

黄土塬区坡面及小集水区泥沙输移比变化特征

赵晓光¹, 石 辉²

(1. 西安科技学院地质与环境工程系, 陕西西安 710054; 2. 西南师范大学资源与环境科学学院, 重庆. 北碚 400715)

摘 要:文章首先推荐了计算泥沙输移比 SDR 时, 所需侵蚀量、输移量的量测方法: 侵蚀量用坡长为 20 m (水平距)、宽 5 m 的直线坡, 在不同降雨及土地利用下, 通过小区出口断面的泥沙量; 输移量为坡长大于 20m 的径流小区或小集水区出口处的拦蓄量。然后通过黄土塬区坡面坡度为 9% 的 30 m、40 m、60 m 径流小区 9 年野外实验所得 45 组有效数据的分析, 发现单宽最小径流率 q_{min} 和最大含沙量 ρ_{max} 可判别坡面泥沙侵蚀与输移的对比关系, 即输移比 SDR , 并依据这些参数值, 可将侵蚀输移状态划分为“侵蚀——输移区”, “侵蚀——堆积——输移区”和“侵蚀——输移扰动区”3 个侵蚀输移状态类型区, 同时通过研究给出了各区之间过渡转换临界值的计算公式, 即 $\rho_{max} = 11.96 + 0.117q_{min}$ 或 $q_{min} = 8.187\rho_{max} - 85.676$ 。并通过对 21 条塬面不同面积 (0.5 hm^2 ~ 41.3 hm^2)、坡长 (30 m ~ 965 m) 小集水区淤积 (输移量) 的测量, 将测量值与标准小区侵蚀量作对比, 计算出各自的输移比 SDR , 并分别建立了 SDR 与坡长 L 、 SDR 与集水面积 A 的关系式, 即 $SDR = 2.85L^{-0.306}$ 和 $SDR = 0.735A^{-0.151}$, 为快速估算塬面小集水区泥沙输移比 SDR 值提供了方便。最后, 分析了植被覆盖、土壤含水状况、人为活动等其它因素对泥沙输移比 SDR 的影响。

关键词:输移比; 黄土塬区; 坡面; 小集水区

中图分类号: S151.7

文献标识码: A

水土流失是黄土高原最严重的自然与人为灾害, 对其危害程度的认识及流失规律的研究也在不断深化, 其中侵蚀泥沙输移研究, 近 10 多年来进展较快, 通常用泥沙输移比 (The sediment delivery ratio) 简称输移比或用 SDR 表示其侵蚀与输移的数量关系。 SDR 被定义为某区间在某一时段输出的泥沙量与其侵蚀泥沙量之比值。由于影响侵蚀和输移的因素很多, 关系又十分复杂, 再加上人们研究尺度的不同, 往往难以取得共识。美国学者多认为缓坡地的 SDR 在 1/2 ~ 1/3 间或更小^[1], C.W. 罗斯从泥沙运动与水文学理论出发, 提出影响侵蚀输移的降雨分散、泥沙沉积和泥沙输移数学模型^[2~4], 奥地利和加拿大学者研究了泥沙输移的复杂性, 指出需要用系统工程学方法, 对影响输移过程的主要环境因子进行分类, 才能相互比较^[5]。我国黄河水利委员会的学者研究了黄土高原较大流域的侵蚀输移关系, 得出 SDR 接近 1 的结论^[6,11], 以上研究对于认识和研究 SDR 变化规律起到了引路与带动作用。

侵蚀泥沙输移研究, 涉及面源污染、环境保护等诸多领域, 对于分析产沙来源和评价水土保持“减

沙、拦沙”效益, 提高治理体系的优化配置与设计水平, 深入了解侵蚀对土壤肥力的影响, 深化侵蚀规律的认识等均有重要的理论和实践意义。本文研究了黄土高原南部塬面坡耕地及小集水区侵蚀泥沙输移特征, 将输移比研究从宏观大范围引深向小区域的分区研究, 并将研究对象从全流域逐步细化到流域内各地貌单元, 以期更准确的掌握侵蚀输移的关系, 以此为基础, 更有效的指导水土流失的防治工作。

