

雨强和土地利用方式对豫西南山区 有机质流失的影响

李中原¹, 王国重², 屈建钢³, 徐建昭³, 闫东锋⁴

(1. 河南省水文水资源局, 河南 郑州 450003; 2. 黄河水文水资源科学研究院, 河南 郑州 450004;
3. 河南省水土保持监督监测总站, 河南 郑州 450008; 4. 河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002)

摘要: [目的] 研究丹江口水库水源区不同降雨强度和土地利用方式对土壤中有有机质流失的影响, 为该区域的面源污染和水土流失防治提供依据。[方法] 通过人工模拟降雨试验, 以豫西南山区 5 种常见土地类型的表层土壤为研究对象, 应用双因素方差分析, 研究雨强和土地利用方式对土壤中有有机质的影响。[结果] 雨强对径流中有有机质的流失影响显著, 雨强越大流失量也越大, 而土地类型对其影响不大; 泥沙中的有机质流失量受雨强和土地类型的影响均显著, 随雨强增加而增大; 农用地(梯田和坡耕地)中随泥沙流失的有机质含量较高, 林草地则低; 分别对径流和流失泥沙中的有机质含量与雨强作回归分析, 均显示出多项式拟合效果最好(除灌草地的泥沙拟合外)。[结论] 梯田作为一种水保措施, 能够保持养分和水土流失, 因此其土壤中富集的养分也最多; 林草地土壤结构较好, 能够减缓土壤侵蚀, 因而流失的养分也较少。

关键词: 人工降雨; 雨强; 有机质; 土地利用; 方差分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0029-05

中图分类号: S157

文献参数: 李中原, 王国重, 屈建钢, 等. 雨强和土地利用方式对豫西南山区有机质流失的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 029-033. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.005; Li Zhongyuan, Wang Guozhong, Qu Jiangang, et al. Effects of rainfall intensity and land use on organic matter loss in southwest coteau of He'nan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 029-033. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.005

Effects of Rainfall Intensity and Land Use on Organic Matter Loss in Southwest Coteau of He'nan Province

LI Zhongyuan¹, WANG Guozhong², QU Jiangang³, XU Jianzhao³, YAN Dongfeng⁴

(1. Hydrology and Water Resources Bureau in He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450003, China;
2. Hydrology and Water Resources of Yellow River Scientific Research Institute, Zhengzhou, He'nan 450004, China; 3. Soil and Water Conservation Supervision and Inspection Station in He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450008, China; 4. College of Forestry He'nan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the effects of rainfall intensity and land use on loss of organic matter in southwest coteau in Danjiangkou reservoir catchment and to provide help for preventing and controlling non-point source pollution and soil erosion of the region. [Methods] Artificial rainfall experiments, two-factor variance analysis method was adopted to investigate nutrient loss in different land use types in Danjiangkou reservoir catchment and the topsoil samples were collected from five common land use types to analyze the organic matter under six levels of rainfall intensity. [Results] (1) The rainfall intensity had significant effects on the loss of organic matter in runoff while land use types had little impact on it, the higher the rainfall intensity is, the more the organic matter loss. (2) Both rainfall intensity and land types had obvious influence on the organic matter content in sediment, increasing with the increase of rainfall intensity. The organic matter content in the sediment from farmland (terraces and hilly land) was higher

收稿日期: 2016-03-12

修回日期: 2016-07-07

资助项目: 河南省科技攻关计划“基于分形理论的丹江口水库水源区农业面源污染研究及防治措施”(GG201412), “河南省丹江口水库水源区水土保持与非点源污染特征研究”(GG200901)

第一作者: 李中原(1964—), 男(汉族), 河南省郑州市人, 硕士, 教授级高级工程师, 从事水土保持方面的工作。E-mail: lizy0723@163.com。

than that from forest and grass land, which indicated the better effects of soil and water conservation of forest and grass land. (3) The regression analysis between the organic matter content in runoff and sediment with rainfall intensity showed that polynomial fitting gives best performance (except sediment fitting of shrubby grassland). [Conclusion] The most nutrients were rich in terraces soil, which could keep the nutrients and soil as a kind of soil conservation measures. Less nutrients were lost in woodland and grassland because of their better soil structure, which could reduce nutrient loss and soil erosion.

