

径流及泥沙中⁷Be 含量分布与影响因素研究

张风宝¹, 杨明义^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 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, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过分析次降雨下, 来自坡耕地、荒草地、灌木林地径流小区径流、泥沙中⁷Be 含量, 发现径流中⁷Be 浓度较小, 均值为 0.92 Bq/L, 但次降雨过程由于受径流量的影响, 随径流流失的⁷Be 量较大。坡耕地小区随径流流失⁷Be 占整个小区⁷Be 流失量的 11%~33%, 对示踪结果影响较大。与地表土壤相比较, 侵蚀泥沙中⁷Be 含量较大, 尤其是荒草地和灌木林地小区。坡耕地小区侵蚀泥沙颗粒分选性对泥沙中⁷Be 含量影响不明显, 它主要受侵蚀类型的影响, 面蚀对侵蚀泥沙中⁷Be 含量贡献最大。

关键词: ⁷Be; 径流泥沙; 径流小区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)01-0020-04

中图分类号: S157, X837

⁷Be Distribution in Runoff and Sediment and its Influence Factor

ZHANG Feng-bao¹, YANG Ming-yi^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The ⁷Be content in runoff and sediment from different runoff plots under single rainfall event was analyzed. The result showed that ⁷Be concentration in runoff was relatively less than that in sediment and the average value was 0.92 Bq/L. However, the total loss of ⁷Be from runoff plots was great because much more runoff discharge was lost from runoff plots. It was estimated that 11%~33% of total loss ⁷Be in the whole cultivated plot ran off with runoff, and this had a great effect on the result of tracing soil erosion. The ⁷Be content in sediment was more than that in surface soil, especially in the weed and bush plot. At last, it was discovered that the grain size of sediment did not obviously influence the ⁷Be content in sediment, and surface erosion played an important role in the ⁷Be content of sediment.

Keywords: ⁷Be; runoff and sediment; runoff plot

大气沉降核素⁷Be 通过连续性干湿沉降到地表面, 被地表土壤颗粒强烈吸附, 随土壤颗粒机械性迁移, 具有环境微粒示踪价值^[1-3]。近十几年来, ⁷Be 示踪技术开始应用于土壤侵蚀规律的研究, 取得了较好的成果, 如国外的 Walling, Wallbrink 等, 国内的白占国、杨明义、张信宝等都做过这方面的研究^[2-7]。但是对是否有部分⁷Be 随径流流失, 径流泥沙中⁷Be 的含量及其对示踪结果的影响等的研究还很少。目前仅有的研究, 不管是海水还是淡水, 主要集中在水中⁷Be 离子的溶解性, 而且都是在固相浓度很低(小于 100 mg/L)或几乎是清水的情况下进行的^[8-11], 对高泥沙含量(如黄土高原侵蚀产生的径流泥沙)的径流、泥沙中的⁷Be 分配比例问题几乎没有研究。

本文以燕沟流域鸡蛋砬上的人工径流小区为研究对象, 探讨高泥沙含量的径流泥沙中径流、泥沙中⁷Be 的含量, 确定不同类型小区次降雨过程中径流泥沙中⁷Be 含量的变化, 同时也分析降雨、植被覆盖等对径流泥沙中⁷Be 含量的影响。

1 试验方法

1.1 研究区概况

燕沟流域位于延安市南 3 km 处, 东经 109°20′—109°35′, 北纬 36°20′—36°32′, 海拔 986~1 425 m, 属黄土高原丘陵沟壑区第 II 副区, 流域内土壤以黄绵土为主。按延安市降水资料统计, 多年平均降水量为 536.9 mm, 绝大多数年份(75%以上)6—9 月份降水

收稿日期: 2006-04-15

修稿日期: 2006-06-13

资助项目: 国家自然科学基金项目(40401032); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”

作者简介: 张风宝(1980—), 男(回族), 宁夏回族自治区彭阳县人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究的新技术、新方法研究。E-mail: zhangfengbao1980@tom.com.

