J]. *Journal of Environmental Quality*, 1990, 19: 215– 233.

[ 15 ] Dominik J, Burrus D, Vernet J P. Transport of the environmental radionuclides on an alpine watershed[ J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1987, 84: 165– 180.

[ 16 ] Smith J N, Ellis K M, Nelson D M. Time-dependent modeling of fallout radionuclides transport in a drainage basin: significance of “slow ”erosional and “fast ”hydrological components[ J]. *Chem. Geol.*, 1987, 63: 157– 180.

[ 17 ] Walling D E, He Q. Use of fallout <sup>137</sup>Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains[ J]. *Catena*, 1997, 29: 263– 282.

[ 18 ] Walling D E, Bradley S B. Rates and pattern of contemporary floodplain sedimentation: a case study of the River Culm, Devon, U K[ J]. *Geojournal*, 1989, 19: 53– 62.

[ 19 ] Walling D E, He Q. Interpretation of caesium– <sup>137</sup> profiles in lacustrine and other sediments: the role of catchment– derived inputs[ J]. *Hydrobiologia*, 1992, 235/ 236: 219– 230.

[ 20 ] Popp C L, Hawley J W, Love D W, et al. Use of radiometric ( Cs– <sup>137</sup>, Pb– <sup>210</sup>), geomorphic and stratigraphic techniques to date recent oxbow sediments in the Rio Puerco drainage Grants uranium region, New Mexico [ J]. *Environmental Geology and Water Science*, 1988, 11: 253– 269.

[ 21 ] Ely L L, Webb R H, Enzel Y. Accuracy of post– bomb <sup>137</sup>Cs and <sup>14</sup>C in dating fluvial deposits[ J]. *Quaternary Res.*, 1992, 38: 196– 204.

[ 22 ] Walling D, He Q. Use of caesium– <sup>137</sup> as a tracer in the study of rates and patterns of floodplain sedimentation[ A ]. In: Peters N E, Hoehn E, Leibundgut C H, et al (ed. ). *Tracers in Hydrology*[ C]. IAHS Publ. No. 215, 1993. 319– 328.

[ 23 ] Wallbrink P J, Martin C E, Wilson C J. Quantifying the contributions of sediment, sediment– P and fertilizer– P from forested, cultivated and pasture areas at the landuse and catchment scale using fallout radionuclide and geochemistry [ J]. *Soil and Tillage Research*, 2003, 69: 53– 68.

[ 24 ] Collins A L, Walling D E, Leeks G J L. Source type ascription for fluvial suspended sediment[ J]. *Catena*, 1997, 29: 1– 27.

[ 25 ] Walling D E, Owens P N, Leeks G J L. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, U K[ J]. *Hydrological Process*, 1999, 13: 955– 975.

[ 26 ] Collins A L, Walling D E, Leeks G J L. Use of the geochemical record preserved in floodplain deposits to reconstruct recent changes in river basin sediment sources[ J]. *Geomorphology*, 1997, 19: 151– 167.

[ 27 ] Walling D E, He Q, Blake W H. River floodplains as phosphorus sinks[ A ]. In: Stone, M( ed. ). *The role of Erosion and Sediment Transport in Nutrient and Contaminant Transfer*[ C]. IAHS Publ. No. 263, 2000. 211– 218.

[ 28 ] Egashira K, Tokunaga N, Tra H T L. Phosphorus status of agricultural soils in northern and central Viet Nam[ J]. *Soil Sci. and Plant Nutrition*, 2003, 49: 149– 152.

[ 29 ] Craft C B, Casey W P. Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia, U SA[ J]. *Wetlands*, 2000, 20( 2): 323– 332.

[ 30 ] Walling D E, Owens P N, Carter J, et al. Storage of sediment– associated nutrients and contaminants in river channel and floodplain systems[ J]. *Applied Geochemistry*, 2003, 18: 195– 220.