Keywords: artificial rainfall; rainfall intensity; organic matter; land use; variance analysis

降雨是坡地产流产沙的先决条件,伴随着土壤侵蚀,附着在土壤颗粒表面的各种养分必然会随之流失^[1]。土壤中养分的流失量除了与降雨因素有关,还受土地利用类型的影响^[2-5]。近年来国内外学者从降雨强度、土地利用方式、耕作措施等方面对土壤中养分的流失进行了大量研究^[6-10]。其中,通过人工模拟降雨方法来研究土壤养分流失规律已成为一种重要研究手段,该方法不仅能够检验天然降雨条件下得出的研究结论,还可以加快研究进程,提高工作效率,在短时间内获得大量资料,而且易于控制,使研究的问题标准化、具体化^[11-13]。

丹江口水库是南水北调中线工程的水源区,其水质的好坏与南水北调工程的成败息息相关^[14]。丹江口水库的水源区因地形地貌、土壤植被、降雨和人为活动等影响,水土流失严重,如不加以控制,流失的土壤中携带的化肥、农药、杀虫剂残留物等污染物一旦进入水库,就会严重影响丹江口水库的水质安全^[15-16]。本文拟选取河南南阳丹江口水库水源区常见的 5 种土地利用类型作为研究对象,使用中国科学院水土保持研究所的室内人工模拟降雨设备,研究不同降雨强度和土地利用方式对土壤中有机质流失的影响,旨在为该区域的面源污染和水土流失防治提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于河南省南阳市西部,涉及西峡、淅川、内乡、邓州 4 个市(县),属于丹江口水库水源区。北边为海拔 1 000 m 以上的中山区,山高坡陡;南边为丹江口水库库区及环库丘陵垄岗区,地形破碎;中间属浅山区,沟壑纵横,地形十分复杂。该区域属亚热带季风型大陆性气候,多年平均降雨量为 820 mm,降水年内分配不均,60%以上集中于汛期,暴雨集中,强度大,历时短,入渗有限,使得地表径流量较大,再加上山岭起伏,沟壑交错,加剧了水土流失。20 世纪 80 年代以来,该区域以坡改梯、经济林草和坡面蓄排水工程为重点,开展山、水、田、林、路的综合治理,使水土流失得到了一定的控制。

1.2 试验装置与材料

本试验在坡面小区上进行,试验设备由人工降雨模拟装置系统、试验土槽、径流泥沙采样系统、径流量测系统等几个部分组成。人工降雨装置采用厚度为 2 mm 的钢板制作,装置总高度为 1.6 m,装置保持 5° 倾斜。装置上方设有均匀孔径的布水器,降雨高度为 1.05 m,雨强的控制用转子流量计。土槽尺寸 70 cm × 40 cm × 20 cm。径流出口尺寸为 30 cm × 3 cm × 3 cm,径流出口处接流装置为水盆。

人工降雨试验于 2012 年 4—8 月在中国科学院水土保持研究所进行,设计降雨强度为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mm/min。设定雨强为 0.5 mm/min,待填充好一种土壤后,启动模拟降雨装置,等产流时开始计时,每 10 min 取 1 次水样和土样。100 min 后,停止人工降雨,挖出土壤,装入另一种土壤,在同一个雨强下,继续降雨试验。试验过的土壤,置于容器中,自然风干,等待下一个雨强使用。依次测定 5 种土壤在 6 种雨强下的径流和泥沙中有机质的含量。

