1953－2010 年黄土洼天然淤地坝内洪水沉积物粒度旋回特征

颜 艳, 岳大鹏, 李 奎, 刘 鹏

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 利用^{137}Cs 断代技术进行沉积物的测年,结合 1953 年以来的降雨资料,对黄土洼天然聚湫坝淤地的水成沉积物粒度旋回特征进行了分析。结果表明,坝淤地 4 m 沉积物是在近百年内形成的,物源比较单一,主要为洪水沉积物; 降雨是影响沉积物粒度的主要因素;淤地坝内洪水沉积物粒度以粗粉砂为主,中砂含量很少,没有粗砂;沉积物剖面具有良好的沉积层理,剖面粒度旋回至少记录了 42 次较大的洪水事件,不同期次洪水沉积物之间粒度变化明显,反映了该区近百年内年流域侵蚀和降水量的变化。

关键词: 洪水沉积物; 沉积旋回; 粒度; 天然聚湫; 黄土洼

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2014)06-0349-06 **中图分类号**: P597.2, S152.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.067

Grain Size Cycle Characteristics of Flood Sediments at Loess Depression Check Dam During 1953－2010

YAN Yan, YUE Da-peng, LI Kui, LIU Peng

(*College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: Dating the sediments age with ^{137}Cs, using rainfall data since 1953, the grain size cycle characteristics of hydatogen sediments in natural check dam of loess depression are analyzed. Results showed that the 4 m depth of sediments was formed in the recently one hundred years, and its material was mainly coming from flood erosion. Rainfall was the main factor affecting the particle size of sediments. Flood sediments was mainly composed of coarse silt, while the ratio of medium sand was low and the coarse sand was not found. The section of sediments had distinct sedimentary layers, which have recorded at least 42 flood events. The grain sizes of flood sediment layer in different periods changed significantly, which showed the rules of watershed erosion and precipitation variation in the recently one hundred years.

Keywords: flood sediments; sedimentary cycle; grain size; natural check dam; loess depression

淤地坝是综合治理水土流失的措施之一,能有效减少入黄泥沙,同时也是研究土壤侵蚀模数的重要依据。目前对于淤地坝的研究多集中于泥沙来源及沉积速率方面[1-2],对淤地坝拦沙减沙效应研究主要集中于拦截泥沙总量和下游泥沙含量的变化[3],以及利用河流中泥沙悬浮颗粒分析侵蚀和沉积的区域特性[4-5]。淤地坝是小流域的"沉沙池",沉积泥沙中赋存了大量小流域侵蚀特征及侵蚀环境变化的信息,利用沉积物的粒度特征来识别解释搬运和沉积作用的动力状况,是研究沉积学的重要方法之一[6],其粒度沉积特征为研究小流域土壤侵蚀提供了良好的载体。

陕西省子洲县庞家沟流域的"黄土洼",是现今发现的黄土高原地区时间序列最长的全冲、全淤型天然聚湫,有"淤地坝的鼻祖"之称[7]。黄土洼天然淤地坝形成于明隆庆年间(公元 1569 年),至今发育约有 440 a 的历史,没有溢洪道,具有良好的沉积层理,泥沙沉积层信息完整,这对研究黄土高原侵蚀演变的历史,探究侵蚀环境变化的机理具有重要意义,而目前对黄土洼沉积层的研究很少[8],对沉积特征也未涉及。本研究选择庞家沟流域黄土洼天然淤地坝内洪

收稿日期:2013-09-27 **修回日期**:2013-12-03

资助项目:国家自然科学基金项目"陕北黄土高原典型小流域近 500 年来侵蚀产沙量变化研究"(41071012); 陕西省水土流失补偿费资助项目

作者简介:颜艳(1988—),女(汉族),山东省临沂市人,硕士研究生,研究方向为水土资源评价与规划。E-mail:yanyandao@126.com。

通信作者:岳大鹏(1964—),男(汉族),陕西省兴平市人,博士,教授,硕士生导师,主要从事自然地理、土壤侵蚀、土地资源与环境方面的研究。E-mail:yuedp@snnu.edu.cn。