1 研究方法

1.1 侵蚀量的测定方法

水土流失区的土壤侵蚀, 主要有水力侵蚀和重力侵蚀两大类型, 局部地区风力侵蚀亦相当严重, 侵蚀方式的差异势必造成侵蚀量的测定方法不同。坡耕地以水力侵蚀为主, 包括有雨滴溅蚀、面状水流的分散与剥蚀和股流的冲刷侵蚀^[7~10]。前者用溅蚀杯测定, 后者通常用径流测验小区或测流建筑物测定, 小区或建筑物测流均包含了部分溅蚀下移量^[11~14]。因此, 为阐明泥沙输移比, 这里定义侵蚀

收稿日期: 2002-08-20; 改回日期: 2002-10-20。

作者简介: 赵晓光 (1965-), 男, 陕西西安人, 博士, 教授。主要从事水土保持与区域生态环境研究, 发表论文 40 余篇, 专著 1 部, Email: zxxgsoil@sina.com.cn

1) 牟金泽, 论流域产沙量计算中水的输移比。黄土高原小流域综合治理管理科学讨论会资料汇编, 1981, 223。

量, 是利用标准径流测验小区量测的泥沙流失量^[16], 即坡长为 20m(水平距)、宽 5m 的直线坡, 在不同利用下测定的降雨侵蚀在小区出口断面量测的泥沙量。本文中的侵蚀量, 是当地同时期的降雨径流测验值。

1.2 泥沙输移量的测定方法

泥沙输移量是指通过汇流系统某一断面的泥沙输出量, 对于标准径流测验小区, 依据前述定义, 泥沙输移量与侵蚀量相等, SDR 为 1; 当坡长在一定范围内增大时, 由较强降雨产生的水流冲刷下出现浅沟, 相应输移量增大, 而侵蚀量在单位面积上未变, 因之 $SDR \geq 1$; 当降雨较小时, 产生的泥沙出现沿程堆积, 出现 $SDR < 1$ 的情形。

据此, 分析了 > 20m 坡长的径流测验小区资料, 并量测不同尺度小集水区中拦蓄工程(如沟头防护、胡同坝、水窖等)的泥沙拦蓄量, 得到了输移值。

2 侵蚀泥沙输移比变化特征

2.1 坡耕地的输移比随坡长变化特征

坡面输移比变化, 实质是侵蚀能量和径流挟沙量随时间变化的反映, 是二者变化的函数, 它必然反应在不同坡长耕地上。通过对 1981 ~ 1999 年度 30m、40m、60m 坡长、坡度为 9% 坡面耕地 45 次天然降水情况下侵蚀产流的结果进行分析, 在降水、土壤及管理因子完全相同的情况下, 泥沙输移比 SDR 差异较大, 反映出侵蚀——输移变化的不同规律。