通讯作者: 杨明义(1970—), 男(汉族), 山东省莱州市人, 研究员, 主要从事土壤侵蚀研究新技术、新方法研究。E-mail: ymyzly@163.com.

量占全年降水量的 70% 以上。径流小区位于燕沟流域鸡蛋崂的迎风坡上, 有坡耕地径流小区(1 号)、荒草地径流小区(2 号)和灌木林地径流小区(3 号)。坡耕地小区为 15 m×2 m, 平均坡度 24°, 属直形坡, 几乎无植被, 只有零星的冰草 [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn]、翻白草 (*Potentilla discolor* Bunge), 无明显的人为扰动。荒草地小区为 16 m×2 m, 平均坡度 24°, 地表植被覆盖度大于 60%, 分布比较均匀, 主要冰草 [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn]、黄蒿 (*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit)、狗娃花 [*Heteropappus hispidus* (Thunb.) Less]、翻白 (*Potentilla discolor* Bunge) 等覆盖, 在距坡底 4 m 处有一小型水平阶, 地表有黑色结皮。灌木林地小区为 16 m×2 m, 平均坡度 29°, 有低矮的刺槐 (*Robinia pseudacacia* L.)、土庄秀线菊 (*Spirea pubescens* Turcz) 等灌木, 地表长有冰草 [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn]、狗娃花 [*Heteropappus hispidus* (Thunb.) Less] 等及灌木枯枝落叶, 覆盖度为 60% 左右, 但分布不均匀, 在距坡顶 5 m 和 7 m 处有比较小鱼鳞坑, 整个坡面微地貌差异性较大。

1.2 样品采集

在 2005 年 7 月到 10 月的 4 次侵蚀性降雨后收集了小区泥沙样和径流样, 在降雨过后, 等到泥沙池浑水自然澄清后, 取 5.5 L 上层清水作为径流样, 随即取 1 kg 左右的沉积泥沙为侵蚀泥沙样, 背景值样利用三角形取样法取地表 2 cm 内的全样, 全部带回实验室进行分析处理。

1.3 样品处理与测定

土壤样和侵蚀泥沙经风干, 研磨过 40 目的筛, 装入特制的塑料盒中待测。

对于径流样本次研究利用双重吸收法, 就是首先把 500 g 不含⁷Be 的土壤放到装径流的桶中充分搅动混合, 然后等自然澄清, 把上层清水转入干净的塑料桶中, 加入稀盐酸将清水调节至 pH 值约为 2, 并按每升样品 20 mg Fe³⁺ 的量加入 FeCl₃ 溶液, 放置 2 h, 缓慢加入氢氧化钠溶液, 调节 pH 值约为 8.5, 搅动 15 min 以上, 放置 12 h 以上, 虹吸出清液, 将沉淀和刚才浸泡的土壤混合并转移到烧杯中, 在 80 °C 下烘干, 然后磨细, 装盒待测。

颗粒组成利用英国马尔文公司生产的 MS 2000 型激光粒度仪进行分析。⁷Be 测量采用美国 ORTEC 公司生产的 8192 道低本底 γ 能谱仪, 在 477.6 keV 能谱峰下测定⁷Be 比活度, 测定时间为 86400 s, 用全峰面积法 (TPA) 求算⁷Be 的比活度。

由于⁷Be 没有标准源, 采用从低能段到高能段的 10 种标准源标定, 得到仪器的探测效率曲线, 根据曲线拟合方程从而得到⁷Be 的探测效率。由于⁷Be 半衰期较短, 每一个样品中的⁷Be 含量都衰变校正到采样时的含量。

