

坝地沉积旋回泥沙养分变化及其对小流域泥沙来源的解释

张风宝^{1,2,3}, 薛凯^{2,4}, 杨明义^{1,2*}, 申震洲³

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100; 3. 黄河水利科学研究院水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室, 郑州 450003; 4. 广西交通科学研究院, 南宁 530007)

摘要: 黄土高原广泛分布的坝地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, 泥沙特性的变化则是这些信息的直接体现。该文通过对比分析淤地坝沉积旋回泥沙中和坝控小流域内不同泥沙源地土壤中有机质、全氮、全磷和全钾的含量, 发现小流域内土壤养分含量变异性明显大于沉积旋回泥沙中的变异性, 沉积旋回泥沙养分含量与沟壁土壤中的相接近, 其中与沟壁中的全氮、全磷和全钾无显著差异 ($p>0.05$), 但显著小于荒草地和坡耕地中的有机质、全氮和全磷含量 ($p<0.05$), 表明淤地坝运行期间小流域泥沙主要来源于沟壁坍塌和沟道扩展, 重力侵蚀和沟蚀是主要侵蚀类型; 有机质和全氮在坝地沉积旋回中呈明显阶段性变化, 分析认为其反映了农村土地联产承包责任制对小流域土地利用和土壤侵蚀的影响。

关键词: 土壤, 侵蚀, 养分, 小流域, 淤地坝, 沉积旋回, 沉积物养分

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.20.020

中图分类号: S157

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-20-0143-07

张风宝, 薛凯, 杨明义, 等. 坝地沉积旋回泥沙养分变化及其对小流域泥沙来源的解释[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 143-149.

Zhang Fengbao, Xue Kai, Yang Mingyi, et al. Variations of sediment nutrient in check dam and its implication for small catchment sediment resources[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 143-149. (in Chinese with English abstract)

0 引言

淤地坝是黄土高原地区人民群众在长期同水土流失斗争实践中创造的一种既拦截泥沙和保持水土, 又淤地造田和增产粮食的水土保持工程措施。截至2002年底, 黄河流域累计建成治沟骨干工程1480座, 控制面积10 041 km², 总库容15.15亿 m³, 已建成淤地坝11.35万座, 淤成坝地32万 hm², 对黄土高原水土流失的防治和当地经济的发展起到了至关重要作用^[1]。同时淤地坝相当于小流域的沉砂池, 逐次侵蚀事件能够形成明显的沉积旋回, 沉积旋回中保存了大量小流域侵蚀产沙和侵蚀环境演变的信息, 为研究小流域土壤侵蚀提供了良好的载体^[2]。

目前对淤地坝沉积泥沙的研究主要集中在以

下3个方面, 一是基于淤地坝沉积旋回、降雨资料和¹³⁷Cs时标功能研究流域侵蚀强度变化^[3-8]; 二是利用¹³⁷Cs示踪区分淤地坝泥沙来源^[5-6,9]; 三是分析坝地土壤理化性质时空变异及土壤肥力等^[10-18]。尽管涉及到坝地沉积旋回泥沙的养分, 但大多是从坝地土壤肥力、坝地生产力及坝地养分利用方面考虑, 对于淤地坝沉积旋回泥沙养分与坝控小流域内土壤养分之间对比分析及其对小流域土壤侵蚀的指示方面的研究较少。淤地坝沉积泥沙是坝控小流域内各部分土壤侵蚀的一个综合表达, 其中包含大量的小流域侵蚀和侵蚀环境变化信息, 沉积旋回泥沙特性的变化则是所赋存信息的直接体现, 通过分析沉积旋回中泥沙特性的变化, 可挖掘赋存在沉积旋回中大量的小流域侵蚀信息。为此, 本文在基于坝地沉积旋回泥沙样和坝控小流域内不同土地利用类型的土壤样, 对其有机质、全氮、全磷和全钾的含量进行对比分析, 反推坝控小流域土壤侵蚀特征和侵蚀环境变化的信息, 为小流域土壤侵蚀的深入研究和流域综合管理提供基础支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究淤地坝位于陕西省绥德县韭园沟乡王茂

收稿日期: 2012-03-26 修订日期: 2012-09-21

基金项目: 国家自然科学基金(41071194); 西北农林科技大学基本科研业务费专项经费项目(QN2011146); 水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室开放基金(201202); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201201084)

作者简介: 张风宝, 男(1980-), 回族, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤侵蚀机理及核素示踪研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: fbzhang@nwsuaf.edu.cn

