

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.02.011.

张春霞,董智,高波,等.侵蚀性雨型分类及不同植被类型对棕壤坡面土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2023,30(2):36-41.

ZHANG Chunxia, DONG Zhi, GAO Bo, et al. Effects of Erosive Rainfall Patterns and Different Vegetation Types on Soil Erosion in Slope with Brown Soil[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(2): 36-41.

# 侵蚀性雨型分类及不同植被类型对 棕壤坡面土壤侵蚀的影响

张春霞<sup>1</sup>, 董智<sup>2</sup>, 高波<sup>3</sup>, 潘嘉琛<sup>2</sup>, 刘超<sup>2</sup>, 安淳淳<sup>2</sup>, 吴其聪<sup>2</sup>

(1.泰安市水文中心, 山东 泰安 271000; 2.山东农业大学 林学院

泰山森林生态系统国家定位观测研究站, 山东 泰安 271018; 3.新泰市水务发展中心, 山东 新泰 271299)

**摘要:**为探讨不同雨型下的植物措施对棕壤坡面土壤侵蚀特征的影响,利用k-均值聚类方法将2018—2019年山东省泰安市下港坡面径流场16次侵蚀性降雨进行分类,结合径流场产流、产沙等监测数据,分析了不同雨型对4种植被措施下坡面土壤侵蚀的影响。结果表明:(1)以降雨历时、降雨量和平均雨强为特征指标,侵蚀性降雨可分为A类(长历时、大雨量、大雨强)、B类(中历时、中雨量、中雨强)和C类(短历时、小雨量、小雨强)3种雨型。(2)与种植玉米相比,A、B雨型下,减流量均呈现板栗花生间作>苹果树>李子树的趋势。在土壤流失量方面:A雨型下,与李子树相比,减沙量呈现板栗花生间作>苹果树>玉米的趋势;B雨型下,与玉米相比,板栗花生间作的减沙率为84.2%,李子树的减沙率为31.2%,苹果树的减沙率为85.1%;C雨型下,减沙量呈现苹果树>李子树>板栗花生间作的趋势。(3)种植玉米的坡耕地土壤侵蚀情况最为严重,平均每年的土壤流失量为18.04 t/hm<sup>2</sup>;与之相比,板栗花生间作可降低79.57%的土壤侵蚀率,苹果树和李子树可分别降低73.36%,18.55%的土壤侵蚀率。综上,板栗花生间作与其他植物措施相比具有一定优势,尤其适合应对长历时、大雨量、大雨强的A类侵蚀性降雨,减流、减沙效果明显。

**关键词:**侵蚀性降雨; 植被覆盖; 棕壤; 土壤侵蚀

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2023)02-0036-06

## Effects of Erosive Rainfall Patterns and Different Vegetation Types on Soil Erosion in Slope with Brown Soil

ZHANG Chunxia<sup>1</sup>, DONG Zhi<sup>2</sup>, GAO Bo<sup>3</sup>, PAN Jiachen<sup>2</sup>, LIU Chao<sup>2</sup>, AN Chunchun<sup>2</sup>, WU Qicong<sup>2</sup>

(1. Hydrology Center in Tai'an City, Tai'an, Shandong 271000, China; 2. Mountain Tai Forest Ecosystem

National Positioning Observation and Research Station, College of Forestry, Shandong Agricultural University,

Tai'an, Shandong 271018, China; 3. Water Development Center in Xintai City, Xintai, Shandong 271299, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of plant measures on characteristics of soil erosion in slope under different rainfall patterns, the data of sediment yield and sediment yield under 16 events of erosive rainfall in 4 plots of Xiangang slope runoff field, Tai'an City, Shandong Province during 2018—2019 were analyzed. The results show that: (1) with rainfall duration, rainfall and average rainfall intensity as characteristic indexes, erosive rainfall can be divided into three categories: category A (long duration, heavy rainfall and heavy rain intensity), category B (medium duration, medium rainfall and moderate rain intensity) and category C (short duration, small rainfall and light rain intensity); (2) compared with maize planting, the decreasing flow decreased in the order: chestnut and peanut intercropping > apple tree > plum tree showed the trend under both A and B rainfall

收稿日期:2021-09-16

修回日期:2022-03-22

资助项目:山东省农业科技创新(林业科技创新)项目(2019LY005);泰安市水文局徂徕山水土保持综合观测站项目(380912);山东农业大学科研启动项目(72171)

第一作者:张春霞(1976—),女,山东泰安人,工程硕士,高级工程师,主要从事水文学水资源及水土保持监测研究。E-mail:clssbz2021@163.com

通信作者:吴其聪(1988—),男,山东高密人,博士,讲师,主要从事水土资源改良与利用研究。E-mail:qewu@sdau.edu.cn

<http://stbcj.paperonce.org>

types; in terms of soil loss, compared with plum trees, the sediment reduction showed the trend of chestnut and peanut intercropping > apple tree > maize under rain pattern A; under B rainfall type, the sediment reduction rates of chestnut peanut intercropping, plum tree and apple tree were 84.2%, 31.2% and 85.1%, respectively; under the rainfall type C, the sediment reduction showed the trend of apple tree > plum tree > chestnut and peanut intercropping; (3) soil erosion was the most serious in the sloping farmland planted with maize, and the average annual soil loss was 18.04 t/hm<sup>2</sup>; in comparison, chestnut and peanut intercropping could reduce soil erosion by 79.57%, apple tree and plum tree could reduce soil erosion by 73.36% and 18.55%, respectively. In conclusion, chestnut-peanut intercropping has certain advantages compared with other plant measures, especially suitable for dealing with class A erosive rainfall with long duration, heavy rainfall and heavy rain intensity, and the effect of reducing flow and sediment is obvious.