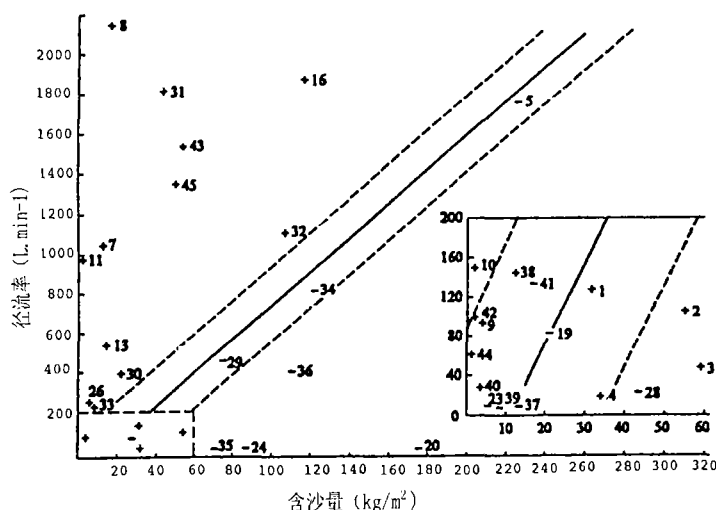


图 1 侵蚀—输移随坡长变化散点图

Fig.1 Relationships between erosion—moving and the length of slope

以平均单宽径流率 q_{\min} (L/min) 和平均含沙量 ρ_{\max} (kg/m³) 作为反映侵蚀能量和侵蚀能量消耗的因子, 发现单宽最小径流率 q_{\min} 和最大含沙量 ρ_{\max} 可以作为判别侵蚀——输移随坡长变化的依据(图 1)。在图 1 中以 q_{\min} 为纵轴, 以 ρ_{\max} 为横轴的平面坐标系中, 左上方为 q_{\min} 值大而 ρ_{\max} 值小的区间, 在该区间内, 随坡度增大, 侵蚀输移模数增大, 两者呈正相关; 图中右下方为 q_{\min} 值小 ρ_{\max} 值大的区间, 在该区间内, 随坡长增大, 侵蚀输移模数减小, 两者呈负相关。其中 5、8 号两个点值, 是该区两场较大暴雨侵蚀结果, 前者侵蚀严重而输移量小, 后者侵蚀较严重而输移量大。依特征可将前一个区间称为“侵蚀——输移区”, 后一个区间称为“侵蚀——堆积

——输移区”。

计算各点泥沙输移比 SDR , 在左上方正相关区的 $SDR > 1$, 右下方负相关区的 $SDR < 1$; 愈靠近纵横轴, SDR 差异愈大, 愈远离纵横轴, SDR 愈接近 1, 即愈接近图中的斜直线, 落在此线上的点, $SDR = 1$, 表示侵蚀泥沙全部输送下游, 这一值称为侵蚀——输移临界值。考虑到野外实验时, 由于种种因素的影响, 实测到 $SDR = 1$ 的值可能性较小, 但实验中又肯定存在(如图 1 中的 19 号、37 号、39 号、29 号、34 号、5 号、1 号等 $SDR = 1 \pm 5\%$ 的点, 近似认为 $SDR = 1$, 即含沙量和径流率恰好处于临界状态, 那么此时的含沙量即为最大含沙量 ρ_{\max} , 径流率即为最小径流率 q_{\min} , 经上述点资料分析, ρ_{\max} 与 q_{\min} 之间的关系可用下式来表示

$$\rho_{\max} = 11.96 + 0.117q_{\min} \quad (q_{\min} \geq 200\text{L}/\text{min}) \quad (2-1)$$

$$r = 0.980 \quad S = 11.259$$

$$q_{\min} = 8.187\rho_{\max} - 85.676 \quad (\rho_{\max} \geq 60\text{kg}/\text{m}^3) \quad (2-2)$$

$$r = 0.987 \quad S = 109.910$$

经方差分析, (2-1)(2-2)式均在 0.01 水平上显著。取 95% 的概率, 作出 $y_0 \pm 2s$ 区间(图中虚线), 可得只有在此区间内, $SDR \approx 1$, 即侵蚀量与输移量相等。在 45 次产流侵蚀中, 这部分占 33.3%。

两式在实践中的应用是显然的, 以(2-1)式为例, 当实测的 ρ 小于用该式计算的 ρ_{\max} 时, 则侵蚀泥沙输移与坡长呈正相关, 即 $SDR > 1$; 反之, 泥沙会

在途中落淤, $SDR < 1$ 。图中 $q_{\min} < 200\text{L}/\text{min}$ 和 $\rho_{\max} < 60\text{kg}/\text{m}^3$ 的区间, 两者关系紊乱(见大样图), 称之为“侵蚀-输移扰动区”, 这是在小流量、低含沙情况下, 输移过程易受人为生产活动或其它外界因素所干扰, 造成与前述规律不符的现象。此时, 实施水土保持措施的效益最为显著, 往往可达事半功倍之效。

2.2 小集水区的输移比变化特征

实测黄土高原南部淳化县、洛川县两地坡长在 30~965m、面积约在 0.4km² 以下的坡地小集水区拦蓄工程的淤积量, 并用同期径流泥沙测验资料推算其侵蚀量, 计算出输移比 SDR, 见表 2。