*通信作者: 杨明义(1970-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀基础理论及核素示踪技术研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: ymyzly@163.com

沟, 是王茂沟一条一级支沟沟头处的闷葫芦坝(指建在沟头第一座没有溢洪道的全拦全蓄淤地坝), 坝地坐标为 N37°35'43", E110°22'5", 该坝修建于1956—1957年, 1958年开始淤积, 1990年淤平, 坝高11 m左右, 坝控流域面积0.181 km², 淤地面积约6 000 m², 坝地前宽尾窄, 主坝地长度约65 m, 淤平后种植玉米。王茂沟是黄河中游黄土丘陵区具有典型代表性的一条流域, 处于 N37°34'13"~37°36'03", E110°20'26"~110°22'46", 是陕西绥德韭园沟中游左岸的一条支沟, 属无定河的二级支沟, 流域面积为5.967 km², 形状近似半圆形, 平均宽1.456 km, 海拔940~1 188 m, 主沟长3.75 km, 沟底比降为2.7%, 沟壑密度为5.63 km·km⁻², 沟壑面积占流域面积的40.6%。该流域上部为马兰黄土, 厚5~20 m, 抗蚀能力差, 下部为离石黄土, 再下为基岩。整体上该流域具有地形破碎、地貌类型复杂等特点。王茂沟流域属大陆性季风气候, 多年平均降雨量为513 mm。其中汛期(6—9月)占年降雨量的70%以上, 且多以暴雨的形式出现, 水力侵蚀和重力侵蚀是该流域的主要侵蚀方式。

1.2 采样及测定方法

2009年9月底进行了样品采集, 对于淤地坝剖面样, 在坝地内距坝体30 m处挖一个半径为1 m垂直深度为11.325 m的剖面。剖面土壤样品按沉积旋回由下而上逐层采集, 取样过程中尽量使每个沉积旋回高度范围内的泥沙都能取到, 较厚旋回适当分层, 每层采集样品1 kg左右, 在采集过程中精确测量每个沉积旋回厚度。剖面除耕作层外共有75个沉积旋回(数据分析过程中把耕作层也作为一个沉积旋回对待), 因部分沉积旋回厚度超过1 m, 为了使采集的样品具有代表性, 厚的沉积旋回进行了适当分层, 整个沉积旋回剖面共采集了89个样品, 同一沉积旋回的样品在实验室内均匀混合作为一个样品。

坝控小流域面积小(0.181 km²), 土地利用类型简单, 只有坡耕地和荒草地, 但沟道发育剧烈, 因此在小流域内采样过程中增加了沟壁土壤的采集。从分水岭处向下, 在整个小流域内基本均匀分布, 选择了8块坡耕地、12块荒草地和4个典型的沟壁, 坡耕地和荒草地按照流水线方向分别在坡的上部、中部和下部采样, 采样深度5 cm, 沟壁比较陡直, 分别在上部、中部和下部取样, 小流域内共采集72个样品。

将所有样品带回实验室, 风干, 研磨, 根据测量要求过不同的筛子(有机质过孔径0.25 mm筛, 全氮、全磷和全钾过孔径1 mm筛), 采用国际标

准方法进行测定, 土壤有机质用重铬酸钾氧化-外加热法测定, 土壤全氮用半微量开氏法测定, 土壤全磷用氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定, 土壤全钾用火焰光度计法测定。

2 结果与分析

2.1 小流域内土壤养分含量的统计特征

表1为坝控小流域土壤和坝地沉积旋回泥沙养分的统计特征值, 针对小流域内部, 有机质、全氮和全钾在不同的土地类型土壤中含量具有相同的变化趋势, 即荒草地>坡耕地>沟壁, 其中有机质和全氮含量在不同土地类型土壤中含量呈显著差异($p<0.05$), 荒草地中全钾含量与坡耕地中呈显著差异($p<0.05$), 而沟壁中全钾与荒草地和坡耕地中的差异不显著($p>0.05$); 全磷含量在不同土地类型中含量与前3种养分变化趋势不同, 是坡耕地>荒草地>沟壁, 估计与当地有施加磷肥的习惯有关, 其中坡耕地中含量与荒草地和沟壁中含量有显著性差异($p<0.05$), 而沟壁与荒草地之间的含量差异不显著($p>0.05$)。

