

鲁中南山区坡面草业用地水土流失预测经验模型研究

张子雪¹, 吕兰州², 杨吉华¹, 陈安强¹

(1. 山东农业大学 林学院水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 山东省水利厅 水土保持处, 济南 250013)

摘要: 以临朐、蒙阴、曲阜三个水土保持试验站不同草本植物、不同坡度、不同盖度条件下径流小区内的不同降雨量、不同降雨强度所产生的径流量和侵蚀量观测资料进行分析。结果表明: 在相同坡度不同草本植物、不同坡度相同盖度、不同盖度相同坡度条件下, 草本植物径流小区内的降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈线性回归关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈对数关系, 径流量和侵蚀量均随降雨量和降雨强度的增大而增大; 得出在综合因子影响下的鲁中南山区坡面草业用地径流量预测经验模型和侵蚀量预测经验模型。

关键词: 鲁中南山区; 草业用地; 径流量; 侵蚀量; 预测经验模型

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0024-06

Anticipated Empirical Model on Soil and Water Erosion for Grass Land in Mountain Areas of Middle Southern Part of Shandong Province

ZHANG Zi-xue¹, LÜ Lan-zhou², YANG Ji-hua¹, CHEN An-qiang¹

(1. Soil and Water Conservation Department of Forest College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Shandong Province Water Conservancy Government Office Water and Soil Conservation Department, Jinan 250013, China)

Abstract: The paper studies observational data on runoff and soil erosion in runoff-plots of different grass, different slope gradient, different cover degree in Linqu, Mengyin, Qufu three soil and water conservation experimental stations. The results show that there are good linear relation between rainfall and runoff and between rainfall and soil erosion on the same slope gradient, the different crops and the same cover degree, different slope gradient and the same slope gradient, the different cover degree in grass runoff-plots. There are good logarithmic relation between rainfall intensity and runoff and between rainfall intensity and soil erosion. With the increase of rainfall and rainfall intensity, runoff and soil erosion are increasing. Anticipated empirical model on water and soil erosion for grass land in mountain areas of middle southern of Shandong province for runoff and soil erosion are deduced.

Key words: mountain areas of middle southern of Shandong province; grass land; runoff; soil erosion; anticipated empirical model

鲁中南山区具有特殊的自然地理环境, 地形及下垫面条件是影响水土流失因素中的决定性因子, 研究资料表明草本植物能快速有效地覆盖坡地地表, 控制和减少水土流失。龙忠富^[1]等指出, 在相同的坡度下, 种植百喜草比裸地可大幅度降低径流量与泥沙冲刷量。涂利华^[2]等研究表明, 草本植物覆盖度是影响产流产沙的重要因素, 覆盖度较好的小区所形成的径流深及产沙量均处于较低水平。对于

水土流失模型的研究, 主要有美国的通用水土流失模型 USLE、修正水土流失模型 RUSLE、水蚀预测模型 WEPP 和中国土壤流失方程等^[3-6]。从 20 世纪 80 年代以来, 山东省水利厅在曲阜、蒙阴、临朐 3 个典型水土流失监测试验站在不同坡度径流小区内种植草木樨、沙打旺和封育生长的自然草地, 以裸地径流小区为对照, 观测不同草本植物、不同坡度、不同植被盖度条件下径流小区内的不同降雨量、不同

* 收稿日期: 2008-08-26

基金项目: 山东省自然科学基金项目“鲁中南山区不同土地利用类型水土流失预测模型研究”

作者简介: 张子雪(1982-), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与流域综合治理方面的研究。E-mail: zixue8218@163.com

通信作者: 杨吉华(1957-), 男, 山东济宁人, 教授, 主要从事土壤侵蚀与流域综合治理的教学和科研工作。E-mail: jhyang@sdau.edu.cn