**Keywords:** erosive rainfall; vegetation cover; brown soil; soil erosion

水土流失及其诱导的各类生态环境问题已成为制约农林业可持续发展的重要限制因子<sup>[1]</sup>。其中降雨是引起水土流失的先决条件和主要驱动力<sup>[2]</sup>。通过对降雨强度、降雨量、降雨历时等特征参数进行聚类划分降雨类型,研究人员发现不同雨型对坡面土壤侵蚀的影响程度不同<sup>[3-5]</sup>。三峡地区雨量中等、降雨历时中等的雨型造成最大比例的累积流量(368.7 mm)和土壤流失量(4 283 t),而降雨量大、历时长的雨型其平均径流系数和平均输沙量较大,具有更为严重的侵蚀效应<sup>[6]</sup>。此外,有研究表明,在降雨一定的前提下,植被是影响坡面水土流失的关键因子<sup>[7]</sup>。在对丹江口库区喀斯特坡地的油桐疏林地、马尾松林地、坡耕地、荒草地、白刺花灌草地 5 种不同植被类型产流产沙情况进行研究时发现,种植马尾松的林地坡面土壤侵蚀较少,水土保持效果良好<sup>[8]</sup>。棕壤是我国北方土石山区主要的土壤类型,由于其特殊的土壤属性,较易发生水土流失问题<sup>[9]</sup>。当前对其坡面侵蚀的研究主要集中在降雨强度、坡度对细沟侵蚀及产流产沙的过程模拟,而对雨型与植物措施影响产流产沙方面的研究相对较少<sup>[10-12]</sup>。这极大地限制了我们对北方土石山区,特别是棕壤坡面土壤侵蚀发生发展机理的认识以及治理措施的应用。基于此,本研究选取山东省泰安市下港径流场棕壤坡面为研究对象,通过径流小区定位试验,分析不同雨型以及不同植被类型(玉米、李子树、苹果树、板栗花生间作)下坡面产流产沙的特征。研究结果可为北方土石山区棕壤坡面水土流失治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山东省泰安市岱岳区下港乡翟家岭村下港坡面径流场(36°21'57"N, 117°16'30"E)。该径流场位于黄河流域大汶河水系的石汶河下港小流

域内,侵蚀分区属于鲁中南中低山强度水蚀区,是国家重点治理区和山东省省级重点治理区。研究区属暖温带半湿润大陆性季风气候,春季干燥多风,夏季高温多雨,秋季天高气爽,冬季寒冷少雪。多年平均气温 12.9℃,有霜期一般为 159~179 d,初霜期一般在 10 月中旬,终霜一般在 4 月上旬。多年平均降水量 757 mm,其中汛期 6—9 月降水量占全年降水量的 80%左右,具有春旱、夏涝、晚秋又旱的特点。径流场的土壤以山地棕壤为主,周边植被乔木为杨树、刺槐、松柏;灌木为黄荆、酸枣;果树以山楂、核桃、板栗、苹果为主,另有柿子、桃、杏、樱桃、花椒等,主要自然优势草种有黄草、菅草、白背草、刺猬皮草等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 径流小区布设 下港坡面径流场于 2010 年 8 月开始建设,设 4 个径流小区,均为 5°人工坡度径流小区,小区为南北走向,2011 年开始观测。径流小区设计为垂直投影长 20 m,宽 5 m,投影面积 100 m<sup>2</sup>。径流小区上部及两侧设置预制板围埂,下部设置集水槽和引水槽,引水槽末端设置径流池,池壁、池底进行防渗处理,池底设排水孔。考虑栽植经济林和农作物等措施对水土流失的影响,各个小区配置了水土保持措施,基本情况见表 1。

表 1 径流小区基本情况

水保措施	植被类型	坡度/(°)	坡长/m	坡宽/m	植被覆盖度/%
等高耕作	玉米	5	20	5	40
等高耕作	板栗花生间作	5	20	5	29
经果林	李子树	5	20	5	9
经果林	苹果树	5	20	5	6

1.2.2 观测指标及测算方法 下港坡面径流场主要参照《径流小区和小流域控制站监测手册》监测降雨(降雨量、降雨历时、降雨强度、降雨侵蚀力、侵蚀性降雨量等)、泥沙(径流量、含沙量、侵蚀量等)、植被(郁