水沉积物作为研究对象，结合1953—2010年研究区的降水资料，分析了坝内0—4 m剖面洪水沉积物的粒度旋回特征与变化规律，探讨黄土洼淤地坝的洪水信息、洪水动力，为反演小流域土壤侵蚀历史及产沙过程，推算侵蚀量提供科学依据，对该区及类似区域水土保持措施的制定具有一定的参考意义。

1 研究区概况

黄土洼(37°19′N，109°59′E)位于陕西省榆林市子洲县南部裴家湾镇，北距子洲县城50 km，东距绥德县城22.5 km，处在无定河一级支流淮宁河中游的庞家沟上游。黄土洼所在的庞家沟流域属于黄土丘陵沟壑区第Ⅰ副区，即典型的黄土丘陵区，地形破碎、沟壑纵横，水土流失严重，黄土物质分布广泛而深厚。土壤以黄土母质上发育的黄绵土为主，粉砂含量高，土质疏松，抗冲抗蚀性极弱。研究区处于中纬度半干旱地区，属于大陆性季风气候，四季分明，年平均气温9.5 ℃，1月均温－7.6 ℃，7月均温24.2 ℃，多年平均降水量为480 mm，降水年内分配不均，主要集中在7—9月份，约占全年降水量的65%，且多以暴雨的形式出现，水力侵蚀是该流域的主要侵蚀方式。

2 研究方法

2.1 野外样品采集

2011年对陕北子洲县黄土洼进行了多次的野外考察，于淤地坝坝前沟掌地较平坦处采集了A，B，C 3组样品。研究剖面的一侧是农地，受到人为耕种的影响，另一侧为野生的芦苇荡，沉积物未受人为扰动。为去掉人为因素对沉积物的影响，表面30 cm土层未采样。A和B两组样采用手摇钻，共钻采40次，每次钻深10 cm，以2 cm间距进行分样，各采集200个样品，深度为4 m；C样采用探坑方式，以2 cm间距采样，共采集205个样品，深度为4.1 m。

2.2 样品粒度与^{137}Cs测试

(1) A剖面粒度测试流程。样品经自然风干后，每个样品称取0.8 g放入烧杯中，首先加入10%浓度的H_2O_2在电热板上加热使其充分反应，去除样品中的有机质，当气泡完全排完后，取下冷却，再加入10%浓度的HCl去除次生碳酸盐类，反应完后，注满蒸馏水静置72 h，用导管抽取上部溶液，再注满蒸馏水，重复几次，直至溶液为中性。上机测试前加入分散剂，使颗粒充分分散。仪器是采用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000，仪器测量粒度范围为0.02～2 000 μm，用标样进行测定，相对误差小于2%。(2) C剖面^{137}Cs测试流程。将用于^{137}Cs测试的样品烘干，去除大块有机质，再进行研磨，装入测试样品盒，密封10 d后，用美国ORTEC公司生产的高纯锗低本地伽玛能谱仪进行测试。

3 结果与分析

3.1 淤地坝洪水沉积层年代的确定

C剖面采用探坑采样，沉积物没有经过人为压缩，沉积信息保存完整，采样深度最深，用于^{137}Cs测定。A剖面为手摇钻采样，虽采样方式使沉积物受到的一定的压缩，但沉积物粒度的旋回特征依然存在，能够与C剖面旋回信息对应起来，可以用C剖面的^{137}Cs断年技术框定出A剖面沉积物的大概年龄，然后根据1953—2010年的降雨资料进一步细化。