供试土壤来自丹江口水库水源区研究区 5 种常见的土地类型:乔木林、灌草地、梯田、坡耕地、荒草地。选择这 5 种土地利用方式的代表性样地,分别采集耕层(0—20 cm)的土壤,不过筛,保持原状整体运装回实验室。根据土壤的容重和土槽的面积,计算需要填充的土壤量。填充土壤时,每填充 2.5 cm,压实 1 次,在填充上层土料之前,疏松下层土壤表面,以防土层之间出现分层。

2 结果与分析

2.1 不同雨强和土地利用方式对径流中有机质含量的影响

不同雨强下各种土地利用类型的土壤径流中有机质流失量及其均值见表 1 所示。由表 1 可知:随着雨强的增加 5 种土地类型的土壤径流中有机质的含量也随之增加;当雨强 < 2.0 mm/min 时,5 种用地径流中有机质含量的均值小于 1.0 mg,差异不大;当雨强 ≥ 2.0 mm/min 时,各用地径流中有机质的平均含量急剧增加,超过 2.0 mg;当雨强 ≥ 3.0 mm/min

时,其均值超过 3.5 mg。相同降雨强度下,各种土壤径流中有机质的平均含量虽然略有差异,但差别不是很大,其最大差异不超过 0.55 mg。表 2 中,用 SAS

软件做了雨强和土地利用方式作用下径流中有机质含量的双因素方差分析(置信水平为 0.01),也能说明这一现象。

表 1 不同雨强和土地利用方式下径流中有机质含量

mg

用地类型	不同降雨强度下有机质含量						均值
	0.5 mm/min	1.0 mm/min	1.5 mm/min	2.0 mm/min	2.5 mm/min	3.0 mm/min	
坡耕地	0.518	0.602	1.073	2.155	2.573	4.073	1.832
梯田	0.590	0.609	1.018	2.136	2.682	4.682	1.953
荒草地	0.415	0.482	0.682	2.227	2.018	3.518	1.557
乔木林	0.500	0.590	0.736	1.500	2.500	2.700	1.421
灌草地	0.405	0.409	0.845	2.135	2.580	3.018	1.565
均值	0.486	0.538	0.871	2.031	2.471	3.598	

由表 2 可以看出:雨强对径流中有机质含量的影响显著,其显著性水平为 $P_r < 0.000 1$,极显著;土地利用类型的影响不显著,其显著性水平为 $P_r = 0.065 9$ 。

表 2 径流中有机质流失的双因素方差分析

方差来源	DF	SS	MS	F	$P_r > F$
土地类型	4	1.152	0.288	2.62	0.065 9
降雨强度	5	39.054	7.811	70.98	<0.000 1
误差	20	2.201	0.110		
总和	29	42.407			

2.2 不同雨强和土地利用方式对泥沙中有机质流失量的影响

不同雨强下各种土地利用类型的流失泥沙中的有机质含量见表 3 所示。由表 3 可知:随着降雨强度的增加流失泥沙中有机质的含量也随之增加;当雨强 ≤ 0.5 mm/min 时,各种用地中基本没有泥沙流失,也就谈不上有机质的流失;当雨强 ≥ 1.0 mm/min

时,各种用地流失泥沙中有机质的平均含量都超过 1.60 mg;雨强 ≥ 1.5 mm/min 时,其有机质流失量也急剧增加,当雨强达到 2.5 mm/min 时,有机质的平均流失量几乎达到 6.0 mg;雨强 ≥ 3.0 mm/min 时,流失的泥沙更为明显,有机质的流失超过 14 mg。

比较表 1 和表 3,泥沙中的有机质含量要高于径流,说明有机质主要是被泥沙颗粒所吸附。这是因为:土壤养分流失与土壤流失是同时发生的,土壤流失首先是细颗粒的流失,细颗粒泥沙对养分具有较强的吸附作用,从而导致了养分流失的富集现象^[17-18]。不同雨强下,5 种用地泥沙中有机质的含量差异较大,由高到低依次是:梯田>坡耕地>荒草地>乔木林>灌草地,这也说明梯田作为一种水保措施,能够保持养分和水土流失,因此其土壤中富集的养分较多;当地一般施用的是复混肥,因此坡耕地中有机质含量丰富;林草地的土壤结构较好,能够减缓养分流失和土壤侵蚀。