闭度、灌草作物覆盖度等)、土壤水分等指标。

其中降雨监测采用翻斗式自记雨量计进行观测,雨量计翻斗分辨率为 0.5 mm,采样周期为 5 min,其余时段(含降雪)主要采用人工观测日雨量。

(1) 次降雨动能的计算。

$$E = \sum_{r=1}^n (e_r \cdot P_r) \quad (1)$$

$$e_r = 0.29[1 - 0.72\exp(-0.082 i_r)] \quad (2)$$

式中: $E$  为一次降雨的总动能(MJ/hm<sup>2</sup>); $r = 1, 2, \dots, n$  表示一次降雨过程按雨强分为  $n$  个时段; $P_r$  为第  $r$  时段雨量(mm); $e_r$  为每一时段的单位降雨动能[MJ/(hm<sup>2</sup>·mm)]; $i_r$  为第  $r$  时段雨强(mm/h)。

(2) 降雨侵蚀力  $R$  的计算。

$$R = E \cdot I_{30} \quad (3)$$

式中: $R$  为次降雨侵蚀力[MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h)]; $I_{30}$  为一次降雨过程中最大 30 min 雨强(mm/h)。

(3) 径流量测定。采用米尺测量分(集)流池中的水深,通过公式估算次产流量:

$$Q = hs \quad (4)$$

式中: $Q$  为径流量(m<sup>3</sup>); $h$  为水深(m); $s$  为分(集)流池底面积(m<sup>2</sup>)。

(4) 泥沙量测定。降雨后,将分(集)水池中的水沙搅拌均匀,取样瓶 1 L,每次取 3 个重复,烘干泥沙重除以采样体积得到泥沙含量。

1.2.3 降雨类型划分 以 4 个试验径流小区均有产流产沙现象发生作为依据,在 2018—2019 年实测降雨资料中筛选出 16 次侵蚀性降雨。选取次降雨历时、降雨量和平均雨强作为特征指标,采用 k-均值聚类划分降雨类型。

### 1.3 统计分析

采用 Excel 2019 和 Origin 2021b 软件进行数据整理和作图,采用 IBM SPSS statistics 20 软件分析土壤侵蚀特征参数与降雨特征的相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨特征与侵蚀性降雨统计

2018 年研究区总降雨量为 661.8 mm,2019 年降雨量有所减少,为 543.4 mm,各月份降雨量见表 2。研究区 2018 年降雨主要集中在 5—9 月,约占全年总降雨量的 87.6%,其中 8 月份降雨量最大,约占全年总降雨量的 44.1%;2019 年降雨主要集中在 4—8 月,约占全年降雨量的 77.2%,其中 8 月份降雨量最大,约占全年总降雨量的 38.4%。侵蚀性降雨主要发生在 5—9 月,月平均侵蚀性降雨量在 5—8 月呈上升的趋势,在 9 月份下降;5—9 月份月平均侵蚀性降雨量分别占月均平均

降雨量的 25.60%,65.92%,65.95%,91.81%,38.14%。综上可知,侵蚀性降雨主要在 5—9 月份出现,月平均侵蚀性降雨量最大值在 8 月份。

表 2 研究区 2018 年、2019 年各月降雨和侵蚀性降雨统计

月份	降雨量/mm		月平均降雨量 ( $P_1$ )/mm	月平均侵蚀性 降雨量( $P_2$ )/mm	$P_2 : P_1 / \%$
	2018 年	2019 年			
1	3.6	0.6	2.10	0.00	0.00
2	1.4	4.6	3.00	0.00	0.00
3	33.9	7.0	20.45	0.00	0.00
4	31.0	33.5	32.25	0.00	0.00
5	52.5	10.0	31.25	8.00	25.60
6	145.5	32.0	88.75	58.50	65.92
7	27.5	135.5	81.50	53.75	65.95
8	292.0	208.5	250.25	229.75	91.81
9	31.5	17.0	24.25	9.25	38.14
10	4.0	36.5	20.25	0.00	0.00
11	26.0	24.5	25.25	0.00	0.00
12	12.9	33.7	23.30	0.00	0.00

### 2.2 侵蚀性降雨的雨型特征

对研究区 2018—2019 年的 16 次侵蚀性降雨以降雨历时、降雨量和平均雨强为分类变量进行 k-均值聚类分析,划分为 3 种雨型,其特征可以描述为:A 雨型长历时(2 470.0~2 565.0 min)、大雨量(143.5~207.5 mm)、大雨强(3.40~5.00 mm/h)、低频次(2 次);B 雨型中历时(750.0~1 795.0 min)、中雨量(10.5~104.5 mm)、中雨强(0.60~5.40 mm/h)、中频次(4 次);C 雨型短历时(30.0~530.0 min)、小雨量(6.0~40.5 mm)、小雨强(0.90~25.00 mm/h)、高频次(10 次)(表 3)。由发生频次可知,C 雨型是当地发生最频繁的侵蚀性降雨类型,约占总降雨频次的 62.5%;A 雨型虽然仅占总降雨频次的 12.5%,其平均降雨侵蚀力却是 C 雨型的 7.7 倍;B 雨型约占总降雨频次的 25.0%,其平均降雨侵蚀力是 C 雨型的 2.6 倍。这表明,短历时、小雨量、小雨强的 C 雨型所引起的产流产沙现象最为频繁,而长历时、大雨量、大雨强的 A 雨型虽然降雨频次较小,但却具有最强的降雨侵蚀力。