表1 小流域内土壤中和沉积旋回泥沙中养分的统计特征
Table 1 Statistical characteristics of soil nutrients in small catchment and in deposit profile

| 项目 | 位置 | 样本数 | 最小值 (g·kg ⁻¹) | 最大值 (g·kg ⁻¹) | 均值 (g·kg ⁻¹) | 标准差 | 变异系数 /% |
|-----------------|------|-----|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------|------------|
| 有机质 质量 分数 | 沟壁 | 12 | 1.45 | 4.63 | 2.26d | 1.00 | 44 |
| | 荒草地 | 36 | 3.15 | 12.43 | 7.26a | 2.34 | 32 |
| | 坡耕地 | 24 | 3.77 | 6.99 | 5.37b | 0.87 | 16 |
| | 沉积旋回 | 76 | 1.59 | 6.59 | 3.03c | 0.81 | 27 |
| 全氮 质量 分数 | 沟壁 | 12 | 0.11 | 0.30 | 0.18c | 0.06 | 31 |
| | 荒草地 | 36 | 0.23 | 0.71 | 0.43a | 0.12 | 27 |
| | 坡耕地 | 24 | 0.26 | 0.42 | 0.32b | 0.05 | 14 |
| | 沉积旋回 | 76 | 0.12 | 0.43 | 0.2c | 0.05 | 27 |
| 全磷 质量 分数 | 沟壁 | 12 | 0.49 | 0.63 | 0.56c | 0.05 | 8.6 |
| | 荒草地 | 36 | 0.48 | 0.68 | 0.58b | 0.04 | 7.1 |
| | 坡耕地 | 24 | 0.57 | 0.67 | 0.61a | 0.03 | 4.2 |
| | 沉积旋回 | 76 | 0.46 | 0.61 | 0.55c | 0.02 | 4.4 |
| 全钾 质量 分数 | 沟壁 | 12 | 14.94 | 20.47 | 18.46ab | 1.76 | 10 |
| | 荒草地 | 36 | 16.37 | 22.91 | 19.36a | 1.44 | 7.4 |
| | 耕地 | 24 | 17.15 | 20.52 | 18.56b | 0.98 | 5.4 |
| | 沉积旋回 | 76 | 17.32 | 21.53 | 19.24a | 0.95 | 5 |

注: 利用 Mann-Whitney U 非参数检验法进行显著性检验, 相同字母代表差异性不显著($p>0.05$)。

变异系数代表了样本中观测值的变异程度, 发现有机质、全氮、全磷和全钾在小流域不同土地类型土壤中的变异系数具有相同的趋势, 即沟壁变异系数最大, 荒草地次之, 坡耕地最小, 这与沟壁比较陡直, 其上中下部位的垂直高差大, 以致养分的变异较大, 而坡耕地每年的耕作导致其变异相对较小。整体上看, 有机质和全氮的变异系数大, 在各

种土地类型中都大于 10%，属中等变异性，而全磷和全钾的变异性较小，都小于 10%，属弱度变异性。在不考虑土地类型，就整个坝控小流域而言，有机质、全氮、全磷和全钾变异系数分别为 44%、36%、7.4%和 7.4%，全磷和全钾的变异属弱度变异性，这说明了在流域内碳氮循环比较活跃，受环外界条件影响较大，因此变异系数相对较大。

2.2 坝地沉积旋回土壤养分的剖面变化特征

图 1 显示坝地剖面各沉积旋回中土壤养分随深度的变化，与天然的成土的剖面相比，淤地坝沉积剖面形成过程主要受降雨条件和小流域内土地利用、植被覆盖及人类活动等各种条件变化的影响，其养分含量变化比较复杂。研究淤地坝除耕作层外共有 75 个沉积旋回，沉积旋回泥沙中有机质、全氮、全磷和全钾质量分数的平均值分别为 3.03、0.2、0.55 和 19.24 g/kg，有机质和全氮的变异系数都为 27%，属于中等变异性，全磷和全钾分别为 4.4%和 5.4%，属于弱度变异性，沉积旋回泥沙中 4 种养分含量整体上变异性较小（表 1）。有机质的变化趋势与全氮非常相似，二者呈极显著正相关($R=0.871$, $P<0.01$)，其他养分之间的相关性比较弱。