降雨强度所产生的径流量和侵蚀量, 获得了丰富的草业用地水土流失监测资料。通过对鲁中南山区坡面草业用地水土流失进行定量分析, 揭示坡面草业用地综合因子对径流量、侵蚀量的影响及其数量关系, 提出鲁中南山区坡面草业用地的水土流失量预测经验模型, 为鲁中南山区坡面草业用地水土流失量的计算提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 临朐县辛庄水土保持试验站

位于临朐县辛庄小流域, 流域面积 8.34 km^2 , 海拔 431 m , 地面坡度 $5^\circ \sim 30^\circ$, 岩石为片麻岩, 土壤为棕壤, 土壤容重 1.36 g/cm^3 , 总孔隙度 50% 。多年平均气温 12°C , 年平均无霜期 191 d , 年平均降水量 800 mm , 年均径流深 350 mm 。植被属温带落叶阔叶林, 主要农作物有小麦、大豆、谷子、甘薯、花生等, 草地有沙打旺、草木樨、封育生长的自然草地。

1.2 蒙阴县孟良崮水土保持试验站

位于蒙阴县孟良崮小流域, 流域面积 16.28 km^2 , 海拔 212.8 m , 地面坡度 $3^\circ \sim 25^\circ$, 岩石为片麻岩, 土壤为棕壤。多年平均气温 12.9°C , 年平均无霜期 196 d , 年平均降水量 884 mm , 年平均径流深 400 mm 。植被属温带落叶阔叶林, 主要农作物有小麦、大豆、谷子、甘薯、黄烟、花生等, 草地有沙打旺、草木樨、封育生长的自然草地。

1.3 曲阜市红山水土保持试验站

位于曲阜市红山小流域, 流域面积 8.88 km^2 , 海拔 548.1 m , 地面坡度 $3^\circ \sim 25^\circ$, 岩石为花岗片麻岩, 土壤为棕壤。多年平均气温 13.7°C , 年平均无霜期 192 d , 年平均降水量 671.6 mm , 年平均径流深 246 mm 。植被属温带落叶阔叶林, 主要农作物有小麦、大豆、谷子、甘薯、花生等, 草地有沙打旺、草木樨、封育生长的自然草地。

2 试验材料与研究方法

2.1 试验材料

在径流小区内分别种植沙打旺 (*Leguminosae*)、草木樨 (*Melilotus Miller*); 人工封育的自然草地有白羊草 (*Bothriochloa Kuntze*)、荻草 (*Arthraxon hispidus*)、百里香 (*Thymus Linn*)、结缕草 (*Zoysia japonica*) 等, 裸地在每年汛期前进行除草, 在汛期内进行拔草。

2.2 研究方法

2.2.1 径流小区的 布 设 在临朐县辛庄水土保持试验站建立 6 个草地径流小区, 在蒙阴县孟良崮水

土保持试验站建立 4 个草地径流小区, 在曲阜市红山水土保持试验站建立 8 个草地径流小区。试验径流小区面积为 $20 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$, 坡度为 $25^\circ, 20^\circ, 15^\circ, 10^\circ, 5^\circ$ 五个坡度。

2.2.2 降雨量和降雨强度的观测 在径流小区内布设自记雨量计, 记录降雨过程, 据此计算降雨量和降雨强度。

2.2.3 径流量和侵蚀量的观测 使用蓄水池测量径流小区的径流量 (Q); 用取样桶采集泥沙样品, 将蓄水池的泥沙水量充分搅拌均匀混合后取样, 过滤, 烘干称重, 测量径流小区的侵蚀量 (M_s)。

2.2.4 降雨量和降雨强度分级 根据日降雨量 (P), 共分 6 个雨量级, 即 $0 \sim 9.9, 10 \sim 29.9, 30 \sim 49.9, 50 \sim 79.9, 80 \sim 99.9, > 100 \text{ mm}$; 根据计算的 30 min 最大降雨强度 (I_{30}), 共分 7 个雨强级, 即 $0 \sim 5, 5 \sim 10, 10 \sim 20, 20 \sim 30, 30 \sim 40, 40 \sim 50, > 50 \text{ mm/h}$ 。