表 3 不同雨强和土地利用方式下泥沙中有机质流失量

mg

用地类型	不同降雨强度下有机质流失量						均值
	0.5 mm/min	1.0 mm/min	1.5 mm/min	2.0 mm/min	2.5 mm/min	3.0 mm/min	
坡耕地	0.000	3.072	6.572	8.571	9.857	22.857	8.488
梯田	0.000	3.429	7.146	11.086	10.571	34.929	11.194
荒草地	0.000	1.571	3.571	4.357	9.429	12.143	5.179
乔木林	0.000	0.050	0.050	0.050	0.070	0.143	0.061
灌草地	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
均值	0.000	1.624	3.468	4.813	5.985	14.014	

雨强和土地利用类型对流失泥沙中有机质含量的双因素方差分析详见表 4。由该表可以看出:雨强和土地利用类型对流失泥沙中有机质含量的影响都极显著(置信水平为 0.01),其显著性水平分别为 $P_r = 0.009 5, 0.005 2$ 。

表 4 流失泥沙中有机质含量的双因素方差分析

方差来源	DF	SS	MS	F	$P_r > F$
土地类型	4	599.736	149.934	5.14	0.005 2
降雨强度	5	605.031	121.006	4.15	0.009 5
误差	20	583.777	29.189		
总和	29	1788.544			

2.3 雨强对有机质流失量的回归分析

研究表明:降雨强度与有机质流失量之间存在着一定的相关性,用多项式拟合效果较好^[19-21]。用Excel

软件对模拟降雨过程中不同土地类型的地表产流和流失泥沙中的有机质含量与相应的雨强进行拟合,拟合方程详见表 5 所示。

表 5 径流和流失泥沙中有机质含量与雨强的拟合分析

土地类型	径流		泥沙	
	拟合方程	决定系数	拟合方程	决定系数
坡耕地	$Y_r=0.490 6x^2-0.301 6x+0.5$	0.982 7	$Y_s=2.9131x^2-2.388 1x+1.621 6$	0.914 2
	$Y_r=1.415 4x-0.644 7$	0.923 5	$Y_s=7.807 9x-5.175 7$	0.851 0
	$Y_r=1.806 9\ln x+1.103 4$	0.755 3	$Y_s=10.114\ln x+4.408 4$	0.716 5
梯田	$Y_r=0.746 6x^2-1.024 8x+0.915 3$	0.983 1	$Y_s=6.265 5 x^2-10.5x+5.811 9$	0.865 9
	$Y_r=1.588 4x-0.826 9$	0.879 5	$Y_s=11.429x-8.807 6$	0.746 3
	$Y_r=1.985 4 \ln x+1.151 9$	0.689 6	$Y_s=14.37\ln x+5.396 8$	0.592 0
荒草地	$Y_r=0.394 9x^2-0.144 1x+0.311 7$	0.914 5	$Y_s=1.2859x^2+0.360 7x-0.328 5$	0.978 1
	$Y_r=1.238 2x-0.609 8$	0.867 4	$Y_s=4.861 4x-3.329$	0.942 9
	$Y_r=1.584 2\ln x+0.918$	0.712 5	$Y_s=6.337 7\ln x+2.621 9$	0.804 2
乔木林	$Y_r=0.283 3x^2+0.008 2x+0.332 6$	0.947	$Y_s=0.0139x^2-0.004 5x+0.015 5$	0.829 7
	$Y_r=0.999 7x-0.328 4$	0.908 1	$Y_s=0.044 3x-0.017$	0.788 1
	$Y_r=1.279 5\ln x+0.904 8$	0.746 6	$Y_s=0.059 1\ln x+0.036 7$	0.704 2
灌草地	$Y_r=0.157 6x^2+0.641x+0.153 8$	0.941 8	$Y_s=0.000$	0
	$Y_r=1.192 5x-0.501 5$	0.933 2	$Y_s=0.000$	0
	$Y_r=1.563 5\ln x+0.934 6$	0.805 1		

