

紫色土区小流域侵蚀产沙对水土保持措施的响应

刘纪根, 任洪玉, 牛俊, 陈兰

(长江水利委员会 长江科学院, 武汉 430010)

摘要:探讨降雨量与水土保持措施对流域水沙关系的影响,对流域水土流失预报和水土保持效益评价具有十分重要的科学意义,但在紫色土区这方面的研究还相当薄弱。以鹤鸣观小流域Ⅱ号支沟实测降雨径流泥沙数据为基础,分析了水土保持措施对流域径流、泥沙及水沙关系的影响。结果表明:流域治理后期,降雨产流量变化率、降雨产沙量变化率均减小,随着降雨的增多,水土保持措施对径流、产沙的影响效应增强;暴雨强度愈小,降雨量愈少,水土保持径流拦蓄作用愈显著;但降雨量愈大,泥沙拦蓄作用愈显著;流域减水量一般在 30%~70%,而减沙量都高于 90%,减沙量明显高于减水量;由于水土保持综合治理的作用,1989 年后的多年平均径流量较 1989 年前减少 33.11%,多年平均产沙量减少 90.50%。

关键词:紫色土区;侵蚀产沙;水土保持措施;径流;泥沙

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0029-05

Response of Erosion and Sediment Yield to Soil and Water Conservation Measures in Small Watershed in Purple Soil Region

LIU Jigen, REN Hongyu, NIU Jun, CHEN Lan

(Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: Discussing the effects of precipitation and erosion control practices on the watershed rainfall-runoff-sediment delivery relationships has the important scientific significance on the basin soil erosion prediction and benefit evaluation of soil and water conservation, but the research in purple soil area was very weak. Based on the measured rainfall runoff and sediment data in feeder drain Ⅱ in Hemingguan small watershed, effects of soil and water conservation measures on runoff, sediment and relationship between water and sediment were analyzed. The results showed that after treatment, rate of change of rainfall flow production and sediment yield reduced, and with rainfall increasing, the effect of soil and water conservation measures on runoff and sediment yield enhanced. The smaller the rainfall intensity is, the less precipitation is, and the more significant role of soil and water conservation in reducing runoff is. But the more precipitation is, the more significant role in trapping sediment is. Runoff reduction in small watershed was about 30%~70%, but sediment reduction was above 90%, which suggested that sediment reduction was apparently higher than runoff reduction. Due to the role of comprehensive control of soil and water conservation, the average runoff for many years after 1989 reduced by 33.11%, and the average sediment yield reduced by 90.50% compared to those before 1989.

Keywords: purple soil region; erosion and sediment yield; soil and water conservation measures; runoff; sediment

水土保持是我国生态建设的主体工程,是可持续发展战略的重要组成部分,在减轻区域土壤侵蚀,改善农业生产条件,减轻下游水沙灾害等方面发挥了显著的生态、经济及社会效益^[1]。自 1989 年实施“长

治”工程以来,长江中上游实施大规模、高速度的生态环境建设,使该区的土地利用格局和植被覆盖状况在相对短的时期内发生了根本变化,紫色土区流域综合治理对土壤、水文和侵蚀特征产生重大影响。因此,

在当前实施退耕还林还草政策,大规模生态恢复重建过程中,分析流域综合治理对径流泥沙影响具有重要现实意义。

水土保持措施对小流域径流泥沙的影响研究主要集中在黄土高原^[2-6],多数研究认为,水土保持措施能够有效地减少小流域的径流、泥沙模数,消减洪峰流量,降低径流含沙量,滞后洪峰出现时间,缩短洪水历时,改变降雨产流、产沙关系^[2-3]。在紫色土区,少数研究集中于单项措施的径流小区产流产沙分析上^[7-11],小流域水土保持措施对产流产沙的研究相对比较少,邓贤贵^[12]、王学勤等^[13]、刘刚才等^[14]针对小流域综合治理减水减沙效益开展了一些初步研究,但对降雨产流产沙关系变化的研究还相对比较薄弱。本研究以紫色土区典型小流域为例,探讨水土保持措施实施后流域降雨产流产沙关系的变化规律,以期对紫色土区小流域综合治理和评价提供依据。

