

河岸带耕地降雨径流产流特征分析

孟红旗, 赵同谦, 徐华山, 曾繁复

(河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454010)

摘要:在孟津黄河漫滩的河岸带上开展了野外定位观测,研究了自然降雨情况下,河岸林地转变成农耕地前后降雨地表径流产流的污染特征。结果表明,河岸滩区具有较强的土壤入渗能力,径流产流的次降雨量临界值为 20 mm;滩区径流系数相对偏小:耕地平均 3.5%,林地平均 2.0%;在耕地开垦初期,由于雨滴的直接溅蚀,表土存在“板结”现象,径流系数增加较为明显。河岸滩区的降雨径流呈弱碱性($\text{pH}=8.0\sim 9.5$),且盐分含量偏高;耕地径流和林地径流水质的差异表现在耕地径流具有较低的高锰酸盐指数和总氮含量;由于耕地的径流产生量明显大于林地,耕地径流的污染物(土壤颗粒物、有机物、总氮和总磷)产生总量约是林地径流的 1.5~3.0 倍。土壤翻动后的首次降雨通常会引起耕地较平时 5~10 倍的土壤颗粒物和总磷流失。林改耕后,径流颗粒物和总磷含量较参照耕地平均增加 3 倍,成为滨河漫滩农田开垦初期的应首要控制的污染物。河岸滩区在河岸缓冲、屏障和面源污染物削减方面具有重要的水文生态功能,因此在河岸滩区的开发进程中,应注重加强对原生河岸带的生态保护与管理。

关键词:河岸带;耕地;降雨径流;污染特征

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)04-0749-06

Research on the Characteristics of the Rainfall Runoff in Riparian Farmland

MENG Hong-qi, ZHAO Tong-qian, XU Hua-shan, ZENG Fan-fu

(Resource & Environment Institute, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, 454010, China)

Abstract: On the basis of field experiments in Mengjin floodplain of Yellow River, the characteristics of the pollution in runoff generating under the natural rainfall circumstances were researched in riparian farmland, which had been changed from woodland. The results showed that the riparian floodplain had strong soil infiltration capacity; The critical value of rainfalls that runoff occur observably was 20 mm; The runoff coefficient was small comparatively; an average of 3.5% in farmland and an average of 2.0% in woodland. The soil harden phenomenon occurred on the surface soil because of the direct splash erosion of raindrop, so the runoff coefficient increased observably early in the cultivation of farmland. The runoff in riparian floodplain was weak alkaline ($\text{pH} = 8.0\sim 9.5$) and high levels of salt. Runoff in farmland had lower levels of permanganate index and total nitrogen than that in woodland. Because runoff generating in farmland was more than that in woodland, the gross pollutants (soil particles, organic matter, nitrogen and phosphorus) in farmland runoff was about 1.5~3.0 times more than that in woodland runoff. The first rainfall behind the surface soil being stirred for cultivation would result in 5~10 times of the soil particles and the total phosphorus loss via runoff than the usual. After the riparian woodland had been changed into farmland, the soil particles and the total phosphorus loss via runoff increased largely, which were averagely three times more than before, so the soil particles and the total phosphorus are the chief pollutants, which should be controlled strictly early in the riparian reclamation. Because of the important bio-hydrology functions in riparian such as riparian buffer, barrier and cutting the non-point source pollution, the ecological protection and management of the original riparian should be reinforced.

Keywords: riparian; farm; runoff; pollution characteristics

河流流经平原发育成大面积的滨河漫滩湿地,具有洪水调蓄、水源涵养和生物多样性等水文生态

功能^[1-2]。随着社会的发展,尤其是建国后,我国大片的滨河漫滩湿地被开发成农耕地,湿地生态系统结构和生态过程遭到严重破坏,导致洪水调蓄能力下降,水质净化等生态功能减弱或消失^[3]。滨河漫滩湿地全部变成农耕地后,河岸带的廊道、缓冲带和护岸功能^[4-5]尽失,并且直接由污染净化单元转变成面源污染产生单元。同时,由于其特殊的地理位置,产生的面源污染