2 结论与讨论

2.1 径流小区侵蚀特征

表 1 为本研究收集样品的 4 次侵蚀性降雨和降雨后径流小区的侵蚀特征, 从表 1 可知, 坡耕地小区产生了比较严重的土壤侵蚀, 次降雨平均侵蚀速率最大为 0.92 kg/m², 雨季结束后, 坡下部出现细沟, 荒草地和灌木林地由于植被覆盖度大, 几乎没发生土壤侵蚀, 没有明显的侵蚀痕迹。次降雨中坡耕地小区产生的径流量最大, 荒草地小区次之, 灌木林地小区最少, 径流系数也有同样的趋势。

表 1 降雨参数及小区侵蚀特征

降雨日期 (2005 年)	降雨量/mm	平均降雨强度/ (mm·h ⁻¹)	小区类型	径流量/m ³	泥沙量/kg	径流系数
0726	35.24	15.32	坡耕地	0.41	24.50	0.44
			荒草地	0.21	0.24	0.21
			灌木林地	0.13	0.33	0.13
0807—0808	25.40	1.67	坡耕地	0.13	4.80	0.19
			荒草地	0.07	0.17	0.10
			灌木林地	0.05	0.16	0.06
0904	13.90	11.88	坡耕地	0.07	2.49	0.19
			荒草地	0.05	0	0.11
			灌木林地	0.03	0	0.07
0919—0921	74.80	1.20	坡耕地	0.28	未测	0.14
			荒草地	0.22	0	0.10
			灌木林地	0.13	0	0.06

2.2 径流中⁷Be的含量

在研究过程中,把泥沙池中自然澄清的上层清水认为是次降雨过程中产生的径流量,它包含细小的不容易沉淀的固体悬浮物,这些悬浮物上的⁷Be量也认为是径流中的⁷Be含量。因为在定量化研究土壤侵蚀过程中这些悬浮物的量相对于侵蚀总量是微乎其微的,一般随径流失掉,但其吸附⁷Be的量却对整个示踪的结果影响很大;同时⁷Be的湿沉降本身就是以固相即大气气溶胶的形式沉降,离子态溶解在水中的量是比较少的,所以这部分⁷Be量应认为是随径流失的⁷Be的含量。

如表 2 所示,径流中⁷Be的含量相对于泥沙来说比较小,在不考虑小区类型和降雨条件下,径流中⁷Be含量的平均值为 0.92 Bq/L,变异系数为 0.4,极差达

1.19 Bq/L。不同次降雨过程中,同一类型和不同类型小区中产生的径流中⁷Be的含量没有明显的规律性,但从整体上来看,长历时小强度的阴雨产生的径流中⁷Be含量较高,如 9 月 19 日—20 日的径流中⁷Be含量较其它含量高。从表 2 还可以得知,虽然单位体积中⁷Be含量相对较小,但是对于次降雨过程来说,随径流流失的⁷Be量比较大,主要受径流系数的控制,因此利用⁷Be示踪模型计算的土壤侵蚀速率就会偏大。与国外的相关研究相比较⁸,此次研究径流中⁷Be含量较大,这是因为研究目的不一样,国外的研究主要是说明水中⁷Be离子的溶解性,纯水相中⁷Be的量,此次研究就主要说明随径流流失⁷Be的量,包含部分微小固相中的⁷Be,所以结果是径流中⁷Be含量较国外研究的结果大。

表 2 次降雨过程径流、泥沙中⁷Be的含量

降雨日期 (2005 年)	小区类型	泥沙中 ⁷ Be/ (Bq·kg ⁻¹)	泥沙量/ kg	泥沙中 ⁷ Be 总量/ Bq	径流中 ⁷ Be/(Bq·L ⁻¹)	径流量/ m ³	径流的 ⁷ Be 总量/Bq
0726	坡耕地	22.42±2.12	24.50	549.29	0.61±0.17	0.41	250.10
	荒草地	607.35±6.39	0.24	143.33	0.69±0.17	0.21	144.90
	灌木林地	235.65±3.87	0.33	77.76	0.88±0.17	0.13	114.40
0807—0808	坡耕地	73.96±2.21	4.80	355.00	1.35±0.18	0.13	175.50
	荒草地	970.64±8.14	0.17	165.00	0.71±0.17	0.07	49.70
	灌木林地	643.68±7.56	0.16	103.63	0.83±0.17	0.05	37.40
0904	坡耕地	124.27±3.58	2.49	309.43	0.56±0.17	0.07	39.80
	荒草地	0	0	0	0.51±0.17	0.05	23.00
	灌木林地	0	0	0	0.81±0.17	0.03	23.50
0919—0921	坡耕地	158.26±2.84	—	—	1.23±0.17	0.28	348.10
	荒草地	0	0	0	1.70±0.17	0.22	374.00
	灌木林地	0	0	0	1.20±0.17	0.13	156.00