注: Y_r 为径流中的有机质含量(mg); Y_s 为泥沙中的有机质含量(mg); x 为雨强(mm/min)。

表 5 采用了 3 种方式对径流、流失泥沙中的有机质含量进行拟合:线性、对数、二次多项式。各种土地类型中的拟合方程,都显示随着雨强的增大,径流和泥沙中有机质的流失量也随之增加;灌草地的流失泥沙含量极少,除此之外,其他土地类型的径流和泥沙数据均显示出多项式拟合效果最好。

3 讨论与结论

人工降雨试验是研究土壤侵蚀和养分流失的重要途径。纵观国内外,主要通过这种试验来研究降雨对某种类型土壤中养分流失的影响、比较不同土地利用方式下养分流失特征、雨强和土地利用对特定区域水土流失的影响,将二者相结合研究土壤中养分流失或者面源污染的报道就比较少,针对丹江口水库水源区的则更为鲜见。不同用地类型其土壤结构不同,在不同雨强下养分的流失特征也不同,尤其是峰峦起伏,地形多变,水土流失易发的丹江口水库水源区,本研究对于该地区水土保持措施配置和土地利用规划可以提供理论依据,这也是本研究的意义所在。

本研究选取丹江口水库水源区常见的 5 种用地类型的表层土壤,采用室内人工模拟降雨试验,研究在 6 种雨强下坡耕地、梯田、荒草地、乔木林、灌草地等土壤的径流和流失泥沙中有机质的含量。结果表

明:① 雨强对径流中有机质的流失影响显著,雨强越大土壤流失量也越大,而土地类型对其影响不大;② 泥沙中的有机质流失量受雨强和土地类型的影响均显著,随雨强增加而增大;农用地(梯田和坡耕地)中随泥沙流失的有机质含量较高,林草地则低;③ 分别对径流和流失泥沙中的有机质含量与雨强作回归分析,均显示出多项式拟合效果最好(除灌草地的泥沙拟合外)。

通过前面的分析和研究结果,不难发现坡改梯工程和退耕还林还草是丹江口水库水源区的必然选择,梯田作为一种水土保持措施,能够保持养分和水土流失,因此其土壤中富集的养分也最多;林草地土壤结构较好,能够减缓土壤侵蚀,因而流失的养分也较少。

[参 考 文 献]

- [1] 吕兴娜,尚佰晓,王莉.降雨对坡面产沙及土壤养分流失的影响研究[J].干旱环境监测,2011,25(1):18-23.
- [2] 赵护兵,刘国彬,曹清玉,等.黄土丘陵区不同土地利用方式水土流失及养分保蓄效应研究[J].水土保持学报,2006,20(2):20-25.
- [3] 武卫国,胡庭兴,唐天云,等.华西雨屏区 5 种坡地利用方式产流产沙与养分流失特征[J].水土保持学报,2007,21(4):38-42.
- [4] 赵护兵,刘国彬,吴瑞俊.黄土丘陵区不同类型农地的养