1 小流域概况及水保措施实施情况

1.1 小流域自然概况

鹤鸣观小流域位于四川省南部县境内东经 $105^{\circ}44'$,北纬 $31^{\circ}31'$ 。属嘉陵江一级支流西河的一条支流,流域面积为 2 km^2 左右,由3条小支沟组成,河网密度 2.37 km/km^2 。其中Ⅰ号和Ⅱ号支沟为试验沟,其海拔高程分别为 $409\sim 681, 394\sim 680\text{ m}$ 。支沟面积分别为 $0.8, 0.42\text{ km}^2$,干流长度分别为 $0.241, 0.350\text{ km}$,干流平均比降为 50‰ 和 310‰ 。流域成土母质为白垩系下统城墙岩群,土壤以沙土和中壤土为主。该地区气候温和,雨量充沛,属亚热带季风气候。据多年气象观测资料分析,多年平均降雨量为 975 mm ,多年平均降雨天数为 142 d ,汛期(5—10月)降雨量占全年降雨量的 75% 。

Ⅰ号和Ⅱ号支沟林草覆盖率分别为 25.45% , 21.95% ,水土流失面积为 $0.481, 0.243\text{ km}^2$ 。水土流失面广,侵蚀类型多样,以坡面侵蚀为主,兼有沟蚀、重力侵蚀和母质侵蚀等。1987—1989年、1991—1992年两个阶段对两条支沟进行了水土保持综合治理。Ⅰ号沟内以地面工程为主进行水保措施配置,Ⅱ号沟按以林草措施为主的生物工程治理模式配置。经过两次治理,流域内的土地利用方式发生了很大变化,林草覆盖率均达到 50% 以上,年产沙降低了 70% 以上。

1.2 小流域水土保持措施实施情况

1987—1989年在试验小流域进行了水土保持前期治理。Ⅱ号沟以林草措施为主的生物工程治理,植桉木 5.33 万株、柏树 3.74 万株、桑树 3.14 万株、柑橘树 800 株,发展家庭小果园 4 处,种马桑、黄荆等

10.33 hm^2 。新开沿山沟、水平沟 1.66 km ,扩建塘堰 2 座,新增蓄水量 800 m^3 ,治理面积达 49.2% 。

1991—1992年在前期治理的基础上再次对试验小流域进行治理。Ⅱ号小流域仍以林草措施为主的生物工程治理模式布置,除对原有水利水保工程进行清淤整治外,新开沿山沟 11 条,计 1700 m ,排洪沟 300 m ,配置蓄水池、沉沙凼 15 个,以提高对坡面径流、泥沙的调控和拦蓄能力。种植林草 7.67 hm^2 ,植用材林 7.1 万株,薪炭林 4.1 万株,经济果林 0.5 万株,地面播种马桑 7.5 kg ,使流域坡面形成合理的乔、灌、草立体防护体系,从而使流域覆盖率进一步巩固和提高。

1.3 试验场点布设及观测计算方法

1.3.1 场点布设 在两条试验支沟的出口处,分别建有梯形量水槽、巴歇尔量水堰、三角堰出流 3 个控制断面观测设施,各断面均设有水标尺,巴歇尔堰和梯形测流断面还分别安有自记水位计,记录洪水水位变化过程,并用人工观测水标尺进行校正。

在每条试验沟内,按不同方位和梯度共设置雨量观测点 5 个,每个雨量点均安装有自记和人工观测雨量仪器进行降雨的观测。

1.3.2 观测计算方法

(1) 观测方法。降雨量观测:汛期采用四段制(14 时、 20 时、 2 时、 8 时),非汛期按一段制(8 时)观测,并用人工、自记仪器同步观测、校正。

水位观测:汛期观测采用四段制,非汛期采用两段制,洪水期观测全过程变化。

泥沙观测:洪水时采用直口平底式采样器(1000 ml),根据不同水位情况取水样,并做到取水样与水位观测、流速测定同步。样品在室内静置、过滤、烘干等过程测定径流含沙量。

以上各观测项目,均以当日 8 时—次日 8 时为日界,其观测值为当日的观测资料。

(2) 计算方法。雨量计算:根据Ⅰ、Ⅱ号试验沟内各雨量点的实测次降雨量及各点的控制集雨面积,用权重法求得各试验沟平均降雨量。

径流量计算:通过观测按照在各控制断面的水标尺和自记水位计,经订正后得到时段、日水深及洪水过程,借助 $H-Q$ 关系曲线查得时段、日或次洪水过程流量,再查 $Q-t$ 过程线算出时段、日或次洪水径流量。特殊水深值用流速仪法检测各断面量水建筑物 $H-Q$ 曲线精度。