2.3 侵蚀泥沙中⁷Be的含量

侵蚀泥沙中⁷Be含量测定结果如表 2 所示,不同径流小区侵蚀泥沙中都含有大量的⁷Be,在次降雨过程中,荒草地小区侵蚀泥沙中⁷Be含量最大,灌木林地次之,坡耕地小区由于侵蚀量较大导致⁷Be含量最小,但是由于荒草地和灌木林地小区侵蚀量很少,次降雨过程随泥沙流失掉的⁷Be量坡耕地小区最大;从不同次降雨来看,侵蚀量是影响侵蚀泥沙中⁷Be含量的主要因素,侵蚀量小,只发生面蚀,侵蚀泥沙⁷Be含量相对较高,反之泥沙中⁷Be含量变小。

研究区雨季前后背景值样点⁷Be的质量浓度在 8.0~20.3 Bq/kg 之间,不同时间小区侵蚀泥沙中⁷Be含量都大于背景值样点的质量浓度。之所以出现这种情况,对荒草地小区和灌木林地小区来说,是由于侵蚀量非常少,侵蚀泥沙主要是晴天的黄土降尘和地表含有高有机质的细粒物质及一些半分解的植物根

茎叶碎末,它们本身有很强的吸附性,⁷Be含量高,且在澄清过程中也会吸收没有被地表土壤及时吸附的雨水部分⁷Be,所以整个⁷Be含量较高。

坡耕地小区侵蚀量较大,其侵蚀泥沙中⁷Be含量较地表土壤高的原因,下面做专门的讨论。

坡耕地径流小区泥沙中⁷Be含量相对坡面较高原因可能如下:(1)侵蚀过程中出现颗粒分选性,大量细颗粒被冲刷到泥沙池;(2)侵蚀以面蚀为主,主要侵蚀地表最表层的土壤,细沟侵蚀的贡献率小;(3)在浑水澄清的过程中泥沙吸附了部分没有被土表及时吸附的雨水中的⁷Be。但是对不同次降雨的侵蚀泥沙和雨季结束后坡面上部、中部和下部的地表土壤(2 cm 内)进行颗粒组成分析,结果如表 3。

从整体上看,与坡面地表土壤相比较,侵蚀泥沙中黏粒含量减少,粉粒含量增大,砂粒含量也有减少的趋势,但不明显。物理性黏粒含量整体上减少,侵

蚀泥沙并没有出现明显的细化现象。根据 Wallbrink 的研究结果, 颗粒越小, 吸附的⁷Be 量越大, 所以侵蚀分选性对研究的侵蚀泥沙中⁷Be 含量的大小影响不

是很明显。侵蚀泥沙中⁷Be 含量较大的原因只能是后 2 个, 但从侵蚀量的角度考虑, 侵蚀类型是主要影响因素。

表 3 坡耕地小区坡面表土和侵蚀泥沙的颗粒分析

样品类型	采样点	采样时间	黏粒/ %	粉粒/ %	砂粒/ %	物理性黏粒/ %
坡耕地小区	坡上部	1022	15.13	64.74	20.13	34.70
	坡中部	1022	15.19	67.30	17.50	34.71
	坡下部	1022	15.34	67.77	16.89	35.15
	平均值		15.22	66.67	18.11	34.84
侵蚀泥沙		0727	14.82	69.27	15.91	33.95
	沉沙池	0808	12.74	67.51	19.75	31.15
		0905	9.71	68.99	21.30	27.16
		0922	14.34	66.60	19.06	32.61
	平均值		13.20	68.19	18.61	31.66