收稿日期:2008-06-27

基金项目:国家自然科学基金项目(面上项目(30570276))

作者简介:孟红旗(1980—),男,河南焦作人,讲师,主要从事水环境与水资源方面的研究。

通讯作者:赵同谦 E-mail:zhaotq@hpu.edu.cn

物更易进入河流,因此滨河农耕地所产生的面源污染对河流水质的影响更大、更直接。

随着工业点源排放污染物的有效控制与治理,面源污染物已经超过点源污染物^[6-8],成为水体污染与防治的主要对象。在所有的面源污染中,由于农业活动的广泛性及其污染产生机制的复杂性^[9],农业面源污染的产生机制与防治措施研究成为当前研究的热点。国内外研究表明,降雨尤其是一年之中少有的几次强降雨过程,是形成水土流失与农业面源污染的主要天然动力^[10-11]。从系统控制的角度,要减少农业面源污染物进入水体,界面控制是关键,河湖岸带是水生-陆生生态系统交错区,是两系统交汇的界面,因此具有重要的保留意义。资料表明,保留流域面积 1% 的河岸湿地可以削弱整个流域 40% 的总氮负荷^[12]。本文以孟津国家级黄河湿地自然保护区为试验区,通过在河岸带建立标准径流场^[13],探讨对比了天然降雨情况下,河岸带人工林地转变成农耕地前后的地表径流污染产生特征,旨在为滨河区域湿地的农业开发和河岸带的生态管理提供理论依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验场地及装置

野外定位实验地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″),海拔高度 109~117 m,漫滩平均坡降 0.15%,区内年降雨量 400~605 mm,年际变化大。降雨仪和蒸发器安装在扣西村农户房顶,地势较高、且周围无干扰物,降雨量观测采用虹吸式雨量记录仪,蒸发量观测采用 601 小型蒸发器。修建的两组共 6 个径流场(5 m×5 m)和径流收集池(0.75 m³)分别设置在靠近河岸(离河岸距离小于 50 m)的小麦-大豆地(参照耕地)和速生杨树林,杨树林内主要草本植物为野艾蒿(*A. lavandulaefolia* Dc.)、油芒(*Eccoilopus cotulifer*(Thunb.)A. Camus)等,盖度为 65%~70%。实验期内耕地的主要施肥情况是:2006-06-20,2007-06-25 的大豆幼苗期追肥,投加量为 N 80 kg·hm⁻²,P 20 kg·hm⁻²;2006-10-15 的小麦播种底肥,投加量为 N 260 kg·hm⁻²,P 40 kg·hm⁻²。自 2007-05,杨树林被当地村民砍伐种植花生,施肥情况同耕地,原有径流场继续进行观测。

1.2 降雨与径流观测

2006-05—2007-09 期间,对滩区降雨过程进行降雨与径流的观测。通过雨量记录仪对降雨历时、次

降雨量进行统计。在降雨后 6~10 h 内对径流收集池内的径流液混匀后进行采样和分析。现场测量径流量、pH 值、电导率,一部分样品直接带回实验室测量 TSS;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,测量总磷、总氮和高锰酸盐指数。所有监测指标均采用现行国标 A 类测量方法进行测量。

2 结果与讨论

2.1 降雨特征统计与径流量采集

2006-05—2007-09 期间,对 7 次明显的降雨过程进行降雨与径流的观测,如表 1。通过现场观察并结合降雨记录,发现降雨量小于 20 mm 的次降雨过程的径流产生微弱或消失,这是由于滨河漫滩地势平缓,土壤入渗能力强。因此,表 1 中的降雨事件仅是降雨量大于 20 mm 的降雨过程。

表 1 降雨及径流监测基本特征

Table 1 Basic characteristics of main rainfall and runoff

降雨时间	降雨历时/min	次降雨量/mm	次最大雨强/mm·h ⁻¹	径流量 Runoff*/mm	
				耕地(参照)	林地
2006-06-22	1 490	67.9	33.0	1.69	0.78
2006-07-02	1 110	84.4	33.6	2.38	1.43
2006-09-04	1 080	30.0	11.6	0.41	0.26
2007-05-30**	805	22.4	28.8	0.43	0.27
2007-07-04**	1 900	37.6	15.6	1.09	0.82
2007-07-19**	2 400	37.9	10.0	0.98	0.58
2007-07-30**	780	51.5	33.6	1.15	0.53