输沙量计算:根据一次洪水变化过程,用采用器在 $0.4H$ (40% 水深)水深处取样。在取样横断面上,巴歇尔堰每次取 3 组,梯形槽断面每次取 5 组样,求得某一

水深的平均含沙量,再通过 $H-Q$ 曲线和 $Q-t$ 过程线求得一次洪水的总输沙量。

本研究数据来自II号支沟 1985—2001 年监测数据。其中降雨径流泥沙数据 1985—1986 年共 8 次,1993—2001 年共 18 次,1987—1992 年为治理中的几年。

2 结果与分析

2.1 水土保持措施对流域径流量的影响

影响流域径流量的主要因素包括降雨量和下垫面因素,但起决定因素的是降雨。因此,一般情况,通过建立降雨量和径流量的单变量相关模型即可获得较理想的模拟效果。图 1 为治理前和治理后的次降雨量与次径流量关系图,采用线性回归分析得到如图所示的直线。治理前(1985—1986 年)与治理后(1993—2001 年)次降雨与次径流量回归关系:

$$Q_1 = 185.1p_1 - 2579.8 \quad (n=8, r^2=0.93) \quad (1)$$

$$Q_2 = 139.59p_2 - 4653.4 \quad (n=18, r^2=0.82) \quad (2)$$

式中: p_1, p_2 为治理前后次降雨量(mm); Q_1, Q_2 为治理前后次径流量(m^3)。

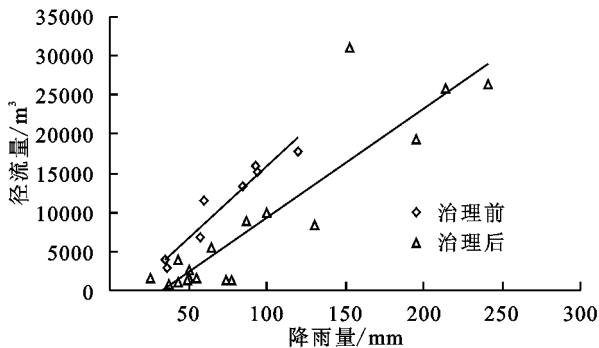


图 1 治理前后流域次降雨量与次径流量关系对比

比较治理前后径流随降雨的变化率,治理前降雨增多而径流增长率较快,而治理后期则较慢。从图中趋势线的斜率可以看出,流域治理后期的降雨产流量变化率较前期减少,即水土保持使产流量相应减少。随着降雨的增多,水土保持措施对径流的影响效应增强^[15]。治理后次降雨量与次径流量的相关关系明显减少,说明水土保持治理后将导致水文过程复杂性增加。根据次降雨量与次径流量的线性拟合公式可以得到治理前和治理后降雨产流的临界降雨量分别是 13.94, 33.34 mm。水土保持措施可对流域内的径流进行直接拦蓄从而影响流域径流量;另外使流域土地覆被发生一定的变化,从而改变了径流产生与汇集的下垫面条件,间接影响流域径流量^[1]。1992 年后,随着流域内水土保持措施数量的增加,流域内的水土保持措施逐步发挥了其涵养水源的功能,径流量也逐渐减少,降雨量—径流量关系逐渐趋于平缓。也可以

说,在相同降雨条件下,随着水土保持措施的增加,洪水径流量随之减少。

2.2 水土保持措施对流域产沙量的影响

降雨对流域产沙的影响关系十分复杂,不同时段降雨量、暴雨强度、降雨历时等对流域产、输沙有着不同程度的影响。图 2 为治理前与治理后流域次降雨量与次产沙量关系图,采用回归分析得到如下所示指数函数关系。

