

降雨侵蚀力对河岸滩区耕地土壤养分流失的影响

孟红旗, 赵同谦

(河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454010)

摘要: 河岸滩区的人类农业活动最为直接地影响着河流的水文生态。自 1997 年小浪底水利枢纽工程成功截流以来, 下游孟津扣马黄河滩区 1 955 hm² 的天然滨河湿地有 72 % 常年出露。为当地农业开发提供了原生动力。在 10 a 期间滩区的土地利用状况也发生了明显的改变, 其中 28.8 % 转变成鱼塘—荷花塘等人工湿地, 39.8 % 转变成小麦—棉花等旱地农作物, 剩下的 328 hm² 的河床湿地因受农业活动的影响, 正发生着严重的退化和萎缩。通过野外定位观测, 对孟津黄河滩区河岸耕地土壤养分随降雨径流流失的特征进行了研究。研究表明, 次降雨侵蚀力 (R) 是影响径流量和土壤养分流失的重要因素。在弱侵蚀力下, 产生的径流以蓄满产流为主; 当降雨侵蚀力大于 19.0, 产生的径流以超渗产流为主。径流土壤养分流失量与次降雨侵蚀力之间存在明显的二次曲线关系。根据滩区土壤的渗透特征, 在次降雨侵蚀力 $R = 10.0 \sim 45.0$ 之间的中等强度降雨将产生较为严重的土壤养分流失。并强调河岸带的水土保持工作应亟待加强。

关键词: 河岸带; 次降雨侵蚀力; 径流; 养分流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0028-04

中图分类号: S157.1, X522

Nutrient Loss From Riparian Cultivated Land Under Different Rainfall Erosivity

MENG Hong-qi, ZHAO Tong-qian

(Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454010, China)

Abstract: Agricultural activities in riparian directly influence fluvial hydrology and ecology. Since the Yellow River was dammed up by the Xiaolangdi hydro-junction in 1997, 72 % of the 1 955 hm² riparian wetlands have been appearing perennially in Kouma floodplain of Mengjin County, which offers the primary motivation for local agricultural development. The land use type changed remarkably in the past 10 years. 28.8 % of riparian wetlands changed into the created wetlands, for example, fish ponds or lotus fields and 39.8 % of riparian wetlands changed into dryland farms for wheat or cotton cultivation. 328 hm² remained natural wetlands have been degrading and shrinking severely because of agricultural activities. Based on the field experiments, the characteristics of nutrient loss by runoff in Mengjin riparian dryland farming are analyzed. Results show that rainfall erosivity (R) is an important factor to the amounts of runoff and nutrient loss. Under the condition of low rainfall erosivity, runoff is generated from overflow mostly and however, under the condition of $R > 19.00$, runoff is generated from over-infiltration mostly. There are conic relationships between nutrient loss and rainfall erosivity. Under the condition of moderate rainfall intensity ($R = 10.0 \sim 45.0$), nutrient loss may be severe due to the characteristics of infiltration in Kouma floodplain. So, soil and water conservation in riparian should be strengthened imperatively.

Keywords: riparian area; single rainfall erosivity; runoff; nutrient loss

按照美国通用土壤流失方程 (USLE), 降雨侵蚀力值 (R) 表征单位面积上降雨雨滴冲击地面的总动能 (E) 与降雨强度 (I) 的乘积, 是反映降雨侵蚀土壤潜在能力的一个重要指标^[1]。在降雨的溅蚀下, 土壤养分由固相吸附态转变成液相溶解态, 一方面伴随着

泥沙颗粒物形成地表径流进行水平迁移而流失; 另一方面通过优先流通道^[2]下渗到土壤深处, 进而形成地下径流而流失。对于前者, 国内外学者^[3-6]通过自然降雨或模拟降雨过程, 对降雨量 (P) 和降雨强度 (I) 所影响的土壤养分流失状况进行了大量的研究, 也有

收稿日期: 2008-05-06

修回日期: 2008-09-24

资助项目: 国家青年科学基金项目“滨河湿地生态系统服务功能机制及恢复理论研究”(30570276)

作者简介: 孟红旗(1979—), 男(汉族), 河南省焦作市人, 讲师, 主要从事水环境与水资源方面的研究工作。E-mail: mengborse@sohu.com。