2.4 径流、泥沙中⁷Be 比例的探讨

研究发现单位体积径流中⁷Be 含量相对较小, 但是对于次降雨过程来说, 随径流流失的⁷Be 量比较大, 利用⁷Be 示踪模型计算的土壤侵蚀速率就会偏大。由于荒草地和灌木林地小区几乎没有发生土壤侵蚀, 侵蚀泥沙量很少, 对其径流、泥沙中⁷Be 分配比例的探讨没有实际的意义。对坡耕地小区而言, 径流系数大, 侵蚀量高, 不同次降雨径流中⁷Be 的量占从小区中流失总量的 11%~33%, 由此数据可知径流中⁷Be 对整个示踪结果的影响很大。因此在利用⁷Be 示踪模型计算土壤侵蚀速率时, 引入随径流流失系数是很必要的。

3 结 论

(1) 径流中⁷Be 含量的变异性较大, 平均为 0.92 Bq/L, 变异系数为 0.4; 不同次降雨过程中, 同一类型和不同类型小区径流中⁷Be 含量无明显的规律性; 从整体上看, 长历时小强度的阴雨产生的径流中⁷Be 含量较高。

(2) 次降雨过程中, 荒草地侵蚀泥沙含⁷Be 量最大, 灌木林地次之, 坡耕地小区最小, 主要受侵蚀量的影响。整体上看侵蚀泥沙中⁷Be 含量远大于地表, 可能是由于径流中⁷Be 的贡献和侵蚀泥沙主要是地表土壤的缘故, 经分析发现在研究小区侵蚀泥沙中⁷Be 含量与侵蚀颗粒分选性的关系不明显。

(3) 耕地小区不同次降雨径流中⁷Be 的量占从小区中流失总量的 11%~33%, 对示踪的结果影响较大, 在利用示踪模型计算土壤侵蚀速率时, 很有必要考虑径流中的⁷Be 含量。

对于泥沙和径流中⁷Be 含量问题的研究, 还存在不少的问题, 尤其是径流, 在径流定义、样品处理等方面还不够完善, 同时观测周期较短, 所得数据较少, 只是做了初步的探索, 因此这方面的研究还有待进一步的加强。

[参 考 文 献]

- [1] Blake W H, Walling D E, He Q. Using cosmogenic Beryllium-7 as a tracer in sediment budget investigations [J]. Geogr Ann, 2002, 84A(2): 89-102.
- [2] Walling D E, He Q, Blake W H. Use of Be-7 and Cs-137 measurement to document short and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land[J]. Water Resource Res, 1999, 35(2): 3865-3874.
- [3] 白占国, 万国江, Santschi P H, 等. 宇宙线散落核素⁷Be 在山区表层土中的分布特征及侵蚀示踪原理[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 266-275.
- [4] 白占国, 万国江, 王长生, 等. 黔中岩溶山区表土中⁷Be 的分布特征及其侵蚀示踪研究[J]. 自然科学进展, 1997, 7(1): 66-74.
- [5] Wallbrink P J, Murray A S. Use of fallout radionuclides as indication of erosion processes[J]. Hydrological Processes 1996, 32(2): 467-476.
- [6] 杨明义, 刘普灵, 田均良, 黄土高原农耕地坡面侵蚀过程的⁷Be 示踪试验研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 28-30.
- [7] 张信宝, 冯明义, 张一云, 等. 川中丘陵区⁷Be 在土壤中的分布和季节性本底值[J]. 核技术, 2004, 27(11): 873-876.
- [8] Bloom N, Crecelius E A. Solubility behavior ⁷Be in the marine environment[J]. Marine Chemistry, 1983, 12(4): 323-331.

(部分参考文献略)