注:“*”取 3 个径流池的平均值;“**”林地变更为花生地。

2.2 径流系数的差异性分析

根据表 1 的结果计算得出耕地、林地的径流系数如图 1。

由图 1 可知,能产生径流的次降雨过程,其径流系数普遍偏小;耕地平均 3.5%;林地平均 2.0%,耕地的径流系数明显大于林地。2006 年的耕地的降雨径流系数是林地的 1.93 倍,2007 年林改耕后,两者比值降为 1.69,说明滨河漫滩林改耕后,径流系数呈增大趋势。这是由于林改耕后,失去林冠层的缓冲,地表土壤受到雨滴的直接溅蚀,透水通道被封堵,造成表土“板结”,削弱了土壤入渗能力^[14],因而径流系数增大。

2.3 径流水质的差异性分析

根据对 7 次降雨径流的的收集测定,其水质(包括 pH 值、电导率、TSS、高锰酸盐指数、总氮、总磷)如图 2。

耕地、林地的径流 pH 值总体呈弱碱性。耕地径

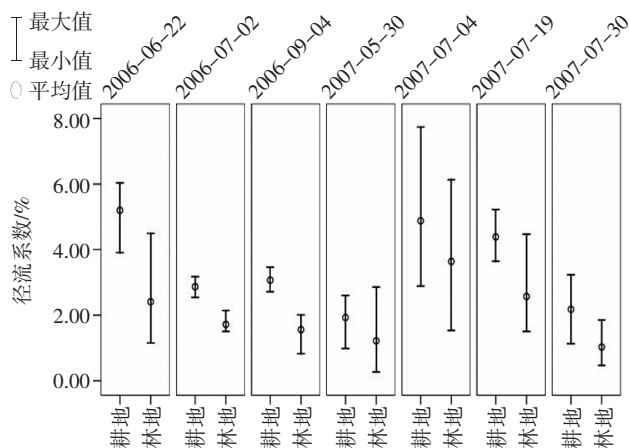


图1 耕地、林地降雨径流系数比较

Figure 1 Comparison of runoff coefficient between farmland and woodland

流 pH 值稍高于林地约 0.2 个 pH 单位,尤其是 2007-05 林改耕后,两组径流场的径流 pH 值相差不大。农业施肥后 (2006-06-20, 2007-06-25), 降雨径流 pH 值有所升高。

径流电导率在一定程度上反映了土壤盐分随径流流失的状况。从实验数据上看,径流电导率普遍高于国外文献^[15]1.5~3 倍。林地径流的电导率普遍大于耕地径流,且不随林改耕的改变而改变。径流电导率的变化受河岸区土壤的积盐与脱盐过程的影响,每年 6 月份的黄河小浪底调水调沙,地下水水位升高超过临界值,是河岸区重要的积盐期。由图可知,6 月份后的降雨径流电导率明显较之前升高。

径流 TSS 反映了土壤颗粒随降雨径流流失的状况。由图 2 可知,发生在耕地土壤翻动不久的降雨 (2007-05-30) 将会导致明显的土壤颗粒流失,约为平时的 5~10 倍,新垦农田尤为明显。对于长期未翻动的土地,耕地土壤颗粒物的径流流失水平稍大于林地。

径流高锰酸盐指数反映了土壤有机物随降雨径流流失的状况。由图 2 可知,由于林地凋落物的影响,径流高锰酸盐指数通常大于耕地径流,尤其在 2006 年早秋,在能够形成径流的降雨依然存在的情况下,当地速生杨过早地落叶,加剧了林地有机物的径流流失。2007 年林改耕后,由于地表凋落物的减少,径流高锰酸盐指数与参照耕地径流的差异性逐渐降低。