通信作者: 赵同谦(1969—), 男(汉族), 河北省石家庄市人, 教授, 主要从事生态系统服务功能和恢复生态学方面的研究工作。E-mail: zhaotq@hpu.edu.cn。

学者从降雨侵蚀力值(R)的角度考虑^[7],发现颗粒态氮、磷流失随降雨侵蚀力的增大而增大,而溶解态氮、磷流失与降雨侵蚀力无明显相关;对于后者,由于下渗流通过不同层面土壤的过程模拟非常复杂,因而相关研究资料非常有限。河岸带是水陆生态系统的交界面,具有廊道、缓冲带和护岸^[8]等重要的水文生态功能。近年来,受到黄河小浪底水利枢纽和农业开发的影响,枢纽下游河岸滩区的自然湿地生态系统迅速萎缩。在缺乏河岸带的缓冲保护下,河岸区因降雨造成的水土流失和土壤养分流失直接进入河流水体,进而对河流水质产生重要的影响。

本研究通过建立标准径流观测场,对 2006—2007 年孟津黄河滩区几次强降雨过程进行监测,进而对自然降雨条件下,因降雨侵蚀力的差异对河岸滩区耕地的土壤养分流失状况进行了初步研究,研究结果对河岸区的农业生态保护具有现实意义。

1 试验设计与方法

1.1 试验区概况

野外定位试验设在河南省洛阳市孟津县会盟镇扣西村的河漫滩上(东经 112°45′07″—112°47′30″,北纬 34°47′54″—34°50′00″),海拔 109~117 m,平均坡

降 0.15%,区内年降雨量 400~605 mm,蒸发量 1 400~1 800 mm。滩区由河心滩并入南岸发育而成,总面积 1 955 hm²,土地利用类型包括鱼塘—荷花塘人工湿地、小麦等旱地作物、人工林地、自然湿地等(2005 年数据)。区域土壤属湿潮土,有机质、全氮、全磷含量分别为 1.03~14.84 mg/g,0.03~0.67 mg/g,33.1~82.93 μg/g。

1.2 降雨和径流观测

降雨量观测采用虹吸式自记雨量计,蒸发量观测采用 601 小型蒸发器,均安装在扣西村农户房顶,地势较高、且周围无干扰物。在靠近河岸的小麦—大豆地设置 1 组平行 3 个标准径流场(5 m×5 m)和相应的径流收集池。2006 年 5 月—2007 年 9 月期间,对区域降雨量—蒸发量进行连续监测(图 1),并对几次强降雨过程的径流进行动态观测。在降雨后 6~10 h 内对径流收集池内的径流进行混匀采样和测量。现场量测径流量、pH 值和电导率,一部分样品直接经 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,将滤膜带回实验室,采用重量法测量径流颗粒物;另一部分样品加酸调节 pH < 2.0 后,带回实验室通过 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,测量滤液的全磷、全氮和高锰酸盐指数。所有物化监测指标均采用现行国标 A 类测定方法进行测定^[9]。

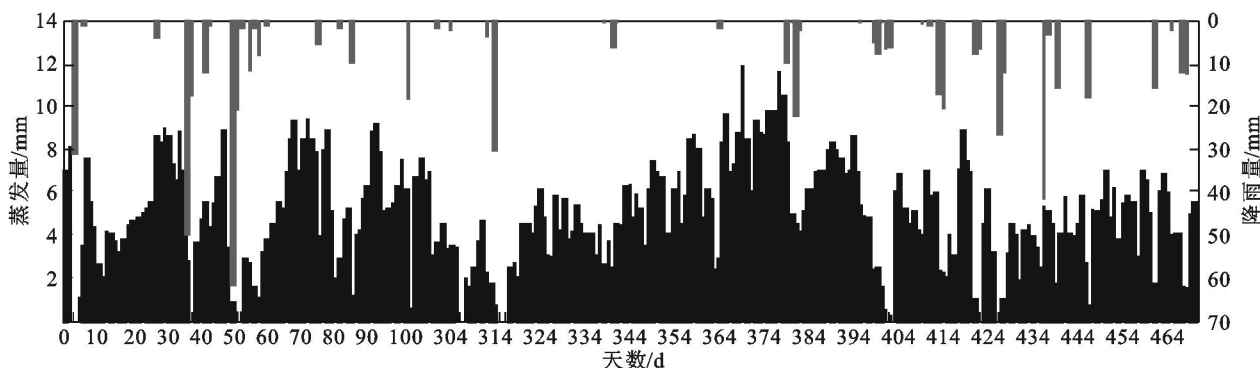


图 1 2006—2007 年降雨—蒸发量观测结果(注:横坐标起始日期为 2006-05-22)