全球范围^{137}Cs核素沉降始于1952年末，1954—1970年是^{137}Cs核尘埃的主要沉降期，深度为410 cm的剖面在290 cm处首次出现了^{137}Cs，可以断定290 cm为1954年。^{137}Cs在210 cm处达到峰值(图1)，全球^{137}Cs最大沉降在1963年，有研究表明[9]，^{137}Cs沉降量与降水成正相关，1964年，黄土洼地区年降水、7—9月降水、24 h降水均出现峰值，因此210 cm处是1964年。1986年4月前苏联乌克兰境内切尔诺贝利核电站事故泄露的^{137}Cs对我国存在一定的影响，并会形成一个次峰值[10]，但是1986年该区降雨处于谷值，1987年降水明显增多，因此70 cm处应该为1987年。对于小流域沉积物来说，决定^{137}Cs剖面分布更重要的因素可能是降雨或侵蚀土壤中的^{137}Cs成分[11]。1994年年降水、7—9月降水、24 h降水均处于峰值，将流域土壤中的^{137}Cs带入沉积物中，因此40 cm深度处为1994年。按此沉积速度，可以推算出A剖面4 m深度沉积物是在近百年内形成的。

根据暴雨产沙原理可知，在黄土高原地区，流域的产沙量绝大多数是由汛期的几场侵蚀性降雨形成，而且一般都是洪峰和沙峰同步，因此该区较大的降雨峰值对应沉积物粒度较大的峰值，按照此原则，利用1953—2010年的降雨资料，将这58年中几个较大的降雨峰值(1994，1978，1964和1959年)与A剖面泥沙中值粒度(M_d)的较大峰值进行对应，再在最大峰值之间选择次峰进行对应，因此，地面以下26—36 cm对应1993—1995年，98—110 cm对应1977—1978年，228—242 cm对应1963—1964年，268—290 cm对应1955—1959年(图1)。