### 2.3 不同雨型条件下各植被措施对坡面产流和土壤侵蚀的影响

如图 1 所示,A 雨型产生的径流量>B 雨型>C 雨型。A,B,C 三种雨型条件下种植玉米的坡面径流量均最大,分别为 564.0,131.0,78.8 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。A 雨型下,以种植玉米的坡面为对照,板栗花生间作处理的减流率为 76.8%,李子树处理的减流率为 21.3%,苹果树处理的减流率为 58.0%;B 雨型下,以种植玉米的坡面为对照,板栗花生间作处理的减流率为 81.6%,李子树处理的减流

率为 5.2%, 苹果树处理的减流率为 70.1%; C 雨型下, 以种植玉米的坡面为对照, 板栗花生间作处理的减流率为 50.4%, 李子树处理的减流率为 54.2%, 苹果树处

理的减流率为 97.3%。由此可知, 在 A, B 雨型下, 板栗花生间作的处理坡面减流效果最好, 而 C 雨型条件下, 苹果树处理坡面减流效果最佳。

表 3 不同侵蚀性雨型指标特征

降雨类型	样本数	参数	降雨历时/min	降雨量/mm	平均雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )	I <sub>30</sub> /(mm·h <sup>-1</sup> )	降雨侵蚀力/(MJ·mm·hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )
A	2	平均值	2517.5	175.5	4.20	32.50	1316.22
		最小值	2470.0	143.5	3.40	22.00	619.30
		最大值	2565.0	207.5	5.00	43.00	2013.13
B	4	平均值	1123.8	46.3	2.68	24.75	445.46
		最小值	750.0	10.5	0.60	3.00	9.01
		P <sub>25</sub>	758.8	12.5	0.65	4.00	10.26
		中位数	975.0	35.0	2.35	21.50	216.28
		P <sub>75</sub>	1637.5	91.3	5.03	48.75	1109.84
		最大值	1795.0	104.5	5.40	53.00	1340.27
C	10	平均值	264.5	18.3	8.48	27.30	170.81
		最小值	30.0	6.0	0.90	5.00	5.12
		P <sub>25</sub>	85.0	10.1	2.45	9.75	23.05
		中位数	252.5	15.3	4.45	24.00	83.45
		P <sub>75</sub>	476.3	25.8	17.80	41.25	317.65
		最大值	530.0	40.5	25.00	64.00	599.10

注: P<sub>25</sub> 表示 25% 分位值。

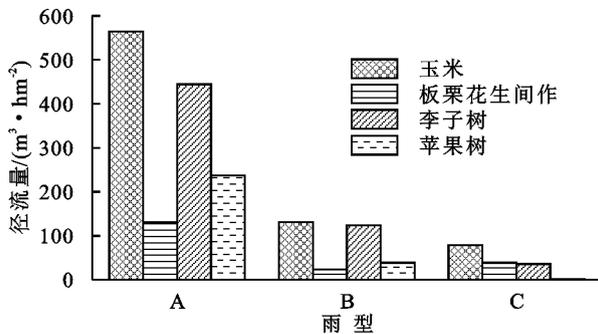


图 1 不同雨型各植被措施对坡面产流的影响

从土壤流失量的结果来看(图 2), A 雨型产生的土壤流失量 > B 雨型 > C 雨型。A 雨型下, 李子树处理的坡面土壤流失量最大, 为 8.6 t/hm<sup>2</sup>, 其次为玉米处理 7.2 t/hm<sup>2</sup>, 板栗花生间作处理的土壤流失量最小, 为 0.8 t/hm<sup>2</sup>。B 雨型下, 以坡面土壤流失量最大的玉米处理(8.6 t/hm<sup>2</sup>)为对照, 板栗花生间作处理的减沙率为 84.2%, 李子树处理的减沙率为 31.2%, 苹果树处理的减沙率为 85.1%; C 雨型下, 以种植玉米的坡面为对照(土壤流失量为 0.8 t/hm<sup>2</sup>), 板栗花生间作处理的减沙率为 53.2%, 李子树处理的减沙率为 68.4%, 苹果树处理的减沙率为 99.4%。由此可知, 各植被类型在不同雨型条件下的减沙效果不一: A 雨型下, 板栗花生间作处理的减沙效果最好; C 雨型下, 苹果树处理的减沙效果最好; B 雨型条件下, 苹

果树处理与板栗花生间作处理的减沙效果相当。

综合径流量和土壤流失量的结果可知, A 雨型下径流量和土壤流失量最大, 其次为 B 雨型, C 雨型径流量和土壤流失量最小。板栗花生间作的处理对 A, B 雨型的减流减沙效果明显; 在 C 雨型下, 相对于种植玉米, 也具有较强的减流减沙效果。因此, 板栗花生间作的植被类型, 对不同侵蚀性降雨类型均具有较好的阻控土壤侵蚀的作用。