1.3 降雨侵蚀力值的统计^[10]

降雨侵蚀力是一场降雨的全部动能(E)及其 10 min 内最大降雨强度(I_{10})的乘积,单位为 $100(\text{m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。将一次降雨过程根据雨强划分为若干时段,采用 $E = 210.35 + 89.04 \cdot \lg I$ (式中 I 为时段雨强,单位是 cm/h)分别计算各时段降雨的动能 E ,然后累加得该次降雨的总动能,再由公式 $R = E \cdot I_{10}$,计算次降雨侵蚀力值。

2 结果分析

2.1 降雨—径流观测结果

对实验期间有明显径流产生的 7 次降雨过程进

行动态观测,对次降雨量、10 min 最大降雨强度、降雨侵蚀力、径流量、颗粒物流失量、有机质流失量、全氮流失量、全磷流失量进行统计计算(表 1)。

2.2 降雨侵蚀力与径流量的关系

降雨产流存在 2 种形式^[11]:超渗产流和蓄满产流。当降雨强度小于或等于土壤入渗率时不产流,并以降雨强度向下入渗;当降雨强度大于土地入渗率时,则形成超渗产流;当土壤最大蓄水量小于累积入渗量时,则形成蓄满产流。本试验降雨侵蚀力与径流量的关系见图 2。

由图 2 可知,依据降雨侵蚀力值 R ,产流可明显分为 2 种类型:当 R 较小时,径流量并不随之发生显著的

变化,产流以蓄满产流为主;当 R 较大时,径流量与降雨侵蚀力显著正相关,产流以超渗产流为主。通过计算,

滩区形成超渗产流的降雨侵蚀力临界值为 19.0。通过测定,径流场表层土壤饱和渗透系数^[12]为 0.174 mm/min。

表 1 降雨—径流统计信息

降雨事件	次降雨量/ cm	最大雨强/ ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	降雨侵蚀力	径流量 / mm	径流土壤养分流失量/($\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$)			
					颗粒物	有机质	全氮	全磷
2006-06-22	6.80	3.30	41.61	1.69	11 824	274.83	102.67	19.18
2006-07-02	8.44	3.36	54.55	2.38	10 615	177.10	68.60	5.58
2006-09-04	3.00	1.16	6.01	0.41	659	56.17	17.95	1.42
2007-05-30	2.24	2.88	13.79	0.43	10 509	87.59	17.83	9.60
2007-07-04	3.76	1.56	9.75	1.09	6 658	63.26	98.54	7.27
2007-07-19	3.79	1.00	5.91	0.98	2 652	62.73	33.59	4.83
2007-07-30	5.15	3.36	33.34	1.15	6 917	184.71	180.22	24.18

注: 降雨侵蚀力单位为 $100(\text{m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})$; 径流数据取 3 个径流场的平均值。