从径流总氮的数据看,林地径流的总氮浓度通常大于耕地径流,这种浓度的差异性在春季的降雨径流变小,而在汛期或秋季的降雨径流变大。

径流总磷的浓度通常是林地稍大于耕地,且与径

流 TSS 的变化特征相似。新垦农田土壤总磷随颗粒物流失非常明显,径流总磷浓度相对耕地参照平均增加 3 倍。

综上所述,从降雨径流水质的角度来看,由于滨河漫滩土壤具有一定的盐碱土特征,径流呈弱碱性,径流盐分含量普遍偏高;耕地径流的土壤颗粒物和总磷含量与林地径流相当,但高锰酸盐指数和总氮含量却明显低于林地径流。土壤颗粒物和总磷的显著流失通常发生在土壤翻动后的首次降雨,径流 TSS 和总磷含量较平时增加 5~10 倍。林改耕后,径流高锰酸盐指数和总氮含量相对参照耕地总体略呈上升趋势,但 TSS 和总磷含量却较参照耕地平均增加 3 倍。因此,在滨河漫滩的农田开垦初期,土壤颗粒物和总磷随降雨径流流失增加明显,尤其是土壤翻动后的首次降雨。

2.4 径流污染物产生总量的差异性分析

根据径流水量和水质的关系,通过计算得出滨河漫滩降雨径流的泥沙、有机物、总氮和总磷的产生总量特征,具体见图 3。

由图 3 可知,耕地径流的污染物(泥沙、有机物、总氮和总磷)总量约是林地径流的 1.5~3 倍。林改耕后,其径流污染物的产生总量呈上升趋势;其中径流的泥沙和总磷产生总量已超过参照耕地径流,有机质和总氮产生总量与参照耕地的差距减小。

2.5 滨河漫滩的农业开发与河岸带的生态管理

河漫滩是河流流经平原、退水后的遗迹,具有较为肥沃的土壤条件,同时区域水、气等生态因子优越,为人类的农业开发提供了较为优良的前提条件,因此在河流的冲积平原上诞生了人类文明^[2]。河岸带是一个特殊的水文地质区域,与河漫滩的其他地区相比,这一区域受河水水位波动的影响大,水力分选作用突出,表现为较大的土壤入渗特征。在原生湿地植被发育下,降雨入渗显著,地表径流产生微弱或消失,同时对于上游来水具有较强的缓冲和屏障功能,大大减少了径流污染物直接进入河流水体的可能性。研究表明,“河岸植被缓冲带”可以减少 56%~72% 的上游农田排水,转移 73% 的径流沉积物^[16]。

随着各种河流水利设施的修建,人类对河流的控制能力越来越强,河水被局限在狭窄的河床,大量的河漫滩常年出露为当地的农业开发提供了原生动力。在这种“水退人进”无节制的开发浪潮下,农耕地直抵水岸,滨河湿地生物多样性不复存在,河岸带的缓冲、屏障等生态功能尽失。农业耕作直接破坏了滨河漫滩