2.2.5 数据处理 对所得数据运用 SPSS11.5 软件和 Excel2003 软件进行统计分析, 运用 Excel2003 软件建立各因子与径流量、侵蚀量的回归方程, 运用 SPSS11.5 软件建立综合因子影响下的径流量与侵蚀量预测经验模型。

3 结果与分析

3.1 相同坡度、不同草本植物的径流小区径流量与侵蚀量研究

由于不同的草本植物具有不同的覆盖度和不同的根系网络, 拦蓄径流和固持土壤的能力不同, 所以不同草本植物的径流小区所产生的径流量和侵蚀量也会不同。根据近 10 a 汛期 (5 月 1 日 - 9 月 30 日) 的实测资料, 选取坡度 25° 坡长 20 m 的草木樨、沙打旺、自然草地和对照研究坡面不同草本植物径流小区内的径流量和侵蚀量。

对草业用地径流小区内的降雨量、降雨强度与径流量、侵蚀量进行相关分析。由表 1 可见, 草业用地径流小区内的降雨量、降雨强度与径流量、侵蚀量均呈显著相关。在此基础上对草本植物径流小区内的降雨量与径流量、降雨强度与径流量、降雨量与侵蚀量、降雨强度与侵蚀量采用直线方程、指数方程、幂函数方程和对数方程进行回归分析, 研究不同草本植物径流小区内的降雨量 P (mm) 与径流量 Q (m^3/km^2)、降雨强度 I_{30} (mm/h) 与径流量、降雨量与侵蚀量 M_s (t/km^2)、降雨强度与侵蚀量之间的关系, 并选用回归相关系数最高的回归模型来拟合它们的关系 (图 1-4)。

表 1 相同地形不同草本植物降雨因子与径流量、侵蚀量的相关关系

草本植物类型	坡度/(°)	植被盖度/%	样本数	降雨量与径流量	降雨量与侵蚀量	降雨强度与径流量	降雨强度与侵蚀量
草木樨	25	96	12	0.938*	0.875**	0.972**	0.911**
沙打旺	25	94	11	0.863**	0.913**	0.930**	0.880**
自然草地	25	70	12	0.911**	0.977**	0.878**	0.995**
对照	25	10	11	0.887**	0.989**	0.937**	0.967**

