

不同下垫面径流小区次降雨侵蚀特征相关分析

刘 栋¹, 刘普灵^{1,2}, 邓瑞芬¹, 徐 佳^{2,3}, 陈龙飞¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在延安市燕沟流域试验区布设了裸地、荒草地和灌木地 3 个坡面径流小区, 对次降雨雨量、历时、径流深、产沙量、入渗率等数据进行了定位观测, 并运用 SAS 软件对不同下垫面径流小区次降雨的侵蚀特征等相关问题进行了分析研究。结果表明, 无论降雨强度如何变化, 3 个小区的径流量、产沙量均呈依次降低趋势: 灌木地 < 荒草地 < 裸地; 而入渗率呈依次增大趋势: 灌木地 > 荒草地 > 裸地。其径流量与降雨量之间存在着很好的相关关系; 产沙量随降雨量的增大而增大, 其中裸地产沙量增大最为显著; 入渗率随着降雨量的增大有增加趋向, 但雨强增大时, 入渗率表现为降低趋势; 产沙量与径流量存在较好的相关关系, 相关系数最高达到 0.928 4, 荒草地小区产沙量与径流量的关系可用二次函数很好地描述。

关键词: 降雨量; 径流量; 产沙量; 入渗率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)02-0099-04

中图分类号: S157.1

Erosion Characteristics of Plots with Various Underlying Surfaces in Single Rainfall

LIU Dong¹, LIU Pu-ling^{1,2}, DENG Rui-fen¹, XU Jia^{2,3}, CHEN Long-fei¹

(1. *College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 2. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 3. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Three runoff plots of bare land, waste grassland and shrub land were established in Yangou watershed of Yan'an City. Based on observations of total rainfall, rainfall duration, runoff depth, sediment yield, infiltration rate in individual rainfall events, the erosion characteristics of each plot were investigated using the statistic package of SAS. The results indicate that regardless of rainfall intensity, both runoff and sediment yields decreased, and correspondingly the infiltration rate increased in the three plots as listed in order. Runoff were closely correlated with rainfall. Sediment yields increased with total rainfall, especially in the bare-land plot. Similarly, the infiltration rates increased with total rainfall amounts, but decreased significantly in rainfalls with high intensity. The sediment yields correlated well with the runoff. However, a quadratic function performed better in describing the relationship between the sediment yield and runoff of the grassland.

Keywords: rainfall; runoff; sediment yield; infiltration rate

降雨及其产生的径流是造成坡面土壤侵蚀的直接动力, 研究黄土高原的降雨、径流、产沙变化趋势, 对于黄土高原和黄河流域的环境变迁和治理具有深刻的影响^[1-3]。贾绍凤等^[4]利用黄土高原巴家嘴等 7 个流域的年降雨、径流和产沙资料, 采用多种函数形式模拟降雨和径流、径流和产沙之间的相互关系, 得

出黄土高原年降雨和径流之间, 年径流和产沙之间都存在着较好的相关关系, 并能较好地用线性函数表达。王万忠等^[5]通过分析研究子洲径流场 33 次降雨产流过程, 得到不同类型降雨条件下坡面产流过程中径流的变化规律。王占礼^[6]采用人工模拟降雨试验法对黄土裸坡降雨产流过程进行了研究, 得到雨强对

收稿日期: 2010-09-15

修回日期: 2010-11-02

资助项目: 国家重点基础研究(973)发展计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究(水土流失环境效应评价理论与指标体系)”(2007CB407205)。

作者简介: 刘栋(1987—), 男(汉族), 甘肃省定西市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持新技术新方法研究。E-mail: ld5229605@126.com。

通信作者: 刘普灵(1954—), 男(汉族), 陕西省蒲城县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀新技术、新方法研究。E-mail: pliu@ms.iswc.ac.cn。

径流深的影响可用线性相关方程进行描述。吴发启等^[7]对缓坡耕地降雨、入参与产流之间的关系进行了统计分析,建立了降雨量、降雨历时、平均降雨强度、坡长等与径流模数之间的关系,并给出了产流预报模型。周刚^[8]对湘西北女儿寨小流域 3 个地质类型区的 11 个退耕还林区进行定位观测研究,结果表明地表产流量和产沙量随降雨量下降而急剧减少。申震州^[9]对延安市燕沟流域不同下垫面小区的降雨量、径流量、产沙量、入渗率等数据进行分析,发现其随降雨变化呈现规律性变化。降雨强度越大,历时越长,雨量越大,对下垫面提供的侵蚀动能越大,对土壤的侵蚀能力越强,径流和产沙之间存在一定的关系^[10]。因而在可预测降雨变化趋势的前提下,本研究利用燕沟流域不同下垫面径流小区降雨侵蚀特征实测资料,运用 SAS 软件进行分析,探讨降雨与径流、产沙之间的相互关系,为该地区合理地进行植被恢复和建设,防治水土流失提供理论基础和科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

燕沟流域位于延安市南 3 km 处,属黄土高原丘陵沟壑区第 II 副区,为典型的黄土丘陵区地形地貌,沟壑纵横,梁峁起伏。燕沟主沟长 8.6 km,流域面积 46.88 km²,流域大致呈东南—西北走向,地形破碎,地面割裂严重,坡陡沟深。海拔 986~1 425 m,沟壑密度 4.8 km/km²,主沟纵比降为 2.41‰。

据延安市降水资料统计,延安市多年平均降水量为 536.9 mm,年最大降水量 871.2 mm,年最小降水量为 330 mm。其中,绝大多数年份(75%以上)里 6—9 月份降水量占全年降水量的 70%以上,且多以暴雨形式出现,年际变化也很大,通过暴雨频率计算,延安燕沟流域 10 年一遇 24 h 暴雨量为 110 mm,20 年一遇 24 h 暴雨量为 130 mm,降雨是该流域土壤侵蚀的主要外营力。流域内土壤以黄绵土为主,基本处于半熟化状态,土壤肥力低下。研究区内具有代表性的植被有白羊草、长芒草等;冠丛植被主要有柠条、沙棘、甘草、黄蒿、冰草等;人工林主要有刺槐、油松、侧柏、山桃、山杏等;经济林主要有苹果、梨、杏等。

1.2 径流小区布设

根据沟间地坡面状况共设立了 3 个径流试验观测小区,分别为多年退耕撂荒灌丛小区、退耕撂荒荒地小区、常规耕作条件下的坡耕地小区。3 个小区其坡向基本为半阳坡,坡位为半阳坡的中上部,坡度

20°~23°,坡面较为平整,每小区设计规格为 2 m×16 m,周围用浆砌砖块围护,下部布设体积为 1 m³ 径流池。其中,多年退耕撂荒灌丛小区撂荒后基本形成较为明显的灌草两层结构。灌层群落间群种为白芨梢,生长良好;草层群落间群种为赖草、阿尔泰紫菀。退耕撂荒荒地小区撂荒后基本形成草本群落,其群落建群种为猪毛蒿和赖草等,也有箭叶胡枝子、铁杆蒿、阿尔泰紫菀、狗尾巴草等混生其中。耕作条件下的坡耕地小区为对照,在观测过程中,人为地进行坡面的浅耕除草,坡面仅残存着零星的农田杂草,如苦麦菜、狗尾草等,但基本表现为裸地。

1.3 观测项目和方法

采用自记雨量计记录次降雨过程数据,并放置雨量筒测定降雨量。记录开始降雨,开始产流,降雨停止及径流停止时间,得出降雨历时。每次降雨结束后,根据集流池中泥沙以及径流量的总体积计算产沙量、径流深及入渗率。

2 结果与分析

表 1 为 2004—2005 年雨季期间观测天然降雨的次降雨量,降雨历时以及计算得到的次降雨过程中的径流量,产流量和入渗率。从表中可以看出,在产流的情况下,无论雨强如何变化,3 个小区的径流量,产沙量均呈现降低趋势,而入渗率呈增大趋势。

2.1 不同径流小区的径流深—降雨量关系

在相同的雨强条件下,3 个小区的径流深依次减小,表现为:灌木地<荒草地<裸地。对图 1 的变化趋势分析可知,各小区的径流深随着降雨量的增大而显著增大,且裸地的增长速度大于荒草地和灌木地的径流深的增长速度,灌木地的径流深增长最小,表明灌木较之裸地和荒草地具有最好的拦蓄降雨的功能。因坡面径流的产生是引起坡面土壤侵蚀的主要营动力,坡面径流的形成是大气降水与下垫面各自然地理环境因素相互作用的产物,其形成一般可分为降水过程、蓄渗过程和坡面漫流过程 3 个阶段^[11]。在一定雨强条件下,土壤入渗速率和坡面产流量之间的变化属于一个此消彼长的动态变化过程,满足水量平衡原则。

如果降雨历时足够长并且其他条件不发生变化,最终坡面产生的径流量将随降雨时间达到一个相对稳定的趋势。但是野外天然降雨雨强具有不稳定性,一般先从小到大变化,持续一段时间后出现从大到小的变化趋势,因此野外天然降雨条件下有其独特的降雨—产流规律。

表 1 2004—2005 年间各次降雨的径流深、产沙量、入渗率

| 产流日期 | 降雨历时/min | 降雨量/mm | 径流深/mm | | | 产沙量/kg | | | 入渗率/% | | |
|--------|----------|--------|--------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|
| | | | 裸地 | 荒草地 | 灌木地 | 裸地 | 荒草地 | 灌木地 | 裸地 | 荒草地 | 灌木地 |
| 050702 | 606 | 69.1 | 18.70 | 8.35 | 2.63 | 50.10 | 0.59 | 0.51 | 72.9 | 87.9 | 96.2 |
| 050719 | 48 | 3.3 | 2.29 | 0.82 | 0.59 | 3.24 | 0.13 | 0.10 | 30.5 | 75.0 | 82.0 |
| 050726 | 140 | 35.0 | 14.00 | 7.03 | 4.31 | 20.30 | 0.41 | 0.59 | 60.0 | 80.0 | 87.7 |
| 050807 | 506 | 11.8 | 6.14 | 2.33 | 1.48 | 13.00 | 0.27 | 0.25 | 48.0 | 80.3 | 87.4 |
| 050904 | 72 | 12.4 | 6.24 | 1.49 | 0.96 | 6.73 | 0.19 | 0.15 | 49.6 | 87.6 | 92.3 |
| 040616 | 30 | 11.6 | 8.13 | 6.37 | 2.33 | 17.76 | 2.51 | 1.15 | 29.9 | 45.1 | 79.9 |
| 040629 | 1 073 | 58.0 | 25.90 | 16.4 | 7.06 | 54.50 | 9.04 | 1.80 | 55.3 | 71.7 | 87.8 |
| 040726 | 142 | 39.7 | 9.38 | 7.41 | 3.36 | 31.45 | 0.69 | 0.60 | 76.4 | 81.3 | 91.5 |
| 040727 | 55 | 9.1 | 1.51 | 1.01 | 0.84 | 0.24 | 0.03 | 0.01 | 83.4 | 88.9 | 90.7 |
| 040803 | 21 | 16.0 | 4.94 | 3.71 | 2.36 | 9.03 | 0.11 | 0.06 | 69.1 | 76.8 | 85.3 |
| 040810 | 235 | 24.0 | 9.67 | 6.56 | 4.38 | 8.89 | 1.07 | 0.08 | 59.7 | 72.7 | 81.7 |
| 040812 | 200 | 11.2 | 4.03 | 1.68 | 0.67 | 1.20 | 0.05 | 0.07 | 64.0 | 85.0 | 94.0 |
| 040819 | 692 | 12.9 | 3.03 | 2.36 | 0.55 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 76.5 | 81.7 | 86.9 |
| 040819 | 980 | 17.3 | 4.88 | 3.80 | 3.72 | 0.96 | 0.06 | 0.03 | 71.8 | 78.0 | 78.5 |

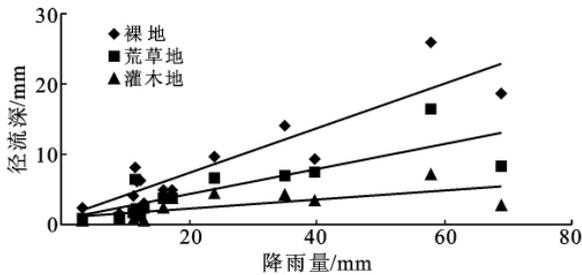


图 1 不同径流小区的径流深—降雨量变化

通过对不同径流小区的降雨特征间的数据运用 SAS 软件进行相关性分析可知,灌木地小区、荒草地小区、裸地小区的径流深与降雨量之间都有很好的相关性,其相关系数为 0.677 21~0.903 89,发生概率均小于 0.01,说明各小区的径流深变化趋势与降雨量基本吻合。在裸地上的降雨全部产生径流,说明自然恢复的荒草地和灌木地拦蓄径流的效果要比裸地好。通过线性回归分别对各小区的径流深与降雨量进行分析,拟合出其径流深随降雨量的变化关系满足 $y=ax+b$ 的线性方程。但黄土高原地区不同流域内不同下垫面小区的产流条件不同,不同流域内的径流量—降雨量关系不能用统一的公式来表达。

2.2 不同径流小区的产沙量—降雨量关系

在相同雨强条件下,3 个小区的产沙量也是依次减小的,表现为:灌木地 < 荒草地 < 裸地。降雨产流后,坡面土粒被径流携带而流失,使径流含沙量逐渐增加。坡面出现细沟后,径流侵蚀产沙能力迅速增强,坡面径流含沙率也随之增大。从图 2 的变化趋势可以明显的看出各小区的产沙量随着降雨量的增大而增大,其中裸地产沙量的增大最为显著,荒草地和灌木地的产沙量较之裸地很小,表明荒草地和灌木地

对防止土壤侵蚀有关键作用。天然降雨条件下,降雨初期,含沙率随着雨强的增大和降雨时间的延长而增大,持续一段时间后,当雨强的减小和降雨时间的延长对径流含沙率的影响作用平衡后达到最大值,随后由于雨强的减弱含沙率减小直到产流停止。而且由于降雨雨强的不稳定性,含沙率变大的时间也有所差异。通过表 2 可以看出,裸地小区产沙量与降雨量间有很好的相关性,相关系数达到 0.950 02,但荒草地、灌木地小区产沙量与降雨量间相关性不明显,其发生概率均大于 0.05,这也从侧面反映了不同下垫面径流小区拦截泥沙作用的不同。

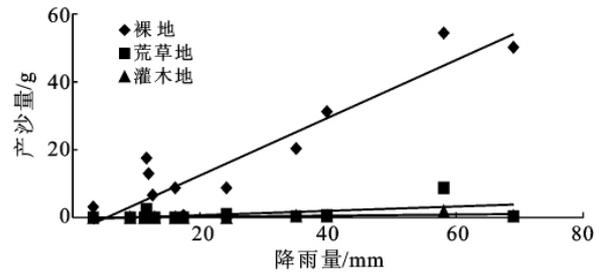


图 2 不同径流小区产沙量—降雨量变化

表 2 各小区降雨—侵蚀相关系数及其发生概率

| 小区类型 | 径流深/降雨量 | 产沙量/降雨量 | 入渗率/降雨量 | 径流深/产沙量 |
|------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 裸地 | 0.903 89 (<0.000 1) | 0.950 02 (<0.000 1) | 0.283 59 (0.325 8) | 0.928 40 (<0.000 1) |
| 荒草地 | 0.828 87 (0.000 2) | 0.512 11 (0.061 2) | 0.126 29 (0.667 0) | 0.852 07 (0.000 1) |
| 灌木地 | 0.677 21 (0.007 8) | 0.384 2 8 (0.174 9) | 0.417 71 (0.137 2) | 0.619 76 (0.046 8) |

注:括号内数字为发生概率。

2.3 不同径流小区入渗率—降雨量关系

在相同雨强条件下,3 个小区的入渗率变化表现为:灌木地>荒草地>裸地。从图 3 可以看出,3 个小区的入渗率随着降雨量的增大均呈增加趋向,这是由于降雨量大时,雨强不一定大,因此入渗率可能会出现增加的趋势,但雨强大时,入渗率一般是降低的。例如 2004 年 6 月 16 日的降雨量只有 11.6 mm,但是降雨时间也只有 30 min,雨强较大,降雨入渗率只有 29.9%。从表 2 可以看出不同小区的入渗率与降雨量间没有很好的相关性,发生概率均大于 0.05,因在降雨强度相同的条件下,不同下垫面小区的入渗率与其土壤容重、土壤孔隙率、持水能力有关,而灌木地、荒草地小区的土壤容重比裸地的小,土壤孔隙率高,持水能力强,入渗率偏大,而裸地土壤结构稳定性差,雨滴击溅封实了土壤毛细孔管,从而阻碍了水分的正常入渗。

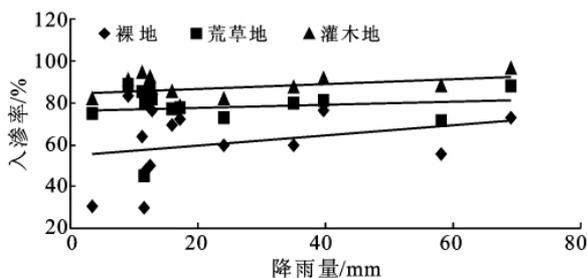


图 3 不同径流小区的入渗率—降雨量变化

2.4 荒草地小区的产沙量—径流深变化

从表 2 可以看出,灌木地小区、荒草地小区、裸地小区的径流深与产沙量间具有显著的相关性,其相关系数在 0.619 76~0.928 40。由图 4 可以看出,随着径流深的增加产沙量呈显著的增加趋势,由于荒草地小区的植被覆盖度较高,与裸地相比,荒草地能延缓产流,并有效拦蓄径流,增加入渗,当达到土壤饱和含水量时,随着降雨的继续,产沙量随径流深的增加呈显著的增加趋势。通过 SAS 软件对 3 个小区的径流深与产沙量进行回归分析,发现只有荒草地小区的产沙量与径流深间复相关系数接近 1,预测值与实测值更接近,因此荒草地小区的产沙量 W 与径流深 X 的关系可选用二次函数进行拟合($R^2=0.9336$)。

3 结论

(1) 在产流的情况下,无论降雨强度如何变化,3 个小区的径流量、产沙量变化表现为:灌木地<荒草地<裸地。入渗率变化表现为:灌木地>荒草地>裸地。

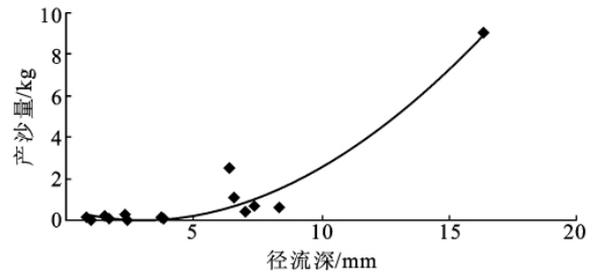


图 4 荒草地小区的产沙量—径流深变化

(2) 各径流小区的径流深与降雨量之间存在着很好的相关关系,其线性相关系数为 0.677 21~0.903 89,发生概率均小于 0.01。

(3) 各小区的产沙量随降雨量的增大而增大,其中裸地产沙量的增大最为显著而荒草地和灌木地的产沙量较之裸地很小;入渗率随着降雨量的增大都有增加趋向,但雨强较大时,入渗率一般是降低的。

(4) 产沙量与径流量存在较好的相关关系,相关系数最高达到 0.928 4,而且荒草地小区运用二次函数进行拟合,可基本反应产沙量与径流量的关系。

[参 考 文 献]

- [1] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [2] 陈浩. 流域系统水沙过程变异规律研究进展[J]. 水土保持学报,2001,15(5):102-107.
- [3] 吴发启,赵西宁. 坡耕地耕作管理措施对降雨入渗的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(3):115-117.
- [4] 贾绍凤,梁季阳. 黄土高原降雨—径流—产沙相互关系的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(3):42-47.
- [5] 王万忠,焦菊英. 黄土高原坡面降雨产流产沙过程变化的统计分析[J]. 水土保持通报,1996,16(5):22-28.
- [6] 王占礼,黄新会. 黄土裸坡降雨产流过程试验研究[J]. 水土保持通报,2005,25(4):1-4.
- [7] 吴发启,赵晓光. 缓坡耕地降雨、入渗对产流的影响分析[J]. 水土保持研究,2000,7(1):12-17.
- [8] 申震洲,刘普灵. 不同下垫面径流小区土壤水蚀特征试验研究[J]. 水土保持通报,2006,26(3):6-9.
- [9] 周刚,田育新. 湘西北退耕还林初期坡面产流产沙规律研究[J]. 中国水土保持科学,2009,7(2):118-122.
- [10] Zheng M G, Cai Q G, Cheng Q J. Sediment yield modeling or single storm events based on heavy-discharge stage characterized by stable sediment concentration [J]. International Journal of Sediment Research, 2007, 22(3):208-217.
- [11] 刘秉正,吴发启. 土壤侵蚀[M]. 西安:陕西人民出版社,1997:41.