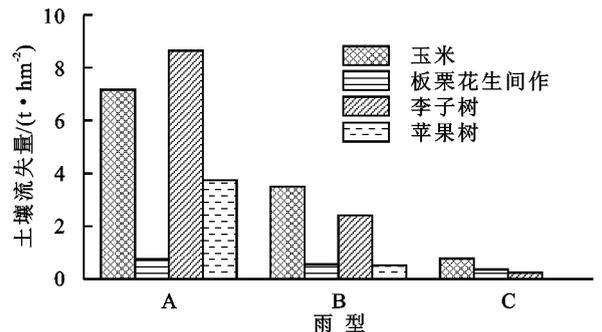


图 2 不同雨型各植被措施对土壤流失量的影响

## 2.4 各植被措施年土壤流失量特征

由表 4 可知, 2018 年种植玉米的坡耕地土壤侵蚀状况最为严重, 年土壤流失量为 27.57 t/hm<sup>2</sup>, 李子树处理的年土壤流失量次之, 为 27.24 t/hm<sup>2</sup>; 板栗花生间作处理的年土壤流失量最小, 为 3.46 t/hm<sup>2</sup>, 与玉米处理相比, 降低土壤侵蚀率 87.45%; 苹果树处理

年土壤流失量  $9.56 \text{ t/hm}^2$ ,与玉米处理相比,土壤侵蚀率降低  $65.32\%$ 。2019年种植玉米的坡耕地土壤侵蚀状况仍然是最严重的,年土壤流失量为  $8.50 \text{ t/hm}^2$ ;与玉米处理相比,苹果树、李子树、板栗花生间作处理可分别降低土壤侵蚀率  $99.41\%$ ,  $74.82\%$ ,  $54.00\%$ 。综合来看,种植玉米的坡耕地土壤抗土壤侵蚀能力最弱,年平均土壤流失量为  $18.04 \text{ t/hm}^2$ ;板栗花生间作处理抗土壤侵蚀能力最强,与玉米处理相比,土壤侵蚀率可降低  $79.57\%$ 。

表4 不同植物措施下土壤流失量

年份	植物措施	土壤流失量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	降低土壤 侵蚀率/%
2018	玉米(对照)	27.57	0
	板栗花生间作	3.46	87.45
	李子树	27.24	1.20
	苹果树	9.56	65.32
2019	玉米(对照)	8.50	0
	板栗花生间作	3.91	54.00
	李子树	2.14	74.82
	苹果树	0.05	99.41
平均	玉米(对照)	18.04	0
	板栗花生间作	3.69	79.57
	李子树	14.69	18.55
	苹果树	4.81	73.36

### 3 讨论

研究表明,黄河流域大汶河水系的石汶河下港小流域的侵蚀性降雨主要发生在5—9月,其中8月份月平均侵蚀性降雨量最大,约占8月份月平均降雨量的  $91.81\%$ 。通过雨型分析,我们得知C雨型(短历时、小雨量、小雨强)是山东省泰安市下港小流域最常见的侵蚀性降雨类型,约占总降雨频次的  $62.5\%$ ;A雨型(长历时、大雨量、大雨强)是造成该地区水土流失最主要的侵蚀性降雨类型,虽然降雨频次仅占总降雨频次的  $12.5\%$ ,但其平均降雨侵蚀力却是C雨型的  $7.7$ 倍。这主要是由于大雨强击溅土壤的能力较强,能够使较多土壤颗粒分离,同时A雨型长历时、大雨量的特征更进一步的使土壤颗粒分散和流动,导致水土流失加剧<sup>[13]</sup>。而C雨型虽然频次较高,但其雨强、雨量、历时均较小,因此对土壤侵蚀的影响远不及A雨型。张真真等<sup>[4]</sup>在南京市溧水区进行的雨型研究结果也证实了这一点,即发生频率最低的大雨量、中雨强雨型的降雨侵蚀力最大,发生频率最高的小雨量、小雨强雨型的降雨侵蚀力最小。综上所述,未来在大汶河水系的石汶河下港小流域应加强对A

雨型的防范。

不同侵蚀性降雨类型下,各植被类型对径流小区产流产沙的调控作用不同。在A雨型下,板栗花生间作处理与种植玉米的坡耕地相比,其减流、减沙率分别为  $76.8\%$ ,  $88.9\%$ 。在中历时、中雨量、中雨强的B雨型下,板栗花生间作处理的减流率为  $81.6\%$ ,减沙率为  $84.2\%$ 。这可能是由于在较大的雨强、雨量和历时下,板栗花生间作与苹果树、李子树和玉米相比,具有较高的覆盖度和复杂的根系或枯落物,能够涵养雨水,减缓地表径流,使其保持水土的能力更强<sup>[6]</sup>。C雨型下,苹果树处理的减流减沙效果最佳,与种植玉米的坡耕地处理相比,苹果树处理的减流率和减沙率分别为  $97.3\%$ ,  $99.4\%$ 。这可能是由于苹果树的郁闭度较大,在短历时、小雨量、小雨强的C雨型下,能够有效的截留降水,减少雨水对土壤表面的冲刷,进而减少地表径流,提高土壤抗侵蚀能力<sup>[1]</sup>。综合各植被措施下年土壤流失量可知,玉米处理的年平均土壤流失量可达  $18.04 \text{ t/hm}^2$ ,而板栗花生间作处理的土壤侵蚀率与玉米相比可降低  $79.57\%$ ,可认为是下港小流域防治水土流失的有效植被措施。