注: * 表示在 0.05 水平下显著相关; ** 表示在 0.01 水平下显著相关。

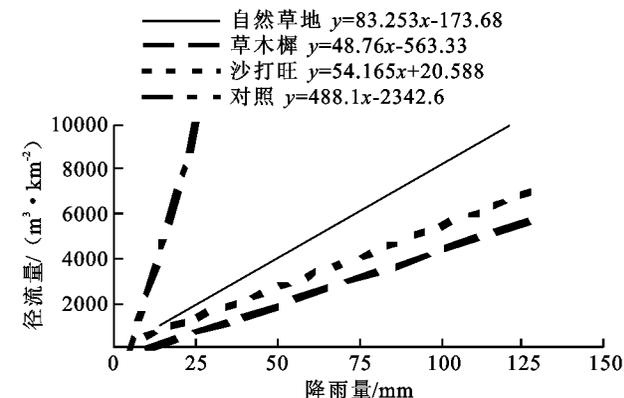


图 1 日降雨量与径流量关系

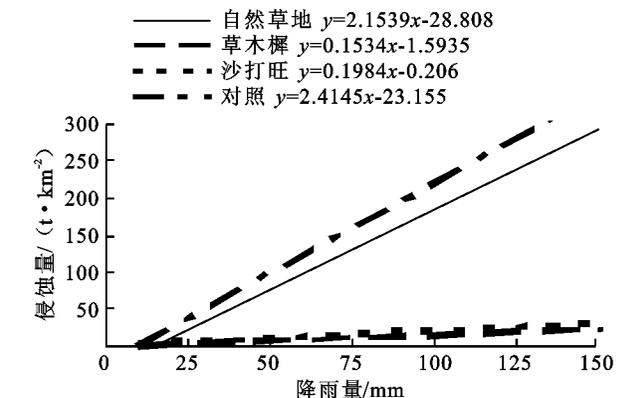


图 3 日降雨量与侵蚀量关系

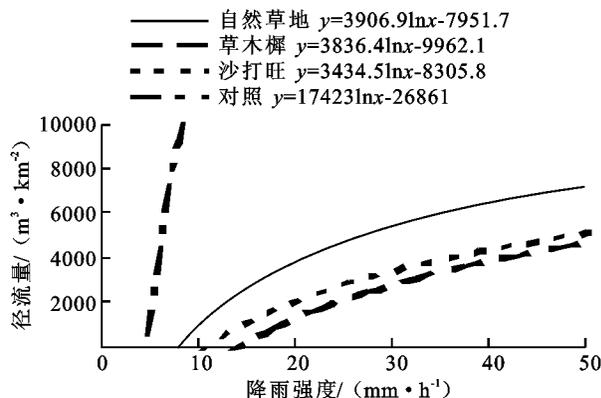


图 2 降雨强度与径流量关系

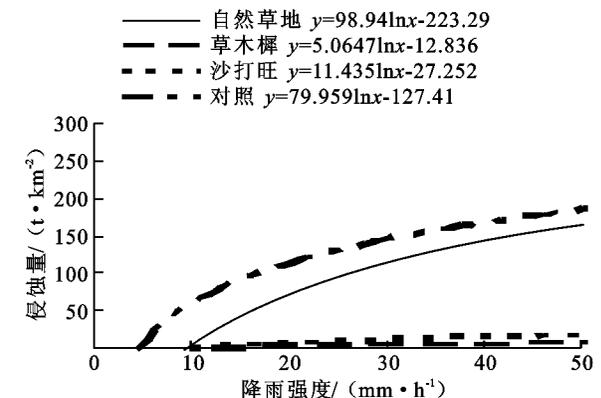


图 4 降雨强度与侵蚀量关系

由图 1- 4 可以看出, 草木樨、沙打旺、自然草地和对照径流小区内的降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈良好的 $y = ax + b$ 的线性关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈良好的 $y = \ln x + b$ 对数关系。草本植物径流小区内的径流量和侵蚀量都随降雨量和降雨强度的增大而增大, 变化幅度大小依次为: 对照 > 自然草地 > 沙打旺 > 草木樨。由图 1 和图 3 可以看出, 降雨量在 10 mm 左右时, 草本植物径流小区内的径流量和侵蚀量变化幅度不明显, 而随着降雨量的不断增大, 对照的径流量和侵蚀量则明显大于另外 3 种草本植物。图 2 和图 4 表明, 在降雨强度小于 5 mm/h 时, 对照的径流小区开始产生径流, 自然草地、沙打旺和草木樨的径流小区均是在 5~ 15 mm/h 时开始产生径流; 在降雨强度小于 10 mm/h 时, 对照地开始产生侵蚀, 自然草地、

沙打旺和草木樨都是在大于 10 mm/h 时产生侵蚀。这是由于对照径流小区内植被稀少, 雨滴击溅侵蚀强烈, 当降雨强度超过土壤入渗率时, 大部分降雨转化成径流, 带走表层土壤, 引起较大侵蚀。草木樨和沙打旺地上部分茂盛, 冠层能有效截留降雨, 减少雨滴对坡面的击溅侵蚀, 而且草木樨和沙打旺都属于深根性植物, 根系发达, 根幅广, 庞大的根系能够固结土粒, 地上的冠层、地面的枯落物、地下的根系形成一个有效的防护网络, 能很大程度控制和减少径流量和侵蚀量。