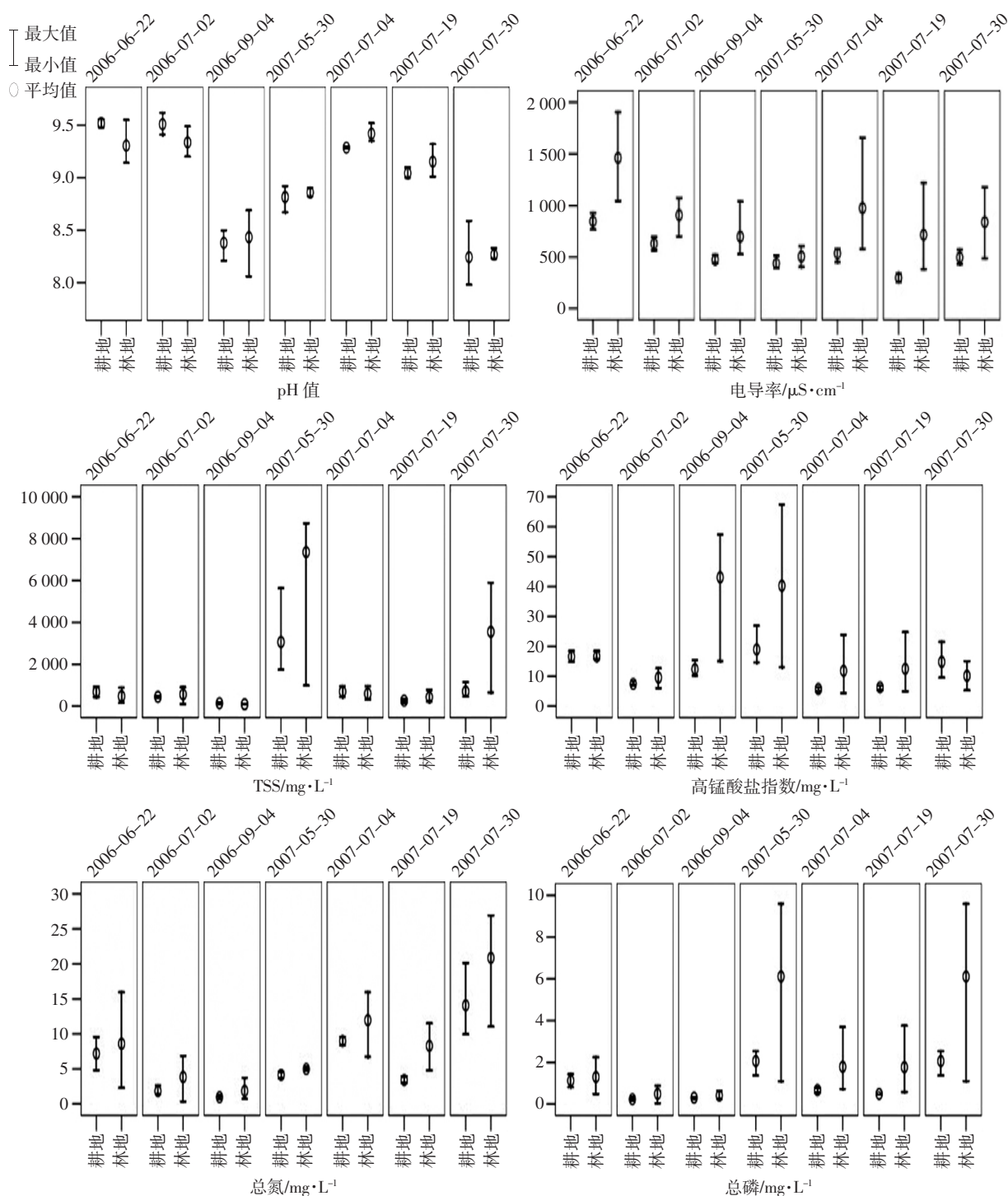


图 2 降雨径流水质特征

Figure 2 Characteristics of the runoff water quality

土壤的原生物理结构,致使表土板结,土壤入渗能力大大下降^[14],降雨径流的产生量和污染物流失量显著增加,尤其是短期内颗粒物和总磷流失量平均增加 3 倍,土壤的水土流失加剧和水肥保持能力弱化或丧失,在丧失河岸带的缓冲屏障后,滨河漫滩的整体生

态环境将迅速恶化,并对河流水质造成直接的影响。

因此,滨河漫滩的农业开发一定要严格控制,已开发地区应注意恢复保留一定距离的河岸原生缓冲带,以减少降雨径流、水土流失和面源污染物的产生,从而降低人类活动对河流的影响。