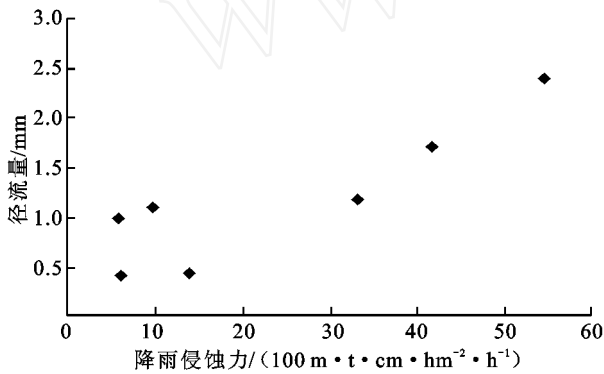


图 2 降雨侵蚀力与径流量的关系

2.3 降雨侵蚀力与径流土壤养分流失量的关系

本试验降雨侵蚀力与径流颗粒物、有机质、全氮和全磷流失量的关系见图 3。

由图 3 可知,降雨侵蚀力显著影响着土壤颗粒及养分的流失量。各物质流失量随降雨侵蚀力存在先升后降的关系,即明显二次曲线关系(表 2)。这是由于在低降雨侵蚀力下,雨滴动能有限,未能对土壤表层产生明显扰动,土壤养分流失状况不明显;在中等强度侵蚀力下,雨滴动能对土壤产生严重溅蚀,对表层土壤产生剧烈扰动,土壤颗粒与径流液充分接触并被挟带,土壤养分流失最为严重;在强的次降雨侵蚀力下,由于地表形成表面超渗径流,从而阻碍了雨滴对土壤的直接溅蚀,径流与土壤颗粒接触的程度和时间反而大大降低,因而土壤养分流失又呈下降趋势。根据滩区土壤的渗透特征,在降雨侵蚀力 $R = 10.0 \sim 45.0$ 之间的中等强度降雨将产生较为严重的土壤养分流失。

3 讨论

3.1 土壤初始含水率和降雨间期对径流量、土壤养分流失量的影响

根据 Smith (1972)^[13]关于降雨积水时间的表达式:

$$t_p = a \cdot i^{-b}$$

式中: t_p ——降雨积水时间; i ——降雨强度; a ——土壤初始含水量和土壤饱和导水率共同影响的常数; b ——常数。

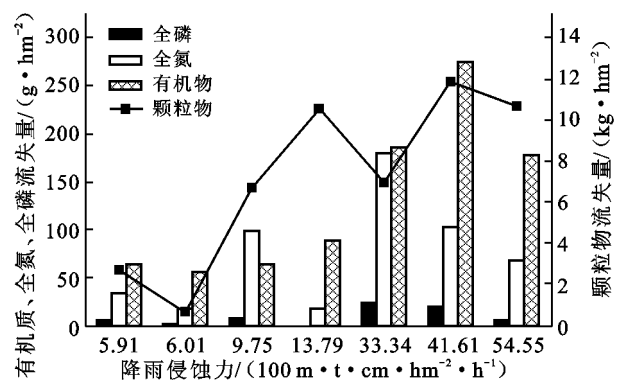


图 3 降雨侵蚀力与土壤养分流失量的关系

表 2 径流土壤养分流失量与降雨侵蚀力的拟合相关

土壤养分流失量/ ($\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$)	拟合曲线	相关性 R^2
颗粒物	$y = - 5.479x^2 + 467.02x + 946.2$	0.604
有机质	$y = - 0.137x^2 + 11.466x - 19.822$	0.871
全氮	$y = - 0.155x^2 + 10.211x - 30.172$	0.592
全磷	$y = - 0.031x^2 + 1.957x - 8.484$	0.948

两次降雨间期增加,土壤初始含水率降低,积水时间被推迟,径流产生量将相对减少。与此相反,2007-07-04 和 2007-07-19 两次降雨前,天气阴沉,常降有小雨,土壤初始含水率偏高(表层土壤含水率 25%~27%,相对其它次降雨偏高 10%~15%),在降雨初期就有径流产生,因而总径流量偏大。

根据城镇降雨径流污染的研究^[14],随降雨间期的增大,污染物在地表的累积时间增大,因而径流污

染物浓度增加,径流污染物总量也会增大。但本研究结果显示,降雨间期对耕地土壤养分流失量的影响并不显著。

3.2 农业耕作制度对径流土壤养分流失量的影响

降雨前的施肥,将会产生明显的土壤养分流失。每年的 6 月底至 7 月初,是玉米、大豆等农作物的幼苗期,需要大量氮素营养物质,如 2007-07-04 降雨前,农田刚追施大量氮肥(如尿素和碳氮),从径流流失情况来看,存在明显的氮素流失,而有机质和磷流失并不突出。

降雨前的土壤扰动则会增加土壤颗粒和磷素的流失,根据调查,2007-05-30 和 2007-07-19 两次降雨前均存在人工土壤扰动。因此土壤颗粒和全磷流失量相对偏高。