植被类型对土壤侵蚀特征与降雨特征之间的关系存在重要影响。玉米处理(表5右上)下,土壤流失量主要与雨量、最大30分钟降雨强度( $I_{30}$ )和降雨侵蚀力呈显著正相关关系,其中降雨侵蚀力影响最为显著;板栗花生间作处理(表5左下)下,土壤流失量主要受降雨侵蚀力的影响;李子树处理(表6右上)与苹果树处理(表6左下)下,土壤流失量主要与降雨历时、雨量和降雨侵蚀力呈显著正相关关系,其中降雨侵蚀力对其影响最大。这表明降雨侵蚀力是影响下港小流域土壤流失量的主导因子,在水土流失防治当中应加以关注。霍山县水土保持试验站的试验结果表明:对茶叶地、红芋地的产沙量贡献最大的为  $I_{30}$ ,对桑树地产沙量贡献度最大的是降雨量,对作物小区产流量贡献度最大的是降雨侵蚀力<sup>[14]</sup>。这可能是由于不同植被覆盖下,水土流失量的主导因子有所不同。未来开展水土保持相关研究与防治工作时,应充分考虑不同植被类型带来的影响。

### 4 结论

(1) 研究区侵蚀性降雨主要发生在每年的8月份,主要分为3种类型:具有低频次、长历时、大雨量、大雨强特征的A雨型;中频次、中历时、中雨量、中雨强的B雨型;高频次、短历时、小雨量、小雨强的C雨型。其中,C型降雨是当地最常见的侵蚀性降雨类型,A雨型是造成水土流失最主要的降雨类型。

表 5 玉米(右上)与板栗花生间作(左下)覆盖下土壤侵蚀特征参数与降雨特征的相关分析

指标	径流深	径流系数	含沙量	土壤流失量	雨前土壤含水量	雨后土壤含水量	植被覆盖度	历时	雨量	平均雨强	$I_{30}$	降雨侵蚀力
径流深	1	0.42	0.43	0.81**	0.29	0.40	0.28	0.70**	0.96**	0.06	0.58*	0.92**
径流系数	0.69**	1	0.33	0.26	-0.10	0.33	-0.37	-0.15	0.16	0.57*	0.70**	0.26
含沙量	0.32	0.25	1	0.68**	0.04	0.08	0.02	0.02	0.38	0.54*	0.59*	0.57*
土壤流失量	0.74**	0.67**	0.76**	1	-0.03	0.45	0.18	0.49	0.80**	0.05	0.57*	0.95**
雨前土壤含水量	0.15	-0.31	-0.31	-0.28	1	-0.44	0.28	0.23	0.34	0.30	-0.12	0.12
雨后土壤含水量	-0.11	-0.35	0.04	-0.12	0.16	1	-0.14	0.29	0.34	-0.20	0.33	0.43
植被覆盖度	0.29	-0.08	0.18	0.02	0.19	-0.07	1	0.47	0.37	-0.19	0.07	0.31
历时	0.38	-0.24	0.09	0.14	0.27	0.10	0.30	1	0.83**	-0.39	-0.01	0.61*
雨量	0.56**	-0.13	0.34	0.40	0.41	0.19	0.47	0.83**	1	-0.11	0.40	0.91**
平均雨强	0.09	0.15	0.13	0.11	0.45	0.02	-0.06	-0.39	-0.11	1	0.42	0.01
$I_{30}$	0.33	0.06	0.46	0.36	0.22	0.48	0.47	-0.01	0.40	0.42	1	0.63**
降雨侵蚀力	0.45	-0.12	0.49	0.50*	0.29	0.31	0.42	0.61*	0.91**	0.01	0.63**	1

注:\*\*表示  $p < 0.01$ , \*表示  $p < 0.05$ , 下表同。

表 6 李子树(右上)与苹果树(左下)覆盖下土壤侵蚀特征参数与降雨特征的相关分析

指标	径流深	径流系数	含沙量	土壤流失量	雨前土壤含水量	雨后土壤含水量	植被覆盖度	历时	雨量	平均雨强	$I_{30}$	降雨侵蚀力
径流深	1	0.62*	0.53*	0.99**	0.25	0.36	-0.17	0.54*	0.83**	0.01	0.48	0.94**
径流系数	0.80**	1	0.47	0.54*	-0.07	0.54*	0.15	0.03	0.39	0.50*	0.69**	0.57*
含沙量	0.65**	0.89**	1	0.56*	0.17	0.01	-0.04	0.10	0.37	0.41	0.34	0.48
土壤流失量	1.00**	0.79**	0.64**	1	0.25	0.30	-0.16	0.56*	0.83**	-0.04	0.40	0.92**
雨前土壤含水量	0.34	0.20	0.01	0.33	1	-0.22	-0.48	0.32	0.43	0.19	0.04	0.28
雨后土壤含水量	0.22	0.23	0.16	0.21	-0.02	1	-0.37	0.04	0.15	0.09	0.48	0.35
植被覆盖度	-0.26	-0.31	-0.37	-0.26	0.13	0.27	1	-0.24	-0.27	0.11	-0.20	-0.29
历时	0.57*	0.41	0.34	0.56*	0.13	0.17	-0.15	1	0.83**	-0.39	-0.01	0.61*
雨量	0.78**	0.56*	0.51*	0.77**	0.38	0.25	-0.02	0.83**	1	-0.11	0.40	0.91**
平均雨强	-0.07	-0.12	-0.11	-0.08	0.54*	0.06	0.38	-0.39	-0.11	1	0.42	0.01
$I_{30}$	0.29	0.25	0.28	0.27	0.23	0.47	0.52*	-0.01	0.40	0.42	1	0.63**
降雨侵蚀力	0.82**	0.60*	0.62*	0.81**	0.29	0.40	-0.02	0.61*	0.91**	0.01	0.63**	1