3.2 不同坡度、相同盖度的自然草地径流小区径流量与侵蚀量研究

选取不同坡度 (25°、20°、15°、10°、5°) 相同盖度 (70%) 的自然草地径流小区的降雨量、降雨强度所产生的径流量和侵蚀量进行分析。

表 2 不同坡度相同盖度降雨因子与径流量、侵蚀量的相关关系

草本植物类型	坡度/(°)	盖度/%	样本数	降雨量与径流量	降雨量与侵蚀量	降雨强度与径流量	降雨强度与侵蚀量
自然草地	25	70	9	0.852*	0.876*	0.970**	0.980**
自然草地	20	70	10	0.865**	0.877**	0.900**	0.888**
自然草地	15	70	10	0.908**	0.861**	0.918**	0.897**
自然草地	10	70	11	0.998**	0.972**	0.997**	0.969**
自然草地	5	70	15	0.874**	0.871**	0.866**	0.881**

注: * 表示在 0.05 水平下显著相关; ** 表示在 0.01 水平下显著相关。

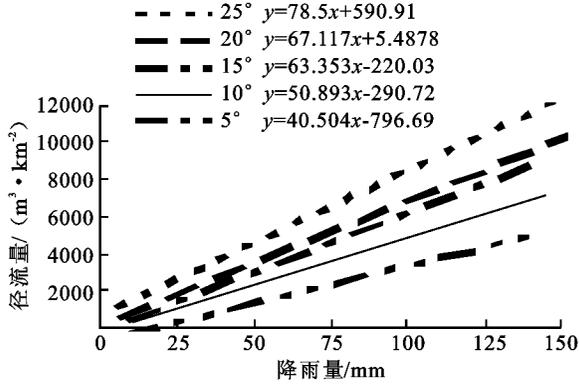


图 5 日降雨量与径流量关系

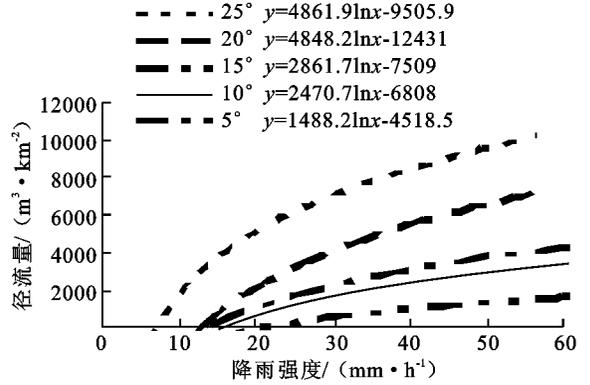


图 6 降雨强度与径流量关系

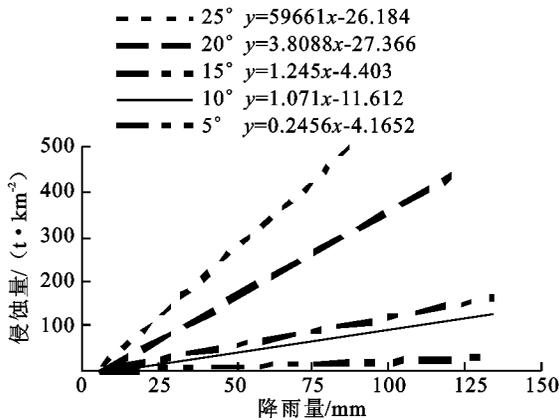


图 7 日降雨量与侵蚀量关系

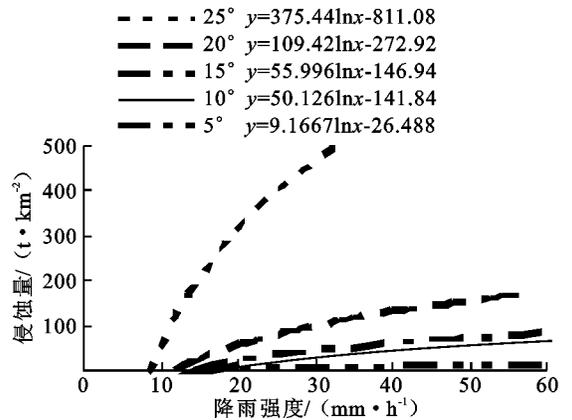


图 8 降雨强度与侵蚀量关系

对降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量、降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量进行相关分析, 由表 2 可见, 降雨量、降雨强度与径流量、侵蚀量均显著相关。由图 5-8 看出, 降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈良好的 $y = ax + b$ 的线性关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈良好的 $y = \ln x + b$ 对数关系。在降雨量与降雨强度一定时, 坡度越大, 径流量与侵蚀量增加的幅度就越大。在重力作

用下, 坡度越大, 入渗时间越短, 入渗量越小, 径流量就会增加, 而且坡度越大, 水流速度越快, 对坡面表层土壤的冲刷力也越大, 侵蚀量增加。