$$M_1 = 9570.7e^{0.0297P_1} \quad (n=8, r^2=0.62) \quad (3)$$

$$M_2 = 356.06e^{0.0231P_2} \quad (n=18, r^2=0.68) \quad (4)$$

式中: P_1, P_2 为治理前后次降雨量(mm); M_1, M_2 为治理前后次产沙量(kg)。

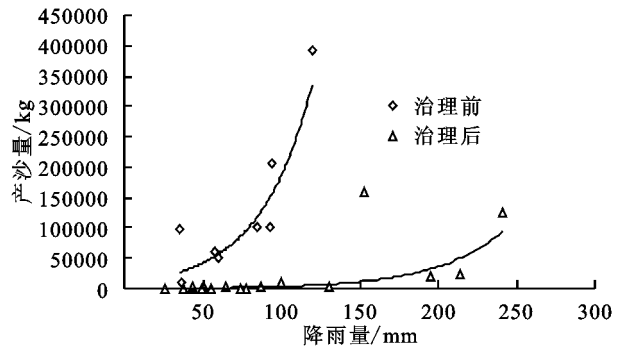


图 2 治理前后流域次降雨量与次产沙量关系对比

比较治理前后产沙随降雨的变化,治理前降雨增多而产沙增长率较快,而治理后期则较慢。从图中趋势线可以看出,流域治理后期的降雨产沙量变化率较前期减少,即水土保持使产沙量相应减少。随着降雨的增多,水土保持措施对产沙的影响效应增强。选择了治理前后降雨量大致相当的情况下,径流量与产沙量的变化情况(表 1)。从表 1 中可以看出,在降雨量一致的情况下,治理后径流量与产沙量明显低于治理前,如以 1986 年 9 月 8 日(治理前),1995 年 10 月 13 日(治理后)两场降雨为例,其降雨量 37 mm 左右,治理前径流量 2 819.1 m^3 ,产沙量 8 715.2 kg,治理后径流量 889.1 m^3 ,产沙量 882.833 kg,径流量减少 68.46%,产沙量减少 89.87%。降雨径流产沙统计显示,减水量一般在 30%~70%,而减沙量都高于 90%,减沙量明显高于减水量。

暴雨强度愈小,降雨量愈少,水土保持径流拦蓄作用愈显著,这与穆兴民等^[2]的研究结果一致;但降雨量愈大,泥沙拦蓄作用愈显著。从表中可以看到,降雨量 37 mm 时,径流量减少 68.46%,泥沙量减少 89.87%;降雨量 60 mm 左右时,径流量减少 51.62%,泥沙量减少 93.03%;降雨量 92 mm 左右时,径流量减少 36.78%,泥沙量减少 91.55%。

相同降雨产生的水土流失,未治理的明显大于治理后的。说明采取合理的水土保持措施,可有效抑

制水土流失。其原因一是退耕还林还草种植的乔冠草逐渐长大,覆盖度增加,地表糙度增加,促进水分下渗,减少并延缓产流;二是等高种植的草带,逐渐形成地埂,阻止或减缓径流泥沙的流失;三是沿山沟、排洪沟、蓄水池、沉沙凼提高了对坡面径流、泥沙的调控和拦蓄能力。

表 1 同雨量情况下的径流侵蚀

日期 (年-月-日)	雨量/ mm	雨强/ (mm·min ⁻¹)	径流量/ m ³	单位雨量 径流/m ³	产沙量/ kg	单位雨量 产沙/kg
1986-09-08	37	4.4	2819.1	76.19	8715.2	235.55
1995-10-13	37.6	5.6	889.1	23.65	882.833	23.48
1985-08-19	60.2	5.5	11423.2	189.75	50531.4	839.39
2001-09-02	64.4	2.4	5526	85.81	3519.6	54.65
1985-09-13	85.2	3.2	13358.4	156.79	102529.3	1203.40
1993-08-09	86.6	2.6	8780.2	101.39	2426.848	28.20
1985-06-27	92.5	3.8	15905	171.95	102585.7	1109.03
1998-06-20	100	5.2	10055	100.55	8667.015	86.67

2.3 水土保持措施对水沙关系影响

从本质上,水土保持措施减少侵蚀是通过减少地表径流来实现的,通过改变地表坡度(如修梯田)、增加植被覆盖(种树种草),增加了降雨入渗,减小了径流系数和径流量,使径流的侵蚀、搬运能力减弱,故侵蚀量减少,沉积量增大,因而产沙量减小^[16]。图 3 为治理前后流域次径流量与次产沙量关系图,采用回归分析得到如下所示指数函数关系。