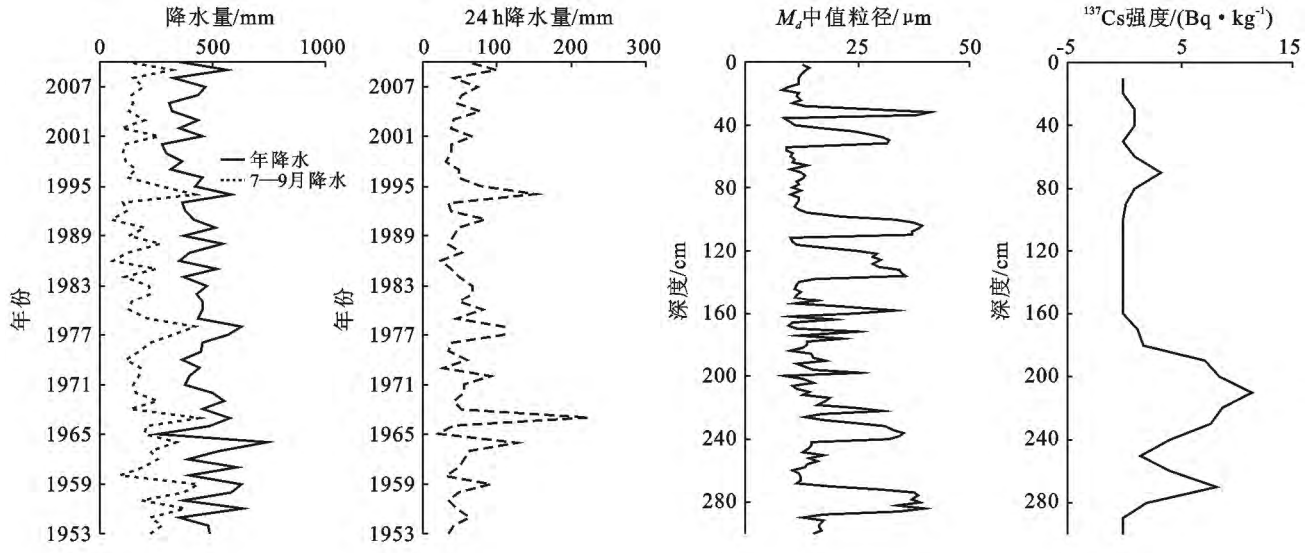


图 1　黄土洼 1953－2010 年降水数据及 A 剖面粒度数据和 C 剖面^{137}Cs 测试数据

3.2　淤地坝洪水沉积旋回层划分依据

在黄土丘陵区，每场洪水都会把一些泥沙带入淤地坝，由于泥沙在沉降过程中的分选作用，往往是粗颗粒泥沙先沉积，其次为粉砂，最后为黏粒[12]，由此在淤地坝内形成下粗上细的沉积旋回，随着时间的推移，多个沉积旋回层叠加形成的剖面在垂直方向上记录了相应的沉积信息。依据沉积旋回层颗粒下粗上细、洪峰对沙峰的原则，根据剖面粒度分析中的平均粒径、中值粒径的走向、峰值的突变层位和＜0.005 mm 细颗粒含量变化来划分沉积层。在单次洪水形成的沉积层中，中值粒径和平均粒径只有一个较明显的峰值，细颗粒层的出现表示洪水沉积结束，因此相邻的两个细颗粒层间是一次完整的洪水沉积层（图 2 中的 R_1—R_{11}）。虽然剖面颗粒粗细分层明显，但是相邻的两个较明显的细颗粒层中也出现两个或多个峰值（一个主峰，一个或多个次峰，如图 2 中的 r_1—r_5），这可能是在一次洪水过程中，泥沙未完全沉积，短时期内又有阵雨或暴雨等降水过程。本研究对较典型的洪水沉积层（厚度 8 cm 以上，沉积层粗细颗粒分层明显）进行划分，对于厚度较小的沉积层图中未标示出来。

3.3　频率曲线

沉积物频率曲线特征是判断沉积作用形式的重要手段之一，频率曲线的峰态变化常反映沉积作用形式的变化[13]，峰态有单峰、双峰和多峰型，不同的峰态反映了不同的沉积环境信息。单峰反映沉积物来源单一，形成时的动力条件相对稳定，双峰反映了多物源和复杂的动力环境条件[14]。对黄土洼 A 剖面的粒度频率曲线（图 3）进行分析，发现该剖面的频率曲线只有两种类型，绝大多数是单峰型，200 个样品中只有 2 个是较明显的双峰型态，其他少数几个是不明显的双峰型，即次峰较弱。在黄土洼地区，单峰形态中粒度组成高度集中于粉砂粒级（粒径在 0.005～0.05 mm 范围内），表明该区沉积作用主要是单一的流水沉积。频率曲线的双峰分布形态，表明有其他作用参与了流水的搬运沉积过程，在黄土高原为风力搬运作用。双峰中两峰不对称，次峰较弱，表明流水作用很强，风力作用对其影响非常弱。由黄土洼淤地坝沉积物频率曲线在各层的分布可知，黄土洼地区的沉积环境相对稳定，降水是影响研究区沉积物粒度的主要因素，沉积物的形成主要是水成沉积，风力携带的沉积物较少。

3.4　粒度成分含量变化

黄土洼淤地坝沉积物粒度由黏粒（＜0.005 mm），粉粒（0.005～0.05 mm）和砂粒（0.05～0.5 mm）构成。剖面颗粒总体较细，粒径多为 0.005～0.1 mm，整个剖面粒度含量以粉砂为主，其中又以粗粉砂含量最高，平均含量为 51.78%，其次为细粉砂和极细砂，平均含量分别为 15.62%和 12.83%，细砂、中砂含量最少，其含量分别为 0.025%～2.95%和 0%～0.037%，而且中砂只有少数几层有，粗砂缺失。

由表 1 可以看出，组成黄土洼淤地坝沉积物的旋回层的粒度组分含量明显的不同，整个剖面黏粒含量在 8.38%～32.69%，粉粒含量在 52.83%～77.84%，砂粒含量在 0.003%～38.28%，说明不同的降雨条件下洪水的动力条件不一致，使沉积物粒度组分有所差别。粉粒的平均含量（67.33%）最多，剖面黏粒的平均含量（18.98%）次之，砂粒的平均含量（13.93%）