表 2 小集水区侵蚀输移调查表

Tab.2 A survey of erosion and moving area

调查地名	样本数	年限	坡长(m)	面积(hm ²)	SDR	其它
淳化林庄西沟	5	1990~1993	30~400	16.0~0.5	0.970~0.472	治理度 20%, 有浅沟 2 条
淳化县庄东沟	6	1990~1993	65~965	41.3~1.6	0.784~0.270	治理度 16%, 有浅沟 1 条
淳化孟庄沟	4	1990~1992	73~370	7.4~1.4	0.723~0.496	治理度 25% (有果园 2 片)
洛川东旺沟	6	1991~1992	30~170	22.0~0.5	0.924~0.639	治理度 20%, 无浅沟

计算表 2 中 21 个集水区的泥沙输移比, 其值在 0.27~0.97 间变动, 平均 $SDR = 0.664$ 。

将 SDR 值分别与其集水区坡长 L 和面积 A 关系点绘于图 2 中, 可看出两者呈幂函数关系。经回归分析, 关系式为

$$SDR = 2.85L^{-0.306} \quad (L > 30\text{m}) \quad (2-3)$$

$$r = -0.890, \quad S = 1.110$$

$$\text{和 } SDR = 0.735A^{-0.151} \quad (S > 0.10\text{hm}^2) \quad (2-4)$$

$$r = 0.771, \quad S = 1.289$$

方差分析表明, 两式均在 0.01 水平上显著。由标准差和图 2 看出, (2-3)式精度较高, 拟合曲线与实测点接近程度更好。

2.3 影响泥沙输移及输移比的其它因素

侵蚀泥沙输移受多因子影响。黄土塬区坡地, 是人们生活和生产的主要场所, 土地利用迥然不同, 使输移过程和数量发生变化。

2.3.1 植被覆盖及土壤含水状况的影响。

植被有截留降水和增强渗透的作用, 坡耕地中农作物群体密度大, 覆盖度高, 作用更显著, 但由于作物蒸散作用强烈, 尤其旺盛生长季节, 消耗水分多, 改变了地表径流的发生条件和运动, 从而影响泥沙的输移比。

1958 年彬县水保站实测了 10° 坡长为 10 m, 20 m, 30 m 农地径流小区的侵蚀与输移。该年 7~9

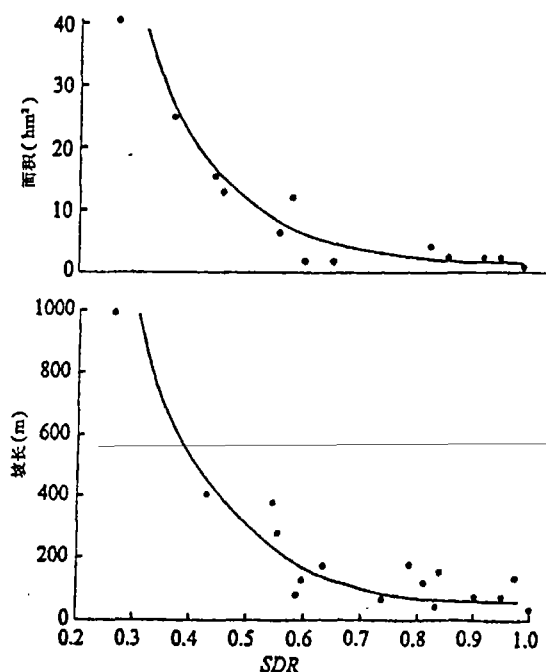


图 2 输移比与集水区坡长、面积关系图

Fig.2 Relationship of SDR and area as well as slope length in small watershed

月降水 202.5 mm, 为多年同期平均降雨量的, 55.1% 土壤含水少, 且有 20% 以上的草被覆盖。3 个小区侵蚀输移模数分别为 762.0, 679.8 和 259.5 t/km², 依前述输移比定义, 30 m 坡长的耕地 $SDR = 0.38$ 。