- 分循环平衡特征[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 58-64.
- [5] 张丽娟, 毕淑芹, 袁丽金, 等. 不同土地利用方式土壤侵蚀与养分流失的模拟试验[J]. 林业科学, 2007, 43(S1): 17-21.
- [6] 高杨, 宋付朋, 马富亮, 等. 模拟降雨条件下 3 种类型土壤氮磷钾养分流失量的比较[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 15-19.
- [7] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同施肥水平下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素径流特征[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 518-523.
- [8] Smith K A, Jackson D R, Pepper T. Nutrient losses by surface runoff following the application of organic manures to arable land: Nitrogen[J]. Environmental pollution, 2001, 112(1): 41-51.
- [9] 王辉, 王全九, 邵明安. 人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 39-44.
- [10] 林超文, 陈一兵, 黄晶晶, 等. 不同耕作方式和雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2241-2249.
- [11] 孙飞达, 蒋志荣, 王立. 不同降雨强度下农地的产流产沙研究[J]. 甘肃科学学报, 2005, 17(1): 53-56.
- [12] 徐向舟, 刘大庆, 张洪武, 等. 室内人工模拟降雨试验研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 52-58.
- [13] 李广, 黄高宝. 模拟降雨与水土流失试验研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(4): 443-445.
- [14] 汪兴中, 蔡庆华, 李凤清, 等. 南水北调中线水源区溪流生态系统健康评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 2086-2090.
- [15] 白丹, 王玮, 孙健, 等. 南水北调中线水源区水土保持生态建设探析[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2010, 40(2): 348-350.
- [16] 尹炜, 史志华, 雷阿林. 丹江口水库水环境问题分析研究[J]. 人民长江, 2011, 42(13): 90-94.
- [17] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. GIS 支持下三峡库区典型小流域土壤养分流失量预测[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 9-12.
- [18] 余雕, 吴发启. 坡耕地侵蚀泥沙养分富集规律研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(3): 29-31.
- [19] 马琨, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16-19.
- [20] 郭树宏, 王菲凤, 吴春山, 等. 山仔水库典型样地次降雨径流过程磷流失特征研究[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(3): 95-99.
- [21] 余长洪, 李就好, 陈凯, 等. 强降雨条件下砖红壤坡面产流产沙过程研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 7-10, 54.

(上接第 28 页)

- [10] 杨克君, 刘兴年, 曹叔尤, 等. 植被作用下的复式河槽流速分布特性[J]. 力学学报, 2006, 38(2): 246-250.
- [11] 李波, 柏青, 李春生, 等. 植物柔性坝布置方式对水流的影响[J]. 水电能源科学, 2014, 32(3): 118-121.
- [12] 闫静, 唐洪武, 田志军, 等. 植物对明渠流速分布影响的试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2011(4): 138-142.
- [13] 惠二青, 江春波, 潘应旺. 植被覆盖的河道水流纵向流速垂向分布[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2009, 49(6): 834-837.
- [14] 罗宪, 房春艳, 单钰淇, 等. 植物特性对复式河槽流速分布影响的试验研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 466-469.
- [15] 张玮, 钟春欣, 应翰海. 草皮护坡水力糙率试验研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(4): 483-489.
- [16] 叶一隆, 朱家民, 陈智谋. 布袋莲对渠槽曼宁系数之影响[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1127-1132.
- [17] 李怀恩, 杨方社, 张日俊, 等. 沙棘柔性坝对水流影响的野外试验研究[J]. 水力发电学报, 2009, 28(1): 124-129.
- [18] Wang Chao, Zheng Shasha, Wang Peifang, et al. Interactions between vegetation, water flow and sediment transport: A review[J]. Journal of Hydrodynamics: Ser. B, 2015, 27(1): 24-37.
- [19] 杨方社, 李怀恩, 曹明明, 等. 基于 PIV 技术的沙棘柔性坝影响下水流表面流速沿程变化特性试验分析[J]. 试验流体力学, 2011, 25(1): 59-64.
- [20] 李大美. 水力学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [21] 杨方社, 李怀恩, 杨寅群, 等. 沙棘植物对水流表面流速横向分布影响的 PIV 野外试验[J]. 水力发电学报, 2011, 30(3): 132-137.
- [22] 杨方社, 李怀恩, 曹明明. 沙棘植物柔性坝糙率系数的野外水流试验[J]. 水土保持通报, 2011, 34(4): 94-98.