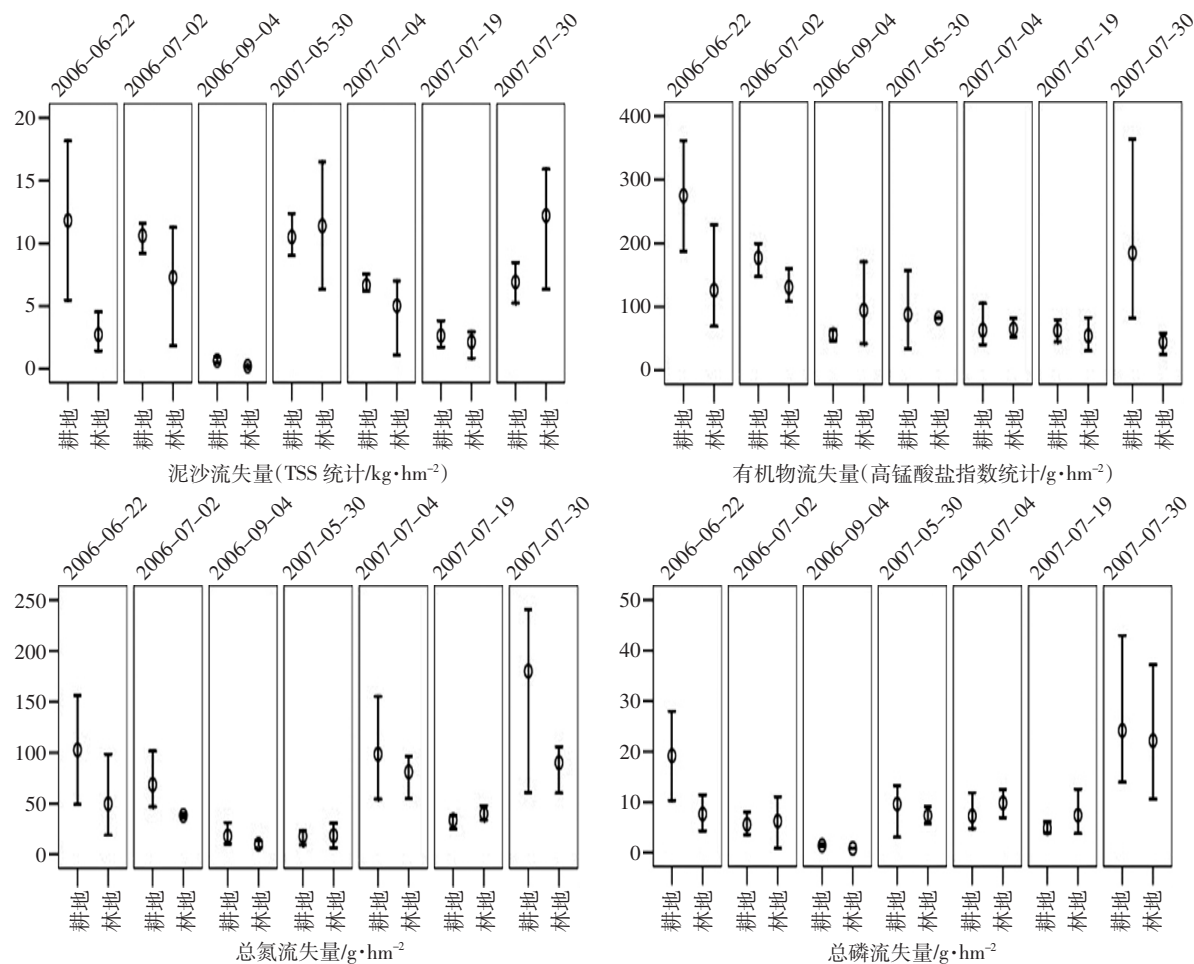


图 3 降雨径流污染总量特征

Figure 3 Characteristics of the gross runoff pollution

3 结论

河漫滩地势平缓,具有较强的土壤入渗能力,当次降雨量小于 20 mm,其降雨径流产生微弱或消失;当次降雨量大于 20 mm,其径流系数普遍偏小:耕地平均 3.5%;林地平均 2.0%,耕地的径流系数明显大于林地。且在耕地开垦初期,由于表土“板结”,径流系数增加明显。

滨河漫滩的降雨径流呈弱碱性,且盐分含量偏高;耕地径流的土壤颗粒物和总磷含量与林地径流相当,但高锰酸盐指数和总氮含量却明显低于林地径流。耕地径流的污染物(泥沙、有机物、总氮和总磷)产生总量约是林地径流的 1.5~3 倍。土壤翻动后的首次降雨通常会引起耕地土壤颗粒物和总磷的显著流失,较平时增加 5~10 倍。林改耕后,径流颗粒物和总磷含量较参照耕地平均增加 3 倍,成为滨河漫滩农田开垦初期应首要控制的污染物。