(2) 各侵蚀性降雨类型下,各植被类型对径流量和土壤流失量的调控作用不同。A 雨型下,板栗花生间作的减流减沙效果最好;B 雨型下,板栗花生间作处理的减流作用最强,苹果树和板栗花生间作的减沙效果相当,优于其他植被类型;C 雨型下,苹果树的减流减沙效果最佳。

(3) 种植玉米的坡耕地土壤侵蚀状况最为严重,平均每年的土壤流失量为  $18.04 \text{ t/hm}^2$ 。与种植玉米相比,板栗花生间作处理的抗土壤侵蚀能力最强,土壤侵蚀率可降低 79.57%;苹果树和李子树的抗土壤侵蚀能力次之,土壤侵蚀率分别降低 73.36%,18.55%。

#### 参考文献:

- [1] 李宗勋,李启艳,侯晓龙,等.不同自然降雨等级下不同郁闭度马尾松林的水土流失特征[J].水土保持学报,2020,34(1):27-33,40.
- [2] Seeger M, Errea M P, Beguería S, et al. Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant

factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees[J]. Journal of Hydrology, 2004, 288 (3/4): 299-311.

- [3] 李桂芳,杨任翔,谢福倩,等.不同土地利用方式下赤红壤坡面土壤侵蚀特征[J].水土保持学报,2020,34(2):101-107,230.
- [4] 张真真,单延功,吴明洲,等.南京市丘陵区不同农耕措施水土保持效益[J].水土保持研究,2021,28(1):80-84,92.
- [5] 王玲莉,张富,胡彦婷,等.侵蚀性降雨分类及植被类型对产流产沙的影响[J].人民黄河,2021,43(10):109-113.
- [6] Fang N F, Shi Z H, Li L, et al. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed[J]. Catena, 2012, 99(4): 1-8.
- [7] 杨青,杨广斌,赵青松,等.喀斯特地区不同降雨和植被覆盖的坡面产流产沙特征[J].水土保持通报,2020,40(1):9-16.

改变用途和损毁共 28 座,截至 2018 年底,现状实际保存有 354 座。其中,骨干坝 149 座,占 42.09%,中型坝 120 座,占 33.90%,小型坝 85 座,占 24.01%。72.6%的淤地坝集中分布在毛不拉孔兑、西柳沟和罕台川 3 个孔兑,其中毛不拉孔兑占 19.8%、西柳沟占 28.0%、罕台川占 24.9%。控制总面积 888.65 km<sup>2</sup>,设计总库容 1.569 393×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,设计拦泥库容 7.665 29×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,设计滞洪库容 8.028 64×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,设计淤地面积 2 225.81 hm<sup>2</sup>,累计减沙量 2.374 53×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,3.205 61×10<sup>7</sup> t。1986—1999 年、2000—2009 年和 2010—2018 年 3 个时段减沙量分别为:4.946 6×10<sup>6</sup> t,1.155 57×10<sup>7</sup> t,1.555 38×10<sup>7</sup> t。