在不同坡长的休闲地测验小区中, 9 年中有 6 年第一次产流侵蚀的输移是随坡长增加而降低, 平均输移比 $SDR = 0.680$ 。在黄土高原, 春季降水少, 气温回升快, 多风, 土壤处于干旱状态, 因而, 产流少又含沙高, 导致了输移比变化。

2.3.2 人为活动的影响。

人为活动对泥沙输移的影响主要有两方面: 一是通过修建各类排、引工程, 或疏通河道, 将上游来水来沙全部输送至下游; 二是通过修建各类大小不一的拦蓄工程, 将上游洪水、泥沙全部或部分拦蓄, 不使其下移就地利用。就水土保持而言, 后一活动是工作的主体, 且日益发展, 对泥沙输移比影响愈来愈明显。

以淳化县泥沟流域塬面为例, 1986 年有水窖 500 眼, 沟头防护工程 3 座, 控制面积 0.431 km^2 , 到 2000 年, 水窖为 780 眼, 沟头防护工程 21 座, 沟边防护埂 30 km, 不计沟边埂控制面积已达 2.23 km^2 , 这些工程主要拦蓄村庄道路、沟头陡坡地强烈水土流失。2000 年输沙量减少了 775.7t, 使塬面坡地泥沙输移比 SDR 从 0.92 降至 0.56。

3 结论

研究泥沙输移比 SDR , 需要确定侵蚀量和输移量, 建议用标准测验小区测定侵蚀量, 用其它拦蓄、测流等方法确定输移量。

在坡长 30 m、40 m、60 m, 坡度为 9% 的缓坡地的侵蚀输移研究中, 发现可用单宽最小径流率 q_{\min} 和平均最大含砂量 ρ_{\max} 作为指标, 利用侵蚀—堆积临界式 (2-1) 或 (2-2), 判别 SDR 的变化区间。当实测 q 大于计算的 q_{\min} 或实测的小于计算的 ρ_{\max} 时, 处于“侵蚀——输移区”, $SDR > 1$; 反之, 处于“侵蚀——堆积——输移区”, $SDR < 1$; 当 $q < 200 \text{ L/min}$ 和 $\rho < 60 \text{ kg/m}^3$ 时, 处于“侵蚀——输移扰动区”, 其 SDR 易受外界因素干扰, 变化不定。

黄土高原南部小集水区的侵蚀输移比, 可用式 (2-3) 或式 (2-4) 来估算, 一般介于 0.27 ~ 0.97 间, 平均为 0.664。

影响泥沙输移比的因素还有植被覆盖、土壤含水状况、人为活动等。随着流域水土保持工作的逐步推进, SDR 会逐渐变小。

参考文献:

- [1] Stall. J B. 黄委会水保处译. 坡地侵蚀与泥沙输移[M]. 郑州: 黄河水利委员会出版中心. 1988.177.
- [2] C. W. Rose, J. R. Williams, G. C. Sander and D. A. Barry. A mathematical model of soil erosion and deposition processes: (1) Theory for a plane land element, Soil Sci. Soc. Of Amer. J. 1983.47.
- [3] C. W. Rose, J. R. Williams G. C. Sander and D. A. Barry. A mathematical model of soil erosion and deposition processes. (2). Application to data from an arid - zone catchment. Soil Sci. Soc. of Amer. J. 1983.47.
- [4] R. Lal. 黄河水利委员会宣传出版中心译. 土壤侵蚀研究法. 北京: 科学出版社, 1992. 30.
- [5] Klaghofer E, Summer W, Villeneuve J P. Some remarks on the determination of the sediment delivery ratio. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions. IAHS publication UK, 1992.113.
- [6] 龚时旸. 黄河泥沙来源与输移[A]. 见 河流泥沙国际学术论文集[J]. 香港: 光华出版社, 1980. 43.
- [7] M. A. Nearing. A process - based soil erosion model for USDA - water erosion prediction project technology. Trans. of the ASAE. 1989.32(5)
- [8] P. Y Julien and D. B. Simons. Sediment transport capacity of over flow. Trans. of the ASAE. 1985.28(3).
- [9] p. y. Julien. Soil erosion losses from upland areas. Proceedings of the fourth international symposium on river sedimentation. Beijing: China Ocean Press, 1989.
- [10] B. T Guy. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. Trans. of the ASAE. 1987.30(3).
- [11] J. Y. Lu and E. A. Cassol. Sediment transport relationships for shallow flow condition. Proceedings of the fourth international symposium on river sedimentation. Beijing: China Ocean Press, 1989.
- [12] G. R. Foster. Modeling the soil erosion process. In hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers. 1982.99.
- [13] L. D. Meyer and W. C., Harmon. Sediment losses from cropland flows of different gradients. Trans. of the ASAE. 1985.28(2).
- [14] S. M. Lewis, B. J. Barfield Storm, D. E. Drmsbee and L. E. Proil - an erosion model using probability distributions for rill flow and density, 1. model development. Trans of the ASAE. 1994.37(1).
- [15] 水利电力部农村水利水土保持司. 中华人民共和国水利电力部颁标准·水土保持规范第 1 版. 北京: 水利电力出版社. 1988.