最少，各粒径组分在整个剖面的变异系数：砂粒＞黏粒＞粉粒，说明砂粒在搬运和沉积的过程中具有较差的分选性，这也反映了泥沙颗粒对沉积环境（暴雨）的指示作用。粒径 0.25～0.5 mm 范围内的中砂含量极少，主要分布在 R_1，R_5，R_7，r_2，r_5 层，对应的深度分别为 26～36 cm，154～162 cm，192～200 cm，268～290 cm 和 378～396 cm，除在 378～396 cm 深度处，因缺乏降水资料不确定外，在其他深度处 24 h 最大降雨量均达到峰值。黄土高原坡面和沟道小流域，极强烈侵蚀的 70% 是由短历时高强度的暴雨产生的[15]，该粒径范围的泥沙分布情况可反映侵蚀强度的大小。

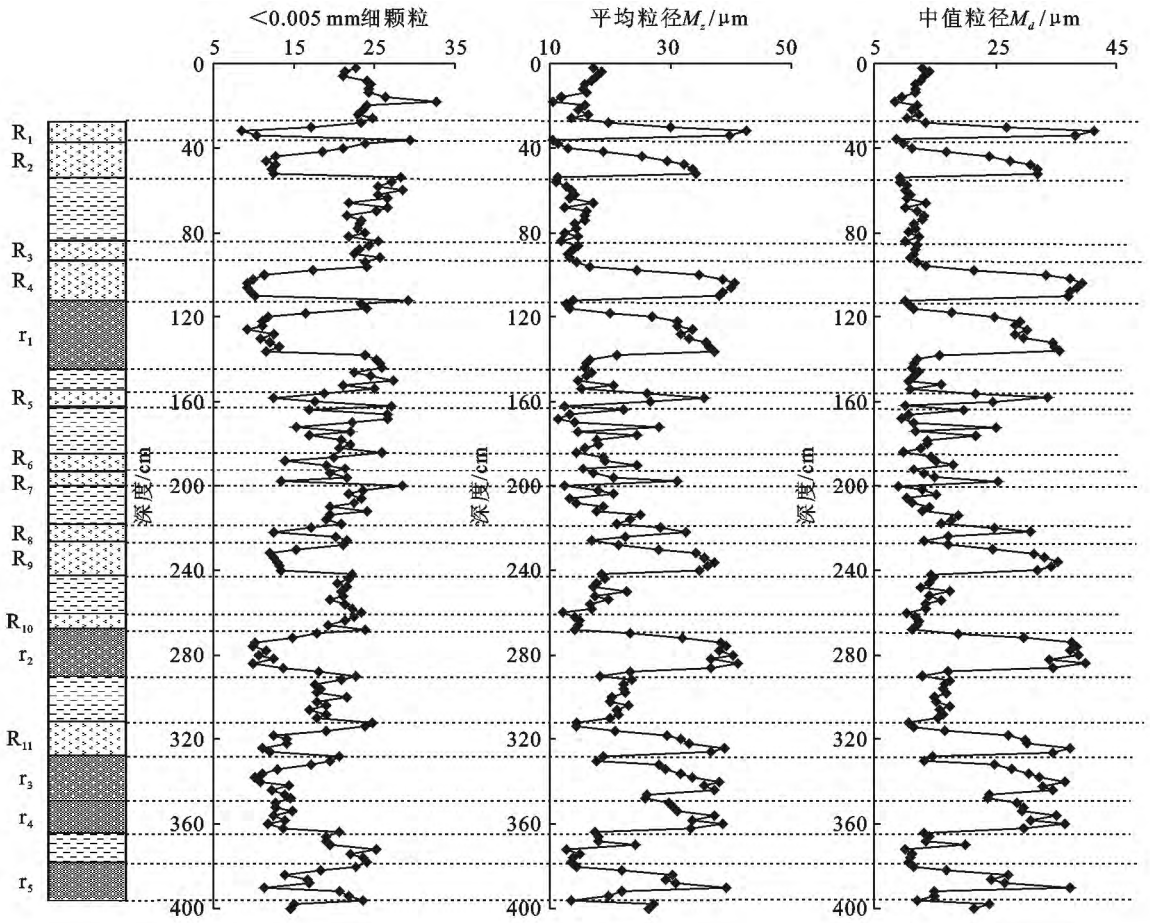


图 2 黄土洼 A 剖面平均粒径、中值粒径和细颗粒变化曲线

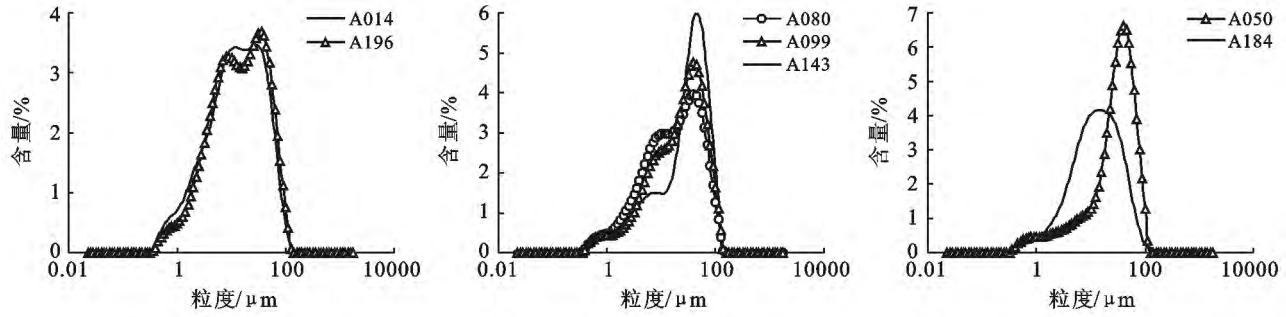


图 3 黄土洼 A 剖面粒度频率曲线特征

表 1 研究区淤地坝沉积剖面土壤各粒径含量的统计 %

质地	平均值	中位数	标准差	变异系数	最小值	最大值
黏粒	18.98	19.66	5.46	0.29	8.38	32.69
粉粒	67.33	68.34	6.23	0.09	52.83	77.84
砂粒	13.93	10.21	10.62	0.76	0.003	38.28

3.5 粒度参数变化