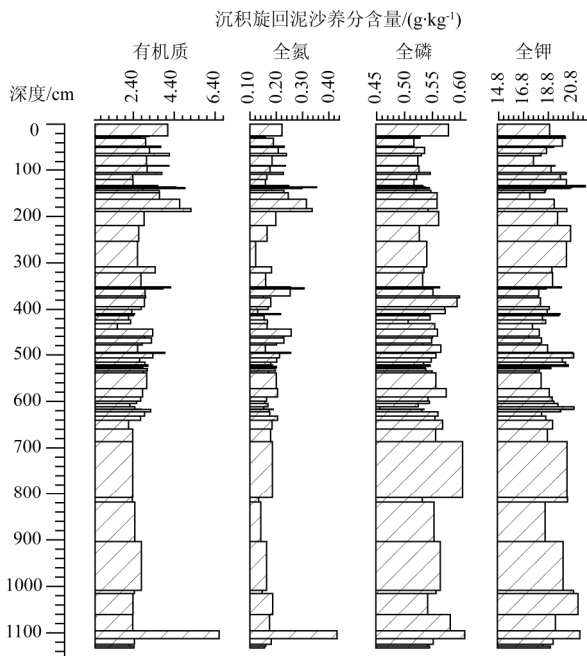
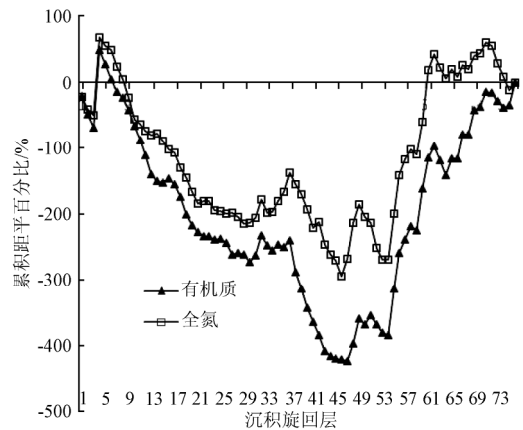


图 1 沉积旋回层中泥沙养分含量

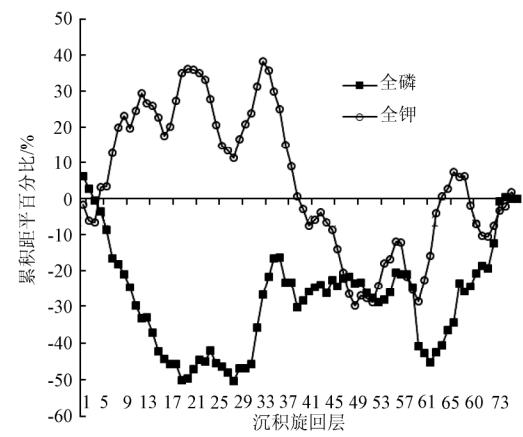
Fig.1 Sediment nutrient content in deposit profile

坝地沉积旋回泥沙养分含量不能直接显示其变化特征，累积距平百分比（即每个沉积旋回养分含量与所有沉积旋回养分含量平均值之差占平均值的百分比的累积值）则更能直观的显示坝地剖面沉积旋回泥沙养分的阶段性变化，如图 2 所示，整体上看，有机质和全氮累积距平百分比变化大，其

绝对值最大值分别为 424%和 295%，全磷和全钾的变化较小，其绝对值最大值分别为 50%和 38%。以底层最早沉积的旋回为第一个旋回，有机质和全氮具有非常相似的阶段性变化，从总体趋势上看，第 48~54 个沉积旋回是个分界点，第 48 个沉积旋回之前的有机质和全氮的含量整体比第 54 个沉积旋回之后的含量小。沉积旋回中全磷和全钾的累积距平百分变化趋势与有机质和全氮不同，沉积旋回中全磷含量在第 19 个沉积旋回之前基本上都小于平均值，第 20~62 个沉积旋回中全磷含量在平均值左右波动，无明显趋势，第 63 个沉积旋回之后的全磷含量基本上大于平均值。对于全钾，整体上变化的波动性较大，只有第 34~48 个沉积旋回中全钾基本低于平均值外，其他各个阶段都在平均值附近波动，没有明显的变化趋势。



a. 有机质及全氮



b. 全磷及全钾

注：以底层最早沉积的旋回为第一个旋回，养分累积距平百分比是指每个沉积旋回养分含量与所有沉积旋回养分含量平均值之差占平均值的百分比的累积值。

图 2 沉积旋回中泥沙养分的累积距平百分比

Fig.2 Accumulated anomaly percentage of sediment nutrient content in deposit profile