The Change of the Sediment Delivery Ratio From the Slope and Water-Collected Plot in the Gull Region of Loess Plateau

ZHAO Xiao-guang^{1,2} SUI Hui²

(1. Xi'an University of science and technology, Xian 710054;

2. Southwest normal university, Beibei Chongqing 400715)

Abstract: Firstly, Methods to measure soil erosion and sediment delivery were introduced when The methods were used to calculate the ratio of sediment delivery. With different condition of rain and land utilization, Soil erosion can be calculated through measuring the sediment at the exit transect of the plot (20 meters long and 5 meters wide); sediment delivery can be gained through measuring the sediment reserving at the exit of runoff plot or small water collection area which slope length is more than 20 meters. Then After 45 group data from runoff plot 30, 40 and 60 meters long, slope gradient 9% for 9 years were analysed, rate of the minimum runoff unit width and the maximum sediment may use to discriminate the comparative relationship between erosion and sediment delivery, e. g. the ratio of sediment delivery. According to these parameter, the erosive delivery status was divided in to three patterns: erosion-delivery plot erosion-sediment trap-delivery plot and erosion-de livery and disturbance plot. The formula for the critical value among the different plot is $\rho_{\max} = 11.96 + 0.117q_{\min}$ and $q_{\min} = 8.187\rho_{\max} - 85.676$. By measuring sediment delivery from different area (0.5hm^2 - 41.3hm^2) and slope length (30m-965m) water-collected plots and comparing erosion amount from standard plot, sediment delivery ratio was obtained. Equation between sediment delivery ratio (SDR) and slope length or water-collected area is $SDR = 2.85L - 0.306$ or $SDR = 0.735A - 0.151$, The equation is convenient for rapid calculating SDR. Finally, effects of vegetation cover, soil moisture and mans activity and other fators on the sediment delivery ratio were also discussed.

Key words: sediment delivery ratio; loess gully region; slope surface; small water collected

《福建林学院学报》简介

《福建林学院学报》是福建农林大学主办的与林有关的综合性学术类期刊,刊载全科林学的科研报告、学术论文、文献综述、专题讨论等文章。1960 年创刊,国内外公开发行,面向全国组稿。《福建林学院学报》被国际著名的检索机构,SCI、FA、FPA、CA、AJ、国内所有的林业文摘数据库、中国生物学文摘、中国农业文摘等 20 多种国内外重要数据库和权威检索期刊收录。根据中国科学引文数据库公布,《福建林学院学报》的总被引频次为 385 次,排名第 75 位;影响因子为 0.474 7,排名第 52 位。近年来,《福建林学院学报》荣获福建省高校优秀学报一等奖,福建省优秀科技期刊一等奖,华东地区最佳期刊,全国高校优秀学报一等奖,全国优秀科技期刊二等奖,全国首届《CAJ—CD》执行优秀奖等。本刊现还有部分过刊库存,欢迎读者订阅。联系人:卢凤美。

联系地址:353001 福建南平 福建林学院学报编辑部,电话:0599-8508082