粒度分析是研究沉积物的主要手段，对其进行分析，可以推断物源信息、搬运动力和沉积环境。根据 $\Phi=-\log_2 D$（D——沉积物粒径，μm），再采用 Folk 和 Ward[16] 公式计算出粒度参数 M_z（平均粒径），M_d

(中值粒径)和 σ(标准偏差)。

中值粒径与平均粒径的变化趋势基本一致,两者具有相同的指示意义,代表沉积物粒度分布的集中趋势,反映搬运营力的平均动能。黄土洼 A 剖面的平均粒径主要集中在 10.43～42.45 μm 范围内,平均值为 22.86 μm,极大值(42.45 μm)出现在 32 cm 处,表明其是由高能量的动力环境中沉积下来的粗颗粒物质所组成。由图 1 看出,26～36 cm 土层深度处,该处为 1993—1995 年,在 1994 年,黄土洼地区降雨量较大,年降水、7—9 月降水、24 h 最大降水均达到了峰值,高强度的降水导致的洪水动能较大,对土壤的侵蚀力强。由于黄土土层疏松,一旦有地表径流发生,会引起严重的土壤侵蚀。

标准偏差(σ)是分选性的指标,反映沉积物颗粒的分选程度,分选好坏与沉积环境的水动力条件和沉积物物源有密切关系,σ 值越小,分选越好。A 剖面沉积物 σ 值在 1.34～1.84 范围内,平均值为 1.61,根据 Folk 和 Ward[16] 对标准偏差的分级标准,各层沉积物分选均较差。研究区沉积物物源较单一,主要为水成沉积,沉积物分选差是水动力条件不稳定引起的。当降水较多形成洪水时,流速发生剧烈变化,粗细颗粒往往未能发生分选,导致分选较差。