3.3 不同盖度相同坡度的自然草地径流量与侵蚀量研究

选取不同盖度(30%、40%、50%、60%、对照)相同坡度(15°)的自然草地径流小区的降雨量、降雨强度、径流量和侵蚀量进行分析。

表 3 不同盖度相同坡度降雨因子与径流量、侵蚀量的相关关系

草本植物类型	盖度/%	坡度/(°)	样本数	降雨量与径流量	降雨量与侵蚀量	降雨强度与径流量	降雨强度与侵蚀量
自然草地	0.3	15	10	0.916**	0.917**	0.969**	0.924**
自然草地	0.4	15	9	0.873	0.913	0.924	0.915
自然草地	0.5	15	9	0.972**	0.978**	0.975**	0.940**
自然草地	0.6	15	19	0.902**	0.838**	0.903**	0.915**
裸地	对照	15	15	0.979**	0.938**	0.905**	0.942**

注: * 表示在 0.05 水平下显著相关; ** 表示在 0.01 水平下显著相关。

对降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量、降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量进行相关分析,由表 3 可见,降雨量、降雨强度与径流量、侵蚀量均紧密相关。由图 9-12 看出,降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈良好的 $y = ax + b$ 的线性关系,降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈良好的 $y = \ln x + b$ 对数关系。图 9、图 10 表明,对照比自然草地不同植被盖度的径流小区首先产生径流,且其增加幅度大于自然草地不同植被盖度的径流小区。由图 11、图 12 可见,对照的侵蚀量增加幅度远远大于自然草地中植被覆盖 30%、40%、50%、60% 的径流小区。

在降雨量与降雨强度一定时,植被盖度越大,其径流量和侵蚀量就越小。坡面植被盖度增加,地上部分截留的降雨增加,枯落物层及形成的腐殖质层能够使下渗水分增加,径流量越小;植被盖度增加还能够防止雨滴击溅侵蚀,减少径流冲刷,使侵蚀量变小。

3.4 不同降雨条件下相同坡度、相同草本植物的径流小区径流量与侵蚀量研究

在一定坡度(7°)、相同盖度(70%)的径流小区条件下,选取 62 场降雨进行降雨量分级和降雨强度分级,得出每个等级条件下的平均径流量和平均侵蚀量(表 4、表 5)。