2.3 坝地沉积旋回泥沙与坝控小流域土壤养分的比较

坝地沉积旋回泥沙养分是坝控小流域不同土

地类型土壤养分的集中体现,由表1知,沉积旋回中各种养分含量的变异系数都小于小流域内沟壁和荒草地土壤养分的变异系数,通过差异性检验分析发现,沟壁中有机质显著低于沉积旋回($p < 0.05$),但与荒草地和坡耕地相比,沟壁中有机质也最接近沉积旋回泥沙中含量,沟壁中其它3种养分含量与沉积旋回泥沙中没有显著差异($p > 0.05$);荒草地中有机质、全氮和全磷都显著高于沉积旋回中的含量($p < 0.05$),全钾无显著差异($p > 0.05$);坡耕地中土壤4种养分含量与沉积旋回中的都有显著差异($p < 0.05$)。整体上看,除全钾外,沉积旋回中其它3种养分含量的分布与沟壁中含量的分布范围基本一致,全钾在各种土地类型和沉积旋回泥沙中的分布范围比较相近。

与坝控小流域内的土壤养分相比较,本研究沉积旋回泥沙养分并没有发生明显的富集现象,也可能是由于不同源地泥沙贡献不同而掩盖了泥沙养分的富集现象,这与王云强等^[10]研究的水蚀分时交错带淤地坝沉积泥沙结果不一致,估计与所处区域、降雨条件及流域环境不同有关。根据相关研究结果^[19],黄土高原小流域泥沙输移比接近于1,而且本次研究的小流域面积小,泥沙运移距离短,加之不同源地贡献率不同,泥沙中没有出现富集现象是正常的。

2.4 坝地沉积旋回养分变化对小流域泥沙来源的解释

沉积旋回泥沙主要受到降雨条件、侵蚀类型、土地利用类型及人类活动等条件的影响,是坝控小流域内侵蚀产沙特征和侵蚀环境变化的一个综合表达体,赋存着大量的小流域侵蚀信息和侵蚀环境变化的信息,而沉积旋回泥沙各种理化性质的变化就是赋存信息的直接体现,通过分析沉积旋回泥沙各种特性的变化,可挖掘赋存在沉积旋回中的小流域侵蚀信息。但这必须以满足所采坝地泥沙的养分含量能够代表坝地淤积泥沙平均含量和埋藏后淤积泥沙养分不随时间变化这2个前提。在本研究中采集的是坝地中部的样品(距体30m,坝地长约65m),包耀贤^[13]等和王治国^[18]等研究表明,坝前养分含量较高,坝尾较低,坝中部居中,且这些研究的大部分数据显示出坝前和坝尾泥沙中养分含量的平均值接近坝中泥沙的养分含量,说明在坝地中部采样基本能够代表整个坝地泥沙的平均含量,同时所采沉积泥沙样中养分含量与小流域土壤养分含量相比,变异性相对较小,泥沙中养分含量基本都在小流域土壤养分含量的范围之内,无极端现象,这些也能说明所采集泥沙样具有代表性;对于泥沙埋藏后泥沙养分是否随时间变化,由于研究方

法的限制,这方面的研究相对较少, Morris^[20]等利用模型计算了沼泽沉积剖面C、N、P含量的变化情况,结果显示在地表2cm内沉积物中C、N、P的变化最大,2cm以下C的损失可以忽略。对于淤地坝而言,一般每年可形成几个沉积旋回,每个沉积旋回的厚度一般大于2cm,埋藏后泥沙养分随时间变化的可能性较小。同时,国内外在应用湖泊沉积物中有机质、全碳、碳氮比、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 等来反映流域环境及人类活动在近百年尺度上变化的文章已发表了很多^[21-25],这些研究中并没有明确说明考虑埋藏时间对于有机质、全碳、碳氮比、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 等的影响,因此分析认为埋藏后泥沙养分可能发现微小的变化,但影响不大,泥沙中养分主要受泥沙来源的支配,泥沙养分含量可反映坝控小流域内泥沙来源的变化。

表1明显显示,沉积旋回泥沙中各种养分的含量都比较接近沟壁,除有机质外,沟壁养分含量与沉积旋回中泥沙养分含量无显著性差异性($p > 0.05$),有机质虽然差异性显著($p < 0.05$),但与荒草地和坡耕地相比,沉积旋回中泥沙有机质含量更接近沟壁,结合前面泥沙沉积旋回中养分含量与小流域内不同源地土壤中养分含量的显著性分析可说明沟壁和沟道是淤地坝沉积泥沙的主要贡献者;同时沉积旋回泥沙的样本数大,但各种养分含量变异性却较小,也表明泥沙的来源比较单一,沟壁坍塌和沟道发育的位置比较集中。一般情况下认为侵蚀泥沙在流域内输移过程存在一定分选性和养分富集特性,如果在此考虑了侵蚀-输移过程中的颗粒分选性和养分富集特性,而泥沙中养分含量依然近沟壁土壤的养分含量,则进一步强调了沉积旋回泥沙主要来自沟壁坍塌和沟道发育,荒草地和坡耕地的贡献少。沟壁和沟道是坝地沉积旋回泥沙主要源区则显示出坝控小流域内重力侵蚀和沟道侵蚀非常剧烈,是流域内的主要侵蚀类型,坡面侵蚀相对较弱,对沉积旋回泥沙的贡献较少。