3.6　洪积物粒度沉积旋回层记录的洪水信息

淤地坝拦截侵蚀性降雨产生泥沙,在沉降过程中由于分选作用形成泥沙沉积旋回层。在淤地坝 A 剖面 290 cm 深度内(1954 年以来),可划出较明显的 32 个沉积旋回层。黄土洼聚湫沉积物是坡面流水侵蚀在聚湫内的沉积,其侵蚀性降雨主要发生在 7—9 月,由图 1 可知 1954—2010 年 7—9 月的降水出现了 18 个峰值。在黄土高原地区,汛期会出现几场侵蚀性降雨,产生几次产沙洪水,而淤地坝坝地每一层淤积泥沙量是与一次侵蚀性降雨相对应的[17],因此,黄土洼地区 7—9 月几场侵蚀性降雨形成的洪水,对沉积物粒度的影响较大,能够形成记录次降雨侵蚀的沉积层次。在黄土高原地区,流域的产沙量绝大多数是由年内几场大暴雨形成的[18],较大的来水量对应较大的沙量。提取了 1954—2010 年内日降雨量≥50 mm 的暴雨,共 34 次(图 4),暴雨次数远大于沉积旋回次数。一般来说,每场侵蚀性降雨都会形成泥沙沉积,同一次洪水沉积层内部没有分层界线,不同期次的洪水常有分层界线,特别是时间间隔较长的洪水沉积物[19]。但是,并不是每次洪水形成的沉积层与下一次洪水形成的沉积层的界限都很明显,当两次暴雨在发生的时间上很接近时,由于前一次暴雨侵蚀产生的泥沙未完全沉积,后一次降雨产生粗颗粒与之混合,所以两次暴雨也可能形成一个较明显的沉积层。因此,A 剖面(4 m)百年内形成的沉积物,其中共出现了 42 次明显沉积旋回层,至少记录了 42 次暴雨洪水事件。

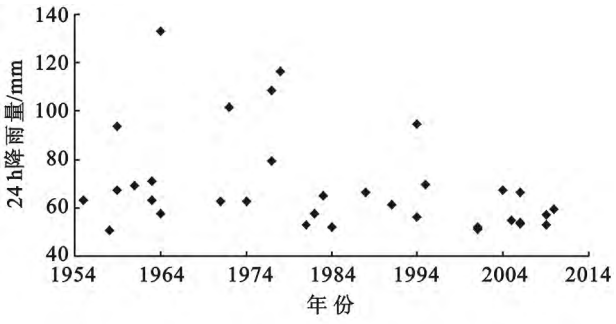


图 4　黄土洼地区 1954 年以来≥50 mm 日降雨量变化

4　结 论

(1) 黄土洼天然淤地坝沉积物具有良好的沉积层理,不同沉积层间粒度变化明显,反映了近百年内年该区土壤侵蚀情况,也记录了过去沉积环境和侵蚀产沙过程的相关信息,对该区及类似区域水土保持措施的制定提供了一定的参考价值。

(2) 黄土洼地区的沉积环境相对稳定,沉积物物源比较单一,主要为水成沉积,风力对其影响不大,影响沉积物粒度的主要因素是降水,主要集中在 7—9 月,由以暴雨侵蚀为主。

(3) 一次侵蚀性暴雨,并不一定对应一个泥沙沉积旋回层,也可能是两次或多次侵蚀性降水形成的,剖面 4 m 沉积物粒度旋回,至少可以记录近百年内 42 次较大的暴雨洪水事件。

(4) 黄土洼淤地坝发育约有 440 a 的历史,由于统计与技术的局限性,研究区 1953 年前的降雨资料缺乏,可以利用沉积物粒度旋回特征来反演 440 a 来该流域的洪水事件,此外,降水因素对沉积物粒度的具体影响需要进一步的研究。

[参 考 文 献]

[1] 李勉. 小流域侵蚀与产沙关系的 ^{137}Cs、$^{210}Pb_{ex}$ 示踪研究[D]. 陕西 杨陵:中国科学院水土保持研究所,2002.

[2] 李少龙,苏春江,白立新,等. 小流域泥沙来源的 ^{226}Ra 分析法[J]. 山地研究,1995,13(3):199-202.