3.3 土壤养分流失各指标之间的相关性分析

由表 2 可知,全氮流失与降雨侵蚀力的相关性较差,这是由于在降雨观测期间,存在追施氮肥的过程。通过有机质与全氮、全磷流失量的关系分析得出,有机质与全氮的相关性差,而与全磷的相关性较好,因此分析河滩区耕地全氮的流失形态可能以无机矿物氮^[15]形式为主,而全磷的流失形态可能以有机磷形式为主。

3.4 河岸区耕地的土壤养分流失特征

河岸区土壤由于受到河流水文波动的影响,受水力分选作用相对较大,土壤的导水渗透性能较强,因而径流产生相对微弱,降雨的径流产生量相对偏小,因而土壤养分随地表径流的流失并不是特别严重。但由于河岸区耕地的特殊地理位置,随着河岸天然植被缓冲带的丧失,会使流失的土壤养分随径流直接进入河流水体,对河流水质产生严重影响,因此河岸带的水土保持工作应亟待加强。

4 结论

(1) 孟津黄河滩区降雨产流依据降雨侵蚀力可分为两种产流类型:蓄满产流和超渗产流。在小侵蚀力条件下,径流产生以蓄满产流为主;当降雨侵蚀力大于 19.0,径流产生以超渗产流为主。

(2) 径流土壤养分流失量与降雨侵蚀力之间存在明显二次曲线关系。根据滩区土壤的渗透特征,在降雨侵蚀力 $R = 10.0 \sim 45.0$ 之间的中等强度降雨将产生较为严重的土壤养分流失。有机质和全磷流失量与降雨侵蚀力的二次曲线相关性要优于颗粒物和全氮。

(3) 在降雨前,土壤的初始含水率、肥料追施以

及土壤扰动都会对径流的水、土壤养分流失量产生一定的影响。

(4) 河岸区作为一个特殊的水文单元,具有重要的水文生态功能。该区的农业活动将加剧土壤养分的流失,并随径流直接进入河流水体,对河流生态产生严重的影响,因此河岸区的水土保持工作应亟待加强。

[参 考 文 献]

- [1] 张照录,崔继红.通用土壤流失方程最新研究改进分析[J].地球信息科学,2004,6(4):51-54.
- [2] 程金花,张洪江,史玉虎,等.长江三峡花岗岩区林地优先流影响因子分析[J].水土保持学报,2006,(20)5:28-33.
- [3] Fujieda M. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, Sao Paulo, Brazil [J]. Journal of Hydrology, 1997, 196: 26-46.
- [4] Gaynor J D, Findlay W I. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production [J]. Environmental Quality, 1995, 24: 734-741.
- [5] 肖强,张维理.太湖流域麦田土壤氮素流失过程的模拟研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):731-736.
- [6] 李俊波,华珞.降雨强度与坡度对径流中七种阳离子流失量的影响[J].土壤,2005,37(4):426-432.
- [7] 徐泰平,朱波,汪涛,等.不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地的养分流失[J].水土保持研究,2006,13(6):139-141.
- [8] 黄凯,郭怀成.河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展[J].应用生态学报,2007,18(6):1373-1382.
- [9] 中国标准出版社第二编辑室.中国环境保护汇编:水质分析方法[M].北京:中国标准出版社,2001:180-280.
- [10] 王万忠,焦菊英.黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M].北京:科学出版社,1996:108-120.
- [11] 张丽萍,张妙仙.土壤侵蚀正态模型实验中产流畸变系数[J].土壤学报,2000,37(4):449-455.
- [12] 中华人民共和国林业部中国林业科学研究院林业研究所.中华人民共和国国家标准:森林土壤渗透性的测定(GB 7838-87)[S].北京:中国标准出版社,1988.
- [13] Smith R E. The infiltration envelope: Results from a theoretical infiltrometer [J]. Journal of Hydrology, 1972, 17(1):1-12.
- [14] 任玉芬,王效科.城市不同下垫面的降雨径流污染[J].生态学报,2005,25(12):3225-3230.
- [15] Gulley P A, Hore F R. Pollution potential and corn yields from selected rates and timings of liquid manure applications[J]. Transaction of ASAE, 1981, 24(1):139-144.