淤地坝沉积旋回养分分布特征在一定程度上也能反映人类活动对小流域侵蚀环境的影响,由于全磷和全钾在小流域内不同源地上的变异小,且不同源地之间的差异不是都显著的,它们的变化不能完全反映流域的侵蚀特征和侵蚀环境的变化,相反,有机质和全氮却不同,从图2,淤地坝沉积旋回累积距平百分比有明显的变化趋势,第48~54个沉积旋回是个分界点,第48个沉积旋回之前的有机质和全氮的含量整体小于平均值的含量,而第54个沉积旋回之后的含量整体上大于平均值的含量,说明沉积旋回泥沙中有机质和全氮具有明显的阶段性变化。薛凯等^[7]基于 ^{137}Cs 时标功能和降雨资

料建立了该淤地坝沉积旋回的时间坐标，并分析了侵蚀强度的演变，根据薛凯等^[7]的研究结果，第 48~54 个沉积旋回是 1982—1984 年期间形成的，这个时间正好是我国农村土地承包责任制开始实施的时间，这个时间之后小流域侵蚀量呈增大趋势，认为是农村联产承包责任制调动农民的积极性，荒坡地被开垦成农田，在农田中的农事活动加强，加重了水土流失。这一时间之后沉积旋回泥沙的有机质和全氮含量整体上大于平均值含量这一现象也与薛凯^[7]等的分析相吻合，荒草地和坡耕地中的有机质含量和全氮的含量较高，开荒及农田内农事活动加强使得坡面水土流失加重，导致沉积泥沙中的有机质和全氮也有增加的趋势。说明沉积旋回养分变化在一定程度上能够反映出流域土地利用信息的变化，能够指示出一些重大的社会事件对侵蚀环境的影响。但是通过对 54 层之后沉积旋回泥沙中有机质和全氮与坝控流域内不同源地土壤中的相比较发现，第 54 层之后沉积旋回泥沙中全氮与沟壁中无显著差异 ($p>0.05$)，显著小于荒草地和坡耕地中全氮含量 ($p<0.05$)，沉积旋回中有机质尽管与沟壁、荒草地和坡耕地都有显著差异 ($p<0.05$)，但更为接近沟壁中的有机质含量，因此可认为即使在 1984 年以后，人为原因导致荒草地和坡耕地侵蚀有所增加，但小流域内依然以重力侵蚀和沟道侵蚀为主。

3 结论与讨论

淤地坝相当于小流域的沉砂池，逐次降雨事件能够形成明显的沉积旋回，沉积旋回泥沙中赋存大量的坝控小流域土壤侵蚀产沙特征和小流域侵蚀环境变化的信息。本文基于坝控小流域内不同源地土壤和坝地沉积旋回泥沙中的有机质、全氮、全磷和全钾分析，发现在小域内有机质和全氮含量在沟壁、荒草地和坡耕地的含量都有显著差异 ($p<0.05$)，全磷和全钾在整个小流域内属弱度变异性，坝地剖面沉积旋回泥沙的 4 种养分含量整体变异性较小；小流域内土壤养分含量变异性明显大于沉积旋回泥沙中养分含量的变异性，沉积旋回泥沙养分含量和沟壁土壤中的含量相接近，其中与沟壁中的全氮、全磷和全钾无显著差异 ($p>0.05$)，但显著小于荒草地和坡耕地中的有机质、全氮和全磷含量 ($p<0.05$)，表明在淤地坝运行期内研究小流域泥沙主要来源于沟壁坍塌和沟道扩展，泥沙来源相对单一，重力侵蚀和沟蚀是主要侵蚀类型，坡面侵蚀贡献较少；有机质和全氮在坝地剖面沉积旋回中呈明显阶段性变化，分析认为其反映了农村联产承包责任制对于小流域土地利用方式的影响，导致荒草地和坡耕地侵蚀速率有所增加，但整体而言坝控小流

域内仍然以重力侵蚀和沟蚀为主要侵蚀类型。

本文虽没有从量化的角度上反演出小流域侵蚀特征及侵蚀环境变化的信息，但至少说明沉积旋回泥沙中的养分能够指示出小流域的侵蚀特征及侵蚀环境变化的一些信息，这为宏观尺度上研究区域内小流域土壤侵蚀特征及侵蚀环境变化提供了一种相对可靠的手段，也为确定小流域未来治理方略的确定起到支撑的作用。