$M_1=16363e^{0.0001Q_1} \quad (n=8,r^2=0.58) \quad (5)$

$M_2=723.75e^{0.0002Q_2} \quad (n=18,r^2=0.90) \quad (6)$

式中: Q_1 、 Q_2 为治理前后次径流量(m^3); M_1 、 M_2 为治理前后次产沙量(kg)。

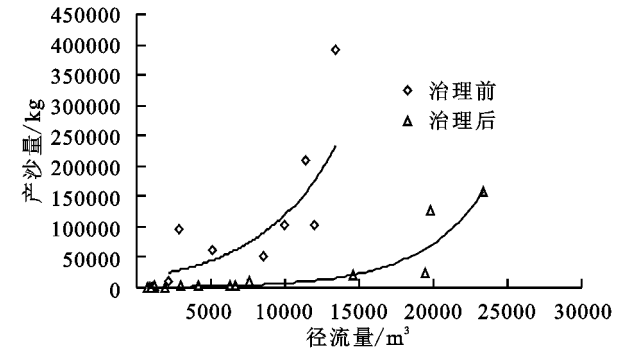


图 3 治理前后流域次径流量与次产沙量关系对比

从公式(1)—(6)可以看出,除次径流量与次降雨量治理前的决定性系数(相关系数的平方)大于治理后的,次产沙量与次降雨量、次产沙量与次径流量治理前的决定性系数都小于治理后的,这与晏清洪等^[6]、许炯心^[16]在北方的研究有一定的出入。分析其原因,主要产流机制不同,紫色土区产流以蓄满产流为主,北方产流以超渗产流为主,刘淑燕等^[17]在黄土丘陵沟壑区的研究表明,当实施水土保持治理后,在一定的雨量雨强情况下,土壤由“超渗产流”变成“蓄满产流”,形成一个相对稳定的人渗率,使得地表径流在形成含沙水流的过程中,土壤含水量一致,形成均质性土壤,导致

径流与产沙之间的关系好于治理前。

从图 3 中可以看出,治理前的水沙关系曲线明显高于治理后的水沙关系曲线,说明治理前的径流泥沙明显大于治理后的径流泥沙,而且随着径流量的增大,产沙量的差距显著增大。累积年径流量与累积年产沙量的关系曲线表明(图 4),1989 年后的斜率较 1989 年前的明显偏小,说明 1989 年是流域水沙关系的突变点。由于水土保持综合治理的作用,1989 年后的多年平均径流量较 1989 年前减少 33.11%,多年平均产沙量减少 90.50%。

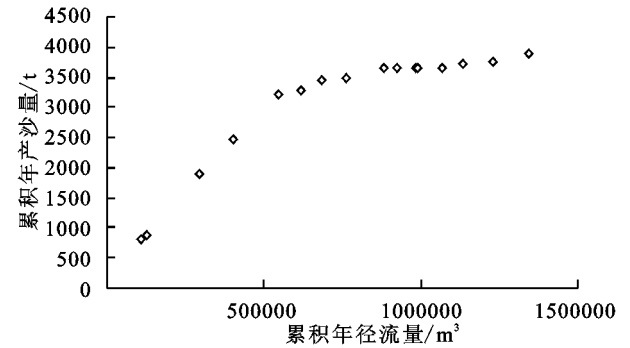


图 4 累积年径流量与累积年产沙量变化曲线

3 结论

- (1) 流域治理后期的降雨产流量变化率较前期减少,随着降雨的增多,水土保持措施对径流的影响效应增强。治理前和治理后降雨产流的临界降雨量分别是 13.94 mm 和 33.34 mm。
- (2) 流域治理后期的降雨产沙量变化率较前期减少,随着降雨的增多,水土保持措施对产沙的影响效应增强。流域减水量一般在 30%~70%,而减沙量都高于 90%,减沙量明显高于减水量。暴雨强度愈小,降雨量愈少,水土保持径流拦蓄作用愈显著;但降雨量愈大,泥沙拦蓄作用愈显著。
- (3) 治理前的水沙关系曲线明显高于治理后的

水沙关系曲线,治理前的径流泥沙大于治理后的径流泥沙。1989年后累积年径流量与累积年产沙量的关系曲线斜率较1989年前的明显偏小,说明1989年是流域水沙关系的突变点。由于水土保持综合治理的作用,1989年后的多年平均径流量较1989年前减少33.11%,多年平均产沙量减少90.50%。