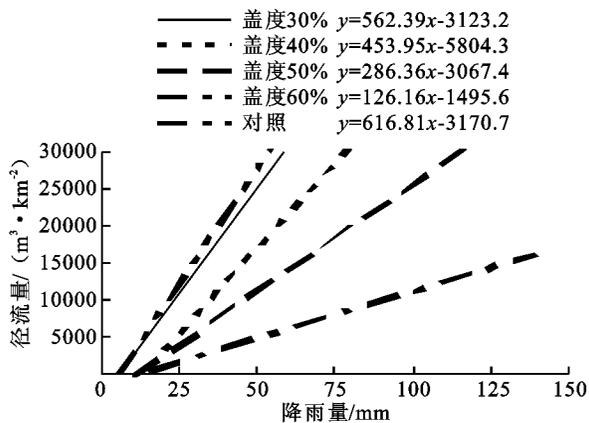


图 9 日降雨量与径流量关系

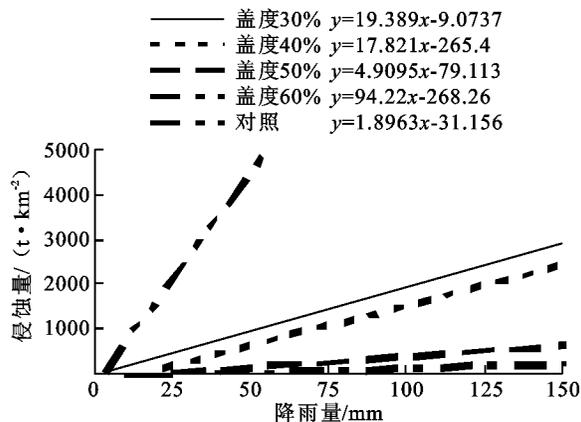


图 11 日降雨量与侵蚀量关系

表 4 不同降雨量级别下径流小区径流量与侵蚀量

降雨量分级/ mm	样本数	径流量/ ($m^3 \cdot km^{-2}$)	侵蚀量/ ($t \cdot km^{-2}$)
0~ 9.9	14	2995	23.0
10~ 29.9	16	5617	148.3
30~ 49.9	13	15990	509.7
50~ 79.9	9	20027	612.3
80~ 99.9	6	28925	1284.1
> 100	4	160905	2154.0

注:径流小区植物类型为自然草地,坡度为 7° ,植被盖度为 70%。

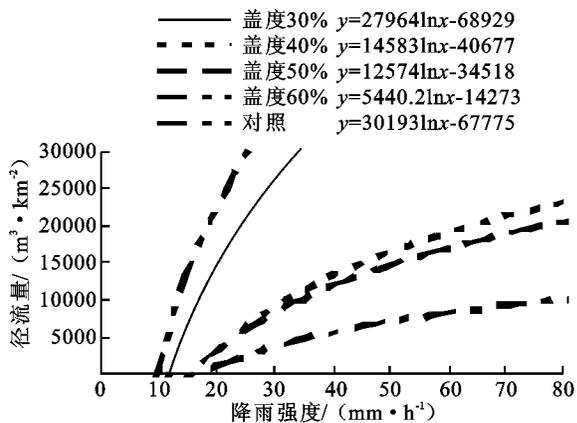


图 10 降雨强度与径流量关系

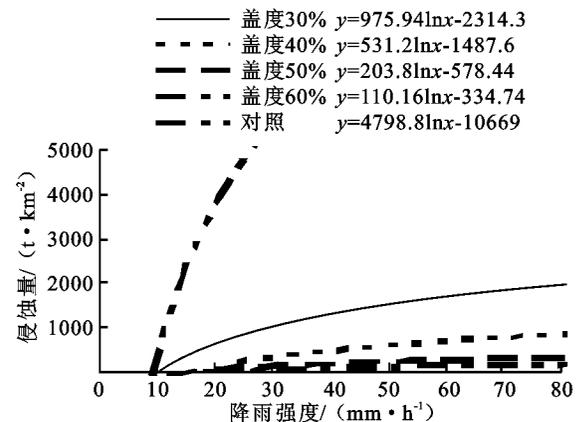


图 12 降雨强度与侵蚀量关系

表 5 不同降雨强度级别下径流小区径流量与侵蚀量

降雨强度分级/ ($mm \cdot h^{-1}$)	样本数	径流量/ ($m^3 \cdot km^{-2}$)	侵蚀量/ ($t \cdot km^{-2}$)
0~ 5	14	2190.0	34.4
5~ 10	15	3816.7	74.5
10~ 20	10	4874.0	76.8
20~ 30	8	7747.0	131.7
30~ 40	7	23411.0	542.4
40~ 50	5	25618.0	639.7
> 50	3	41224.0	815.6