[参 考 文 献]

- [1] 陈晓梅. 黄土高原地区淤地坝的形成与发展[J]. 山西水土保持科技, 2006(4): 20—21.
Chen Xiaomei. Formation and development history of check dam on The Loess Plateau[J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2006(4): 20—21. (in Chinese)
- [2] 张信宝, 温仲明, 冯明义, 等. 应用¹³⁷Cs 示踪技术破译黄土丘陵区小流域坝库沉积赋存的产沙记录[J]. 中国科学: D 辑:地球科学, 2007, 37(3): 405—410.
Zhang Xinbao, Wen Zhongming, Feng Mingyi, et al. Application of Cs-137 fingerprinting technique to interpreting sediment production records from reservoir deposits in a small catchment of the Hilly Loess Plateau, China[J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 2007, 37(3): 405—410. (in Chinese with English abstract)
- [3] 魏霞, 李占斌, 李勋贵, 等. 淤地坝坝地淤积与侵蚀性降雨的灰色关联分析[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(2): 101—104.
Wei Xia, Li Zhanbin, Li Xungui, et al. Analysis of the grey correlation between sediment effect for dam-land of typical checking dam and corresponding erosive rainfall[J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(2): 101—104. (in Chinese with English abstract)
- [4] 魏霞, 李占斌, 李勋贵, 等. 基于灰关联的坝地分层淤积量与侵蚀性降雨响应研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 842—850.
Wei Xia, Li Zhanbin, Li Xungui, et al. Response research on the relationship between depositing sediment and erosive rainfall based on grey correlation analysis[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(5): 842—850. (in Chinese with English abstract)
- [5] 侯建才, 李占斌, 李勉, 等. 基于淤地坝淤积信息的小流域泥沙来源及产沙强度研究[J]. 西安理工大学学报, 2007, 23(2): 118—122.
Hou Jiancai, Li Zhanbin, Li Mian, et al. Research on the sediment source and sediment yield intensity in a small watershed based on the alluvium information of soil saving dam[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2007, 23(2): 118—122. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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.