原生滨河漫滩在河岸缓冲、屏障功能和面源污染削减方面发挥着重要的作用。因此,在滨河漫滩的农业开发过程中,应注重加强对原生河岸带的生态保护与管理。

参考文献:

- [1] John W Day Jr, et al. Using Ecotechnology to address water quality and wetland habitat loss problems in the Mississippi Basin: a hierarchical approach[J]. *Biotechnology Advances*, 2003, 22: 135-159.
- [2] Manuel CMJ, Crawford CS, Ellis LM, et al. Managed flooding for riparian ecosystem restoration[J]. *Bio Science*, 1998, 48: 749-756.
- [3] 许炯心,师长兴. 河漫滩地生态系统影响下的河型转化—以红山水库上游河道为例[J]. *地理学报*, 1995, 50(4): 335-343.
XU Jiong-xin, SHI Chang-xing. River channel pattern change as influenced by the floodplain geoecosystem: an example from the Hongshan Reservoir[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(4): 335-343.
- [4] 张建春,彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. *生态学报*, 2003, 23(1): 56-63.

- ZHANG Jian-chun, PENG Bu-zhuo. Study on riparian zone and the restoration and rebuilding of its degraded ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1):56-63.
- [5] 黄 凯, 郭怀成, 刘 永, 等. 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.
- HUANG Kai, GUO Huai-cheng, LIU Yong, et al. Research progress on the degradation mechanisms and restoration of riparian ecosystem[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6):1373-1382.
- [6] US EPA. National water quality inventory[R]. Washington DC:USEPA, 1995:497.
- [7] Edwin D, Ongley. Control of water pollution from agriculture[M]. *FAO Irrigation and Drainage*, 1996:55.
- [8] 刘振英, 李亚威, 李俊峰, 等. 乌梁素海流域农田面源污染研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1):41-44.
- LIU Zhen-ying, LI Ya-wei, LI Jun-feng, et al. Agricultural non-point source pollution in Wuliangsu Hai Valley[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1):41-44.
- [9] Novoty V, Chester G. Handbook of nonpoint source pollution and management[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.
- [10] 李 鹏, 李占斌, 郑良勇. 植被恢复演替初期对模拟降雨产流特征的影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1):54-62.
- LI Peng, LI Zhan-bin, ZHENG Liang-yong. Effect of vegetation at preliminary succession stages on soil infiltration and runoff under simulating rainfall[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1):54-62.
- [11] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正, 等. 黄土高原南部缓坡耕地降雨与侵蚀的关系[J]. *水土保持研究*, 1999, 6(2):53-60.
- WU Fa-qi, ZHAO Xiao-guang, LIU Bing-zheng, et al. Relation between rainfall and soil erosion in the gentle slope land in the south part of loess plateau[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, 6(2):53-60.
- [12] William J Mitsch, John W Day, et al. Nitrate-nitrogen retention in wetlands in the Mississippi River Basin[J]. *Ecological Engineering*, 2005(24):267-278.
- [13] 王礼先, 余新晓. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999:251-308.
- WANG Li-xian, YU Xin-xiao. Forest hydrology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999:251-308.
- [14] 高 鹏, 穆兴民, 刘普灵, 等. 降雨强度对黄土区不同土地利用类型入渗影响的试验研究[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(3):1-5.
- GAO Peng, MU Xing-min, LIU Pu-ling, et al. Effects of different types of land-uses and rainfall intensities on soil infiltration in loess plateau of China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(3):1-5.
- [15] Daniel F Fink, William J Mitsch. Seasonal and storm event nutrient removal by a created wetland in an agricultural watershed[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 23:313-325.
- [16] 邓红兵, 王青春, 王庆礼. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(6):951-954.
- DENG Hong-bing, WANG Qing-chun, WANG Qing-li. On riparian forest buffer and riparian management[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6):951-954.