[3] 冉大川,郭宝群,马勇. 基于淤地坝建设的黄河中游泥沙粒径变化分析[J]. 人民黄河,2005,27(11):28-30.

[4] Ankers C, Walling D E, Smith R P. The influence of catchment characteristics on suspended sediment properties[M] // The Interactions between Sediments and Water. Springer Netherlands, 2003: 159-167.

[5] 李勉,姚文艺,史学建. 淤地坝拦沙减蚀作用与泥沙沉积

特征研究[J]. 水土保持研究,2005,12(5):107-111.

[6] 王建,柏春广. 一种新的粒度指标:沉积物粒度分维值及其环境意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 234-239.

[7] 安锁堂,淤地坝鼻祖:天然湫滩[J]. 陕西水利,2004(2):48-49.

[8] 龙翼,张信宝,李敏,等. 陕北子洲黄土丘陵区古聚湫洪水沉积层的确定及其产沙模数的研究[J]. 科学通报,2009,54(1):73-78.

[9] Alonso-Hernández C M, Cartas-Aguila H, Diaz-Asencio M, et al. Atmospheric deposition of ^{137}Cs between 1994 and 2002 at Cienfuegos, Cuba[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2006, 88(2): 199-204.

[10] 张信宝. 有关湖泊沉积^{137}Cs 深度分布资料解译的探讨[J]. 山地学报,2005,23(3):294-299.

[11] 王文博,蔡运龙,王红亚. 结合粒度和^{137}Cs 对小流域水库沉积物的定年:以黔中喀斯特地区克酬水库为例[J]. 湖泊科学,2008,20(3):306-314.

[12] 李勉,杨剑锋,侯建才,等. 黄土丘陵区小流域淤地坝记录的泥沙沉积过程研究[J]. 农业工程学报,2008,24(2):64-69.

[13] 蒋庆丰,刘兴起,沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义[J]. 沉积学报,2006,24(6):877-882.

[14] 安福元,马海州,樊启顺,等. 粒度在沉积物物源判别中的运用[J]. 盐湖研究,2012,20(2):67-69.

[15] 焦菊英,王万中. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(1):34-42.

[16] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3-26.

[17] 魏霞,李占斌,李鹏,等. 黄土高原典型淤地坝淤积机理研究[J]. 水土保持通报,2006,26(6):10-13.

[18] Hofmann L, Ries R E, Gilly J E. Relationship of runoff and soil loss to ground covers of native and reclaimed grazing land[J]. Agronomy Journal, 1983, 75(4): 599-602.

[19] 赵景波,郁耀闯,周旗. 渭河渭南段高漫滩沉积记录的洪水研究[J]. 地质论评,2009,55(2):231-241.

(上接第 348 页)

[7] 黄彩变,曾凡江,雷加强,等. 开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响[J]. 生态学报,2011,31(18):5113-5120.

[8] 许联芳,王克林,朱捍华,等. 桂西北喀斯特移民区土地利用方式对土壤养分的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(5):1013-1018.

[9] 李灵. 南方红壤丘陵区不同土地利用的土壤生态效应研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.

[10] 胡江玲. 干旱区内陆河流域土地利用变化及其对土壤肥力质量的影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2007.

[11] 姜涛. 土地整理对紫色丘陵区土壤质量的影响[D]. 重庆:西南大学,2008.

[12] 张贞. 丘陵区多尺度土地质量评价研究[D]. 重庆:西南大学,2008.

[13] 刘梦云,安韶山,常庆瑞,等. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价方法研究[J]. 水土保持研究,2005,12(3):41-43.

[14] 张雯雯,李新举,陈丽丽,等. 泰安市平原土地整理项目区土壤质量评价[J]. 农业工程学报,2008,24(7):106-109.

[15] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报,2005,25(3):639-644.

[16] David A L, Chang Chengwen. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality[J]. Soil & Tillage Research, 2013,134:33-40.

[17] Hammerbeck A L, Stetson S J, Osborne S L, et al. Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation[J]. Soil Science Society of America Journal, 2012,76(4):1390-1398.