- Li Mian, Yang Jianfeng, Hou Jiancai, et al. Sediment deposition process for a silt dam in a small watershed in Loess Hilly Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 64—69. (in Chinese with English abstract)
- [7] 薛凯, 杨明义, 张凤宝, 等. 利用淤地坝泥沙沉积旋回反演小流域侵蚀历史[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 115—120.
- Xue Kai, Yang Mingyi, Zhang Fengbao, et al. Investigating soil erosion history of a small watershed using sediment couplet in a dam[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(1): 115—120. (in Chinese with English abstract)
- [8] Zhang X, Walling D, Yang Q, et al. ^{137}Cs budget during the period of 1960s in a small drainage basin on the Loess Plateau of China[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2006, 86(1): 78—91.
- [9] Zhang X, Wen Z, Feng M, et al. Application of Cs-137 fingerprinting technique to interpreting sediment production records from reservoir deposits in a small catchment of the Hilly Loess Plateau, China[J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 2007, 50(2): 254—260.
- [10] 王云强, 张兴昌, 韩凤朋. 黄土高原淤地坝土壤性质剖面变化规律及其功能探讨[J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1021—1026.
- Wang Yunqiang, Zhang Xingchang, Han Fengpeng. Profile variability of soil properties in check dam on the Loess Plateau and its functions[J]. Environmental Science, 2008, 29(4): 1021—1026. (in Chinese with English abstract)
- [11] 毕银丽, 王百群, 郭胜利, 等. 黄土丘陵区坝地系统土壤养分特征及其与侵蚀环境的关系 II: 坝系土壤粒径分布及各粒径的养分状况[J]. 水土保持学报, 1997, 3(4): 37—43.
- Bi Yinli, Wang Baiqun, Guo Shengli, et al. Characteristic of soil nutrient in dam system and its relation with erosion environment in the Loess Hilly Region: Particles distribution and its nutrient condition in dam system soil[J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1997, 3(4): 37—43. (in Chinese with English abstract)
- [12] 汪亚峰, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 黄土高原小流域淤地坝泥沙粒度的剖面分布[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2461—2467.
- Wang Yafeng, Fu Bojie, Cheng Liding, et al. Profile distribution of sediment particle sizes at a check dam in a small watershed of Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2461—2467. (in Chinese with English abstract)
- [13] 包耀贤, 吴发启, 谭红朝. 坝地土壤养分分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 12—15.
- Bao Yaoxian, Wu Faqi, Tan Hongchao. Distribution characteristics of soil nutrients in dam land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(2): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [14] Zhao P, Shao M. Soil water spatial distribution in dam farmland on the loess plateau, China[J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 2010, 60(2): 117—125.
- [15] Zhao P, Shao M, Wang T. Spatial distributions of soil surface-Layer saturated hydraulic conductivity and controlling factors on dam farmlands[J]. Water Resources Management, 2010, 24(10): 2247—2266.
- [16] Zhao P, Shao M, Zhuang J. Fractal features of particle size redistributions of deposited soils on the dam farmlands[J]. Soil Science, 2009, 174(7): 403—407.
- [17] Zhao P, Shao M, Melegy A A. Soil water distribution and movement in layered soils of a dam farmland[J]. Water Resources Management, 2010, 24(14): 3871—3883.
- [18] 王治国, 胡振华, 段喜明, 等. 黄土残塬区沟坝地淤积土壤特征比较研究[J]. 水土保持学报, 1999, 5(4): 22—27.
- Wang Zhiguo, Hu Zhenhua, Duan Ximing, et al. Comparative research on soil characteristics of damland in broken loess plateau region[J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 5(4): 22—27. (in Chinese with English abstract)
- [19] 龚时旸, 熊贵枢. 黄河泥沙来源和地区分布[J]. 人民黄河, 1979, (1): 7—18.
- Gong Shiyang, Xiong guishu. Sediment source and areal distribution of Yellow river[J]. Yellow River, 1979, (1): 7—18. (in Chinese with English abstract)
- [20] Morris J T, Bowden W B. A mechanistic, numerical model of sedimentation, mineralization, and decomposition for marsh sediments[J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50(1): 96—105.
- [21] Kaushal S, Binford M W. Relationship between C: N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA[J]. Journal of Paleolimnology, 1999, 22(4): 439—442.
- [22] Melenevskii V N, Leonova G A, Konyshev A S. The organic matter of the recent sediments of Lake Beloe, West Siberia (from data of pyrolytic studies)[J]. Russian Geology and Geophysics, 2011, 52(6): 583—592.
- [23] Tenzer G E, Meyers P A, Robbins J A, et al. Sedimentary organic matter record of recent environmental changes in the St. Marys River ecosystem, Michigan—Ontario border[J]. Organic Geochemistry, 1999, 30(2/3): 133—146.
- [24] Brenner M, Binford M W. A sedimentary record of human disturbance from Lake Miragoane, Haiti[J]. Journal of Paleolimnology, 1988, 1(2): 85—97.
- [25] Thornton S F, McManus J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1994, 38(3): 219—233.

Variations of sediment nutrient in check dam and its implication for small catchment sediment resources

Zhang Fengbao^{1,2,3}, Xue Kai^{2,4}, Yang Mingyi^{1,2*}, Shen Zhenzhou³

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. Key Laboratory of Soil and Water Loss Process and Control on the Loess Plateau of the Ministry of Water Resources, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 4. Guangxi Transportation Research Institute, Nanning 530007, China)

Abstract: The sedimentological and nutritional characteristics of eroded soil particles from the Loess Plateau in China were investigated in this paper. The large number of check dams built in the Loess Plateau function, partly as the depositors of eroded soils, carries important information about the environmental processes relating to soil erosion and deposition. In this study, the organic matter (OM) contents, total nitrogen (N) contents, total phosphorus (P) contents, and total potassium (K) contents in both deposits of the dams and in soil of different parts of the catchments were compared. The results showed that the variability of soil nutrients in the catchments was obviously larger than that in the dams; the variabilities of nutrients in the soils and in the gully walls were similar, where there was no significant difference between soil total N, total P, and total K in the gully walls and in sediments deposit profiles ($p>0.05$), but the soil nutrient contents were significantly lower than those on slope farmland and slope grassland ($p<0.05$). Those results implied that collapsing gully walls and expanding gullies were the main sources of sediments in check dams during the sediment trapping periods. The results also indicated that gravitational erosion and gully erosion were the two major erosion types in these small catchments. The variations of OM in the sediments and total N in the deposit profiles of the dams showed two different stages of development. It is concluded that sedimentological and nutritional differences result from the effects of the rural contract responsibility system on the land use and soil erosion.

Key words: soils, erosion, nutrients, catchment, check dam, cycle of sedimentation, sediment nutrients