注:径流小区植物类型为自然草地,坡度为 7° ,植被盖度为 70%。

由表 4 和表 5 可以看出, 在相同坡度和相同植被盖度条件下, 随着降雨量和降雨强度的增加, 径流量与侵蚀量也不断增加。降雨量在 10~ 29.9 mm 的雨量级下, 侵蚀量的增加幅度较大, 增加了 5.45 倍; 降雨量在 > 100 mm 雨量级下, 径流量增加到最大。降雨强度在 30~ 40 mm/h 级别下, 径流量与侵蚀量的增加幅度达到最大。

3.5 建立综合因子条件下坡面草业用地径流小区径流量和侵蚀量预测经验模型

由于选取的降雨量(P)、降雨强度(I_{30})、坡度(S)、植被盖度(C)各因子单位不统一, 无法进行直接汇总。在完成数据的搜集后还需对数据进行消除量纲的处理, 本研究采用均值化法对数据进行无量纲处理, 计算公式: $X = X_i / X_{\text{平均}}$ 。然后再运用 SPSS 软件对处理后的数据进行分析汇总, 得出鲁中南山区坡面草业用地径流量预测经验模型:

$$Q = P^{0.4779} I_{30}^{0.6390} S^{0.0635} C^{-0.7369} \quad R^2 = 0.7369$$

鲁中南山区坡面草业用地侵蚀量预测经验模型:

$$M_s = P^{1.4602} I_{30}^{0.1308} S^{0.1655} C^{-0.1010} \quad R^2 = 0.7634$$

式中: Q ——径流量 (m^3/km^2); M_s ——侵蚀量 (t/km^2); P ——降雨量 (mm); I_{30} ——降雨强度 (mm/h); C ——植被物盖度 (%); S ——坡度 ($^\circ$)。

4 结论

(1) 在相同坡度条件下, 自然草地、草木樨、沙打旺和对照径流小区的降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈 $y = ax + b$ 线性回归关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈 $y = \ln x + b$ 对数关系, 径流量与侵蚀量均随降雨量与降雨强度的增加而增加, 变化幅度大小依次为: 对照 > 自然草地 > 沙打旺

> 草木樨。

(2) 在不同坡度相同盖度的自然草地径流小区内的降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈 $y = ax + b$ 线性回归关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈 $y = \ln x + b$ 对数关系, 坡度越大, 径流量与侵蚀量相应增大。

(3) 在相同坡度不同盖度的自然草地径流小区内的降雨量与径流量、降雨量与侵蚀量均呈 $y = ax + b$ 线性回归关系, 降雨强度与径流量、降雨强度与侵蚀量均呈 $y = \ln x + b$ 对数关系, 植被盖度越大, 径流量与侵蚀量相应减小。

(4) 根据各个因子与径流量和侵蚀量的线性模型, 建立综合因子影响下的鲁中南山区坡面草业用地径流量预测经验模型: $Q = P^{0.4779} I_{30}^{0.6390} S^{0.0635} C^{-0.7369}$, 鲁中南山区坡面草业用地侵蚀量预测经验模型: $M_s = P^{1.4602} I_{30}^{0.1308} S^{0.1655} C^{-0.1010}$ 。

参考文献:

- [1] 涂利华, 谢财永, 胡庭兴, 等. 华西雨屏区几种牧草的水土保持能力研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 35-38.
- [2] 龙忠富, 江俊良, 刘正书, 等. 百喜草不同种植模式的水土保持效应初探[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(5): 408-411.
- [3] Yoder Daniel, et al. The future of RUSLE: Inside new Revised Universal Soil Loess Equation[J]. J. Soil and Water Conservation, 1995, 50(5): 484-489.
- [4] Laflen J M, Elliot W J. