

坡面产流产沙影响因素的灰色关联法分析

张晶晶¹, 王力^{1,2}

(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)

摘要: 影响坡面径流的因素有降雨量、雨强、植被等诸多因子。在陕西省长武县王东沟小流域布设径流小区, 采用灰色关联度的方法, 对不同影响因子进行了对比分析, 研究了降雨和植被对地表径流量和侵蚀量的影响。结果表明, 降雨量与径流量、侵蚀量的关联度最大, 各因子对径流量的影响系数排序为: 降雨量 > 最大雨强 > 雨强 > 植被覆盖度, 对侵蚀量的影响系数排序为: 降雨量 > 雨强 > 最大雨强 > 植被覆盖度。植被覆盖度与径流量和侵蚀量的关系为: 当覆盖度 < 25% 时, 径流量没有明显变化; 当其 > 25% 时, 径流量随着覆盖度的增加减少; 当覆盖度 < 50% 时, 随着覆盖度的增加, 侵蚀量下降趋势明显; 当其 > 50% 时, 随着覆盖度的增加, 侵蚀量下降趋势趋于平缓。

关键词: 坡面径流; 侵蚀; 灰色关联度; 影响因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)02-0159-04

中图分类号: S157.1

Gray Correlation Analysis on Influential Factors of Runoff and Erosion in Slope Lands

ZHANG Jing-jing¹, WANG Li^{1,2}

(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, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Many parameters were recognized as affecting factors of slope runoff, such as precipitation volume, precipitation intensity and vegetation. Runoff plots were established in a small watershed, Wangdonggou of Changwu County, Shaanxi Province. The method of grey rational degree was applied to analyze the effects of the precipitation and vegetation on slope runoff and erosion by comparing influencing factors. The results indicate precipitation had the highest rational degree with slope runoff and erosion. The parameters contributing to slope runoff in the descending order were rainfall volume, maximum rainfall intensity, rain intensity, and vegetation coverage. The parameters contributing to erosion in the descending order of rational degree were rainfall, rain intensity, maximum rainfall intensity, and vegetation coverage. When the coverage was lower than 25%, runoff volume was similar; when the coverage was over 25%, runoff volume reduced with increasing coverage. When the coverage was lower than 50%, the total erosion decreased rapidly with the increasing coverage. However, the erosion-reducing efficiency of the vegetation significantly decreased when the coverage was higher than 50%.

Keywords: slope runoff; erosion; gray correlation degree; influential factors

不同的自然地理条件, 研究方法, 研究区域面积及气候特征造成植被与流域水文过程的关系错综复杂^[1]。黄土区植被对径流的影响以及对小流域水沙变异关系的作用和影响是目前生态学^[2-7], 水土保持学^[8-11]等领域十分关注的问题。径流是降水与下垫

面因素综合影响的结果。植被作为下垫面的重要因素之一, 对于径流的影响非常大。良好的植被覆盖率可以减少降雨对地表的直接冲刷, 并通过根系活动增加土层的透水性, 有利于坡面表面的水土保持与整个流域的水源涵养。

收稿日期: 2010-07-03

修回日期: 2010-09-01

资助项目: 中科院知识创新工程项目“长武县水资源状况、降水集蓄模式与旱作农田生产力适度开发技术”(KSCX-YW-09-07)

作者简介: 张晶晶(1984—), 女(汉族), 甘肃省临洮县人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: zhangjingjing2004@163.com。

通信作者: 王力(1973—), 男(汉族), 山西省临县人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: wangli5208@nwsuaf.edu.cn。

国内不少学者对植被与径流的关系进行了深入研究,冯浩^[12]在陕西省杨凌区五泉乡野外径流调控措施定位观测站,以裸地为对照研究草地的减水减沙效应,提出草地较之于裸地具有显著的减水减沙效应,草地能将坡面径流起流时间推迟 3 倍以上。进一步研究发现随着草被覆盖度的增加,坡面径流量呈减小的趋势^[13]。金雁海等^[14]认为,植被覆盖度在 30%~70% 之间变化时,径流量随覆盖度的增加迅速减少;当覆盖度<30%,随覆盖度的减小,径流量成倍增加。综合以上研究发现,对于黄土高原沟壑区坡面径流,侵蚀与影响因子之间的关系研究很多,但对于坡面条件下植被覆盖度与径流量、侵蚀量的关系尚没有一致、明确的结论。本试验以陕西省长武县王东沟小流域的 10 个径流小区为试验点,选择灰色关联度方法,在研究黄土高原沟壑区各影响因子对坡面径流、侵蚀的影响程度的基础上,明确植被覆盖度变化所引起的径流量、侵蚀量的动态变化,分析植被覆盖度与径流量、侵蚀量的相关关系及其变化趋势,得出黄土高原沟壑区坡面植被覆盖度的范围,以期为黄土高原地区雨水资源的合理利用和水土流失治理提供科学依据。

1 研究区自然状况

王东沟小流域位于黄土高原沟壑区陕西省长武县洪家乡(35°12′16″—35°16′00″N, 107°40′30″—107°42′30″E),海拔 946~1 226 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均温度 9.2℃,年平均降水量 582.3 mm,其中 52.8% 分布在 7—9 月,属典型的雨养农业。该区是黄土高原沟壑区的典型代表,塬区黄土层厚度超过 100 m,地貌属典型的高塬沟壑区,塬面和沟壑各占 35% 和 65%。土壤属黑垆土,母质是中壤质马兰黄土,全剖面土质均匀疏松,通透性良好,有利于植物生长。

2 研究方法

2.1 径流小区布设

在王东沟小流域中下部的自然均匀的坡面上设置 10 个径流小区(编号 1—10),面积均为 1.5 m×9 m,正东向坡,坡度为 15°。植被以自然植被为主,主要有纤毛鹅冠草(*Roegneria ciliaris*)、蛇莓(*Duchesnea indica* Focke)、野菊花(*Flos chrysanthem Indici*)、狗尾草(*Pennisetum glaucum*)及冰草(*Agropyron cristatum*)等。其中 1—8 号小区为天然草地,9—10 号小区为裸地,覆盖度为 0。每个小区都有相同的测流设备,包括集水区、集水槽、输水槽、集水池以及挡水堤。集水区

四周用水泥板隔开,防止区内径流的流出和区外径流的流入。坡顶上方设人字型挡水堤,防止上方径流冲刷破坏小区。集水槽规格相同,为防止径流入渗,底部铺设塑料膜。集水槽两端向中央自由倾斜,使得小区产生的水、沙顺利汇入到输水槽,进入集水池。

2.2 测定项目

2.2.1 降雨量 降雨量、最大雨强、降雨历时由长武站气象系统采集所得。雨强是降雨量与降雨历时的比值。选择研究区降雨季节的 8 场典型降雨,最大值为 34.2 mm,最小值为 11.2 mm。

2.2.2 径流量和侵蚀量 每次降雨之后测定径流量和侵蚀量,在集水槽内选择 5 个点用卷尺测定径流深度并记录,计算平均值作为对应小区的径流量。每个小区收集 3 个径流样品,测含沙量,计算平均值作为侵蚀量。

2.2.3 植被覆盖度 在 2009 年 7 月 15 日到 9 月 25 日之间,每隔 10 d 测定一次覆盖度。采用针刺法:选样方 1 m²,借助钢卷尺和样方绳上每隔 10 cm 的标记,在每个标记点的位置用粗约 2 mm 的细针从上方垂直插下,针与植物相接触,即为一次“有”,如不接触则为“无”,在表上登记,最后计算“有”的次数,得出覆盖度(%)。

2.3 灰色关联分析的基本原理

对于两个系统之间的因素,其随时间或不同对象而变化的关联性大小的量度,称为关联度。在系统发展过程中,根据所研究的因子间动态变化的相似程度来判断因子间的密切程度,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低。因此,灰色关联分析方法是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法。因此,灰色关联度分析对于一个系统发展变化态势提供了量化的度量,非常适合动态历程分析^[15]。具体是根据比较数列集构成的曲线族与参考数列构成的曲线之间的几何相似程度,来确定比较数列集与参考数列的关联程度,其形状越相似,其相关联程度越大。比较数列和参考数列既可是有时序的系列,又可是无时序的系列^[16]。

设 x_1, x_2, \dots, x_N 为 N 个因素,反映各因素变化特性的数据列分别为 $\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}, \dots, \{x_N(t)\}, t = 1, 2, \dots, M$ 。由于各数列具有不同的量纲,且数量级不同,为了保证能得到正确的分析结果,首先应对原始数据进行初值化处理,即将各数列中每一个数均除以各自对应数列中的第一个数,这样就得到相应的新的数列,即为:

$$x_1 = \frac{X_1(K)}{X_1(K)}, \quad x_0 = \frac{X_0(K)}{X_0(K)} \quad (1)$$

关联性的实质上是曲线间几何形状的差别,因此可以将曲线间差值的大小,作为关联程度的衡量尺度。定义点关联系数的计算公式为:

$$\zeta_{ij}(t) = \frac{\min_j \Delta_{ij}(t) + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}(t)}{\Delta_{ij}(t) + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}(t)} \quad (2)$$

式中: $\zeta_{ij}(t)$ ——关联系数; $\Delta_{ij}(t)$ ——比较数列与参考数列各对应点的绝对差值; ρ ——称为分辨系数,其意义是削弱因最大绝对差数值太大引起的失真,提高关联系数之间的差异显著性。越小,分辨率越大,一般 $\rho=0.5$ ^[17-18]。在本研究中 $N=1,2,3,\dots,7, t=1,2,3,4$ ^[18]。根据灰色关联空间所述,关联度的计算公式为:

$$\lambda_{ij} = 1/n \sum_{k=1}^n \zeta_{ij}(t) \quad (3)$$

3 结果分析

3.1 径流量与影响因子之间的关系

设置影响因子覆盖度(X_1)、降雨量(X_2)、平均雨强(X_3)和最大雨强(X_4)为比较数列,径流量(X_0)为参考数列。利用公式(1—2)对各因子实测原始数据进行计算,得到关联系数见表 1。

利用关联度计算公式(3),求得影响因子对于径流量的关联度(表 2)。

表 1 影响因子与径流量的关联系数

小区编号	覆盖度 ζ_1	降雨量 ζ_2	雨强 ζ_3	最大雨强 ζ_4
1	1	1	1	1
2	0.792 62	0.821 35	0.822 56	0.805 12
3	0.600 23	0.900 20	0.879 70	0.835 89
4	0.661 39	0.785 24	0.750 99	0.775 59
5	0.475 73	0.886 86	0.741 90	0.846 05
6	0.419 55	0.917 19	0.763 00	0.873 60
7	0.379 97	0.843 83	0.945 76	0.848 31
8	0.333 33	0.931 57	0.804 47	0.776 02
9	0.732 97	0.903 13	0.768 85	0.873 43
10	0.634 42	0.935 24	0.762 39	0.697 77

表 2 影响因子对于径流量的关联度

影响因子	覆盖度 λ_1	降雨量 λ_2	雨强 λ_3	最大雨强 λ_4
关联度	0.603 02	0.892 46	0.823 76	0.833 18

灰色关联度越大,说明比较数列与参考数列的发展趋势越接近,或者说比较数列对参考数列的影响就越大。从上面结果中的灰色关联度看出,所选择的参考数列中各因素对径流量的影响均较大,最大值为 0.892 46,最小值为 0.603 02。降雨是水土流失的原

动力,与坡面径流有密切关系。降雨主要由降雨量、最大雨强、雨强等特征值来反映。降雨量对径流量的影响最大,关联度为最大值 0.892 46,这和已有的研究结果一致^[19]。最大雨强和雨强对于径流量的关联度为 0.833 18,0.823 76,雨强、最大雨强越大,径流量就越大。植被覆盖度对于径流量的关联度为 0.603 02,对于径流量有较大的影响。

3.2 侵蚀量与影响因子之间的关系

把参考数列 Y_0 设为侵蚀量,比较数列不变,利用公式(1—2)对原始数据进行计算,得到关联系数见表 3。

利用灰色关联法计算得到影响因子对于侵蚀量的关联度,计算结果见表 4。

表 3 影响因子与侵蚀量的关联系数

小区编号	覆盖度 ζ_1	降雨量 ζ_2	雨强 ζ_3	最大雨强 ζ_4
1	1	1	1	1
2	0.833 29	0.767 74	0.768 84	0.752 86
3	0.642 82	0.794 12	0.777 36	0.741 34
4	0.558 72	0.967 01	0.913 22	0.951 72
5	0.458 02	0.903 79	0.747 63	0.859 47
6	0.411 50	0.896 19	0.742 42	0.852 60
7	0.371 42	0.851 14	0.926 44	0.828 63
8	0.333 33	0.979 62	0.864 24	0.829 95
9	0.528 99	0.617 00	0.840 82	0.602 32
10	0.573 20	0.824 53	0.681 62	0.627 15

表 4 影响因子对于侵蚀量的关联度

影响因子	覆盖度 λ_1	降雨量 λ_2	雨强 λ_3	最大雨强 λ_4
关联度	0.571 13	0.860 11	0.826 26	0.804 60

各因子对侵蚀量的灰色关联度排序为:降雨量>雨强>最大雨强>植被覆盖度。降雨量对于侵蚀量的灰色关联达到最大值,为 0.860 11,降雨量越大,侵蚀量就越大。雨强和最大雨强对于侵蚀量的关联度分别为:0.826 26 和 0.804 60,雨强越大,土壤流失量就越大。随着雨强的增大,地面径流加大,径流冲刷增强,土壤渗透力降低,侵蚀产沙加剧。植被覆盖度对于侵蚀量的关联度为 0.571 13,与降雨因子比较,对于侵蚀量的影响较小。

3.3 植被覆盖度与径流量和侵蚀量的相互关系

植被覆盖度对径流量和侵蚀量有较大的影响,随着植被覆盖度的增加,径流量和侵蚀量都有下降趋势,草地较之于裸地有很好的减水减沙效益。径流量、侵蚀量随着植被覆盖度变化关系均可用二次方程进行拟合。由图 1—2 可以看出,当植被覆盖度小于 25%时,径流量变化趋势不明显;当其大于 25%时,随着覆盖度增加有明显的下降趋势。侵蚀量在植被

盖度方向具有十分明显的抛物线型趋势图,侵蚀量与植被覆盖度之间具有非常密切的上述定量关系。当植被覆盖度小于 50% 时,侵蚀量随着植被覆盖度的增加显著下降;当其大于 50% 时,侵蚀量的变化趋于平缓。植被覆盖度大,推迟坡面径流起流时间、减小径流流速、增加了径流在坡面入渗的时间、提高坡面的径流入渗量、起到了增加降雨入渗、减缓坡面流速的作用,在一定程度上减少了地表径流量。同时植被增加了地表糙率,降低了径流对地表的冲刷能力,植物根系会增强土壤的抗冲性能以及改善土壤构型,从而减少侵蚀量。通过相关性分析:植被覆盖度与径流量呈负相关关系,相关系数为-0.523;与侵蚀量呈极显著负相关,相关系数为-0.952;径流量和侵蚀量的相关系数达到 0.449,两者呈正相关。

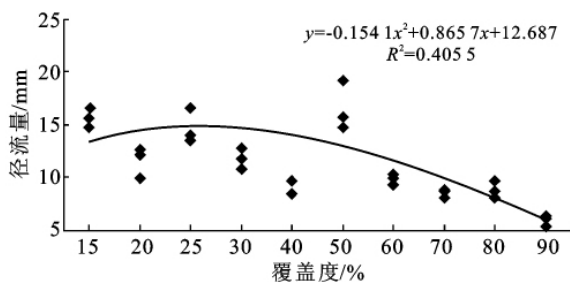


图 1 植被覆盖度与径流量的关系

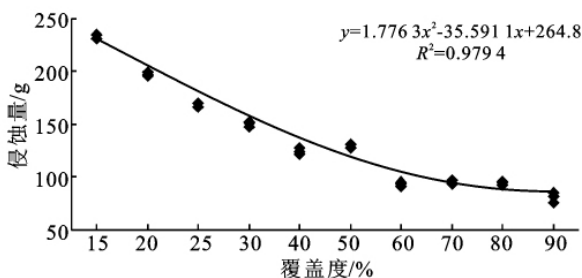


图 2 植被覆盖度与侵蚀量的关系

4 结论

(1) 降雨状况参数和植被状况参数对径流量的关联度大小顺序为:降雨量>最大雨强>雨强>植被覆盖度,对侵蚀量的关联度大小顺序为:降雨量>雨强>最大雨强>植被覆盖度。

(2) 草地较之于裸地有很好的减水减沙的效益。植被覆盖度<25%时,径流量没有明显变化;当其>25%时,径流量随着覆盖度的增加减少。当覆盖度<50%时,随着覆盖度的增加,侵蚀量下降趋势明显;当其大于50%时,侵蚀量的变化趋于平缓。因此增加植被覆盖度,改善下垫面状况,是控制黄土高原水土流失的根本措施。

[参 考 文 献]

- [1] 刘卉芳,朱清科,魏天兴.黄土区森林植被对流域径流的影响[J].水土保持学报,2004,18(2): 5-9.
- [2] 何友军,陈晓萍,叶小施,等.湖南省长江防护林生态防护功能研究[J].生态学杂志,2004,23(5): 121-125.
- [3] 张福庆,陈文波.鄱阳湖区土地利用的生态效应[J].生态学杂志,2007,26(7): 1058-1062.
- [4] 张继平,常学礼,李健英,等.基于3S的呼和浩特市土地利用变化及其生态效应[J].生态学杂志,2008,27(12): 2184-2190.
- [5] 毕晓丽,葛建平.基于地形和土壤的泾河流域植被生态系统保水效益分析[J].生态学杂志,2009,28(1): 95-101.
- [6] 田育新,李锡泉,袁正科,等.湘南红壤区不同林分类型涵水保土效益研究[J].水土保持研究,2002,9(4): 80-82.
- [7] 袁春明,郎南军,孟广涛,等.长江上游云南松林水土保持生态效益的研究[J].水土保持学报,2002,16(2): 87-90.
- [8] 李锡泉,田育新,袁正科,等.湘西山地不同植被类型的水土保持效益研究[J].水土保持研究,2003,10(2): 123-125.
- [9] 史玉虎,王栋,潘磊,等.三峡库区典型流域降雨变化与径流的关系研究[J].中国水土保持科学,2003,17(3): 118-120.
- [10] 姚文艺,茹玉英,康玲玲.水土保持措施不同配置体系的滞洪减沙效应[J].水土保持学报,2004,18(2): 28-31.
- [11] 据彤军,刘普灵,郑世清,等.黄土丘陵区生态恢复重建过程中流域降雨及其水沙变化特征研究[J].水土保持学报,2005,9(2): 57-60.
- [12] 金雁海,柴建华,朱智红,等.内蒙古黄土丘陵区坡面径流及其影响因素研究[J].水土保持研究,2006,13(5): 292-295.
- [13] 肖培青,姚文艺,申震洲,等.草被覆盖下坡面径流入渗过程及水力学参数特征试验研究[J].水土保持学报,2009,23(4): 50-53.
- [14] 冯浩,吴淑芳,吴普特.草地坡面径流调控放水试验研究[J].水土保持学报,2005,19(6): 23-109.
- [15] 邓聚龙.灰色预测与决策[M].武汉:华中工学院出版社,1986: 103-105.
- [16] 罗佑新,张龙庭,李敏.灰色系统理论及其在机械中的应用[M].长沙:国防科技大学出版社,2001.
- [17] 高智慧,陈顺伟,蒋妙定,等.亚热带岩质海岸不同类型植被的水土保持效益[J].浙江林学院学报,1999,16(4): 380-386.
- [18] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [19] 时兴合,秦宁生,汪青春,等.黄河上游径流变化特征及其影响因素初步分析[J].中国沙漠,2007,27(4): 341-350.