参考文献:

- [1] 李子君. 潮河流域不同水土保持措施配置方案对年径流量的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 108-112.
- [2] 穆兴民, 王文龙, 徐学选. 黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999(2): 71-75.
- [3] 王国庆, 兰跃东, 张云, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域水土保持措施的水文效应[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 87-89.
- [4] 王飞, 穆兴民, 张晓萍, 等. 水土保持对偏关河径流和泥沙的影响分析[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 10-14.
- [5] 周旭, 穆兴民, 张鑫, 等. 秃尾河流域水土保持措施对河流泥沙变化的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 15-19.
- [6] 晏清洪, 原翠萍, 雷廷武, 等. 降水和水土保持对黄土区流域水沙关系的影响[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(4): 9-16.
- [7] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1-8, 35.
- [8] 刘刚才, 朱波, 代华龙, 等. 四川低山丘陵区紫色土不同土地利用类型的水蚀特征[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 96-99.
- [9] 蒋光毅, 史东梅, 卢喜平, 等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 54-58, 63.
- [10] 王勇强, 王玉宽, 傅斌, 等. 不同耕作方式对紫色土侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 333-335.
- [11] 刘纪根, 李蓉. 紫色土区土地利用类型与降水变化对水土流失的影响[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(8): 10-14, 19.
- [12] 邓贤贵. 长江上游典型流域水土保持效益分析[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 68-70.
- [13] 王学勤, 韦红, 何丙辉, 等. 鹤鸣观小流域综合治理减水减沙效益研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 246-253.
- [14] 刘刚才, 游翔, 张建辉, 等. 紫色土丘陵区小流域综合治理对水土保持的作用[J]. 山地学报, 2007, 25(5): 590-595.
- [15] 张晓明, 曹文洪, 余新晓, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/覆被变化的径流调节效应[J]. 水利学报, 2009, 40(6): 641-650.
- [16] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的响应[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 972-981.
- [17] 刘淑燕, 余新晓, 信忠保, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用变化对水沙关系的影响[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 565-571.

(上接第28页)

- [10] 孙传龙, 张卓栋, 邱倩倩, 等. 基于层次分析法的锡林郭勒草地景观系统风蚀危险性分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1036-1042.
- [11] 邱倩倩, 张卓栋, 孙传龙, 等. 锡林郭勒草地景观系统土壤容重空间变异及其与风蚀的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 58-66.
- [12] Cao L, Zhang K, Liang Y. Factors affecting rill erosion of unpaved loess roads in China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2014, 39(13): 1812-1821.
- [13] 董光荣, 李长治, 金炯. 关于土壤风蚀风洞模拟试验的某些结果[J]. 科学通报, 1987, 32(4): 297-301.
- [14] Zhao Y, Peth S, Krummelbein J, et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland[J]. Ecological Modelling, 2007, 205(1): 241-254.
- [15] Shi X Z, Wang K, Warner E D, et al. Relationship between soil erosion and distance to roadways in undeveloped areas of China[J]. Catena, 2008, 72(2): 305-313.
- [16] 刘树林, 王涛. 浑善达克沙区沙漠化土地防治区划与对策研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1000-1005.
- [17] 梁婣芬, 曹龙熹, 张科利. 安塞县纸坊沟小流域道路网系分布与土地利用的关系[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 201-205.
- [18] 胡霞, 刘连友, 孙永亮. 交通对干草原土壤物理性质影响的试验研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 215-219.
- [19] 常月明, 雷俊义, 李永香, 等. 半干旱丘陵地区乡村道路侵蚀特点和影响因素研究: 以内蒙古四子王旗东南部为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 116-121.
- [20] Jungerius P D, Matundural J, Vandeancker J A M. Road construction and gully erosion in West Pokot Kenya[J]. Earth Surf Process & Landforms, 2002, 27(11): 1237-1247.
- [21] 杨秀春, 严平, 刘连友. 土壤风蚀研究进展与评述[J]. 干旱区农业研究, 2003, 21(4): 148-153.
- [22] 雷军, 孙禹, 元志辉, 等. 呼伦贝尔道路对草地土壤表层颗粒组成空间变异的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 18-21.