#### 参考文献:

- [1] 冉大川,李占斌,罗全华,等.黄河中游淤地坝工程可持续减沙途径分析[J].水土保持研究,2013,20(3):1-5.
- [2] 李勉,姚文艺,史学建.淤地坝拦沙减蚀作用与泥沙沉积特征研究[J].水土保持研究,2005,12(5):111-115.
- [3] 武志强,付福林,张锐.川掌沟流域治沟骨干工程建设的重大作用[J].中国水土保持,2000(6):15-19.
- [4] 曾茂林,朱小勇,康玲玲,等.水土流失区淤地坝的拦泥减蚀作用及发展前景[J].水土保持研究,1999,6(2):127-134.
- [5] 李景宗,刘立斌.近期黄河潼关以上地区淤地坝拦沙量初步分析[J].人民黄河,2018,389(1):1-6.
- [6] 杨媛媛,李占斌,高海东,等.大理河流域淤地坝拦沙贡献率分析[J].水土保持学报,2021,35(1):85-89.
- [7] 焦菊英,王万忠,李靖,等.黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的减水减沙效益分析[J].干旱区资源与环境,2001,15(1):78-83.
- [8] 魏艳红,焦菊英,张世杰.黄土高原典型支流淤地坝减沙对输沙量减少的贡献[J].中国水土保持科学,2017,15(5):16-22.
- [9] 段菊卿.小流域淤地坝建设的水土保持效益浅析[J].水土保持研究,2012,19(1):144-147.
- [10] 韩向楠,谢世友,高云飞.近年无定河流域淤地坝拦沙作用研究[J].人民黄河,2018,40(11):5-8,37.
- [11] 刘晓燕,高云飞,马三保,等.黄土高原淤地坝的减沙作用及其时效性[J].水利学报,2018,49(2):145-155.
- [12] 李莉,史学建,杨吉山,等.次暴雨下小理河流域淤地坝拦沙能力分析[J].中国水土保持,2020(12)31-33.
- [13] 蒋凯鑫,于坤霞,李鹏,等.砒砂岩区典型淤地坝沉积泥沙特征及来源分析[J].水土保持学报,2020,34(1):47-53.
- [14] 王永吉,杨明义,张加琼,等.水蚀风蚀交错带小流域淤地坝泥沙沉积特征[J].水土保持研究,2017,24(2):1-5.
- [15] 王雄世,鄢玉英,牛占.小水库库容及淤积体的数学模型与简单测算[J].人民黄河,2009,31(8):29-32.
- [16] 杨吉山,张晓华,宋天华,等.宁夏清水河流域淤地坝拦沙量分析[J].干旱区资源与环境,2020,34(4):122-127.
- [17] 韩向楠,谢世友,高云飞.近年无定河流域淤地坝拦沙作用研究[J].人民黄河,2018,40(11):5-8,37.
- [18] 杨吉山,史学建,侯素珍,等.2016 年“8·17”暴雨西柳沟土壤侵蚀产沙量分析[J].人民黄河,2020,42(1):82-85,90.
- [9] 焦菊英,王万忠,李靖,等.黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的减水减沙效益分析[J].干旱区资源与环境,2001,15(1):78-83.
- [10] 魏艳红,焦菊英,张世杰.黄土高原典型支流淤地坝减沙对输沙量减少的贡献[J].中国水土保持科学,2017,15(5):16-22.
- [11] 段菊卿.小流域淤地坝建设的水土保持效益浅析[J].水土保持研究,2012,19(1):144-147.
- [12] 韩向楠,谢世友,高云飞.近年无定河流域淤地坝拦沙作用研究[J].人民黄河,2018,40(11):5-8,37.
- [13] 刘晓燕,高云飞,马三保,等.黄土高原淤地坝的减沙作用及其时效性[J].水利学报,2018,49(2):145-155.
- [14] 李莉,史学建,杨吉山,等.次暴雨下小理河流域淤地坝拦沙能力分析[J].中国水土保持,2020(12)31-33.
- [15] 蒋凯鑫,于坤霞,李鹏,等.砒砂岩区典型淤地坝沉积泥沙特征及来源分析[J].水土保持学报,2020,34(1):47-53.
- [16] 王永吉,杨明义,张加琼,等.水蚀风蚀交错带小流域淤地坝泥沙沉积特征[J].水土保持研究,2017,24(2):1-5.
- [17] 王雄世,鄢玉英,牛占.小水库库容及淤积体的数学模型与简单测算[J].人民黄河,2009,31(8):29-32.
- [18] 杨吉山,张晓华,宋天华,等.宁夏清水河流域淤地坝拦沙量分析[J].干旱区资源与环境,2020,34(4):122-127.
- [19] 韩向楠,谢世友,高云飞.近年无定河流域淤地坝拦沙作用研究[J].人民黄河,2018,40(11):5-8,37.
- [20] 杨吉山,史学建,侯素珍,等.2016 年“8·17”暴雨西柳沟土壤侵蚀产沙量分析[J].人民黄河,2020,42(1):82-85,90.
- [21] 徐相忠,刘前进,张含玉.降雨类型与坡度对棕壤垄沟系统产流产沙的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):56-62,71.
- [22] 黄凯,李瑞,李勇,等.贵州省黔南区不同侵蚀性雨型条件下生物措施对坡面产流产沙的响应[J].水土保持学报,2020,34(6):14-21.
- [23] 洪雨馨,姚蕊,孙鹏,等.降雨和前期含水量对大别山区不同作物坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2020,34(6):53-59.

(上接第 41 页)

- [8] 周梦玲,郭建斌,周金星,等.丹江口库区喀斯特坡地不同植被覆盖类型的产流产沙特征[J].中国水土保持科学,2020,18(2):77-83.
- [9] 王志伟,陈志成,艾钊,等.不同雨强与坡度对沂蒙山区典型土壤坡面侵蚀产沙的影响[J].水土保持学报,2012,26(6):17-20,26.
- [10] 吕刚,刘雅卓,陈鸿,等.褐土和棕壤坡耕地细沟侵蚀过程及侵蚀产沙特征[J].水土保持学报,2019,33(3):64-69.
- [11] 董亮,吕刚,傅昕阳,等.辽西低山丘陵区褐土和棕壤坡耕

地溅蚀过程模拟[J].水土保持学报,2020,34(1):78-83.

- [12] 徐相忠,刘前进,张含玉.降雨类型与坡度对棕壤垄沟系统产流产沙的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):56-62,71.
- [13] 黄凯,李瑞,李勇,等.贵州省黔南区不同侵蚀性雨型条件下生物措施对坡面产流产沙的响应[J].水土保持学报,2020,34(6):14-21.
- [14] 洪雨馨,姚蕊,孙鹏,等.降雨和前期含水量对大别山区不同作物坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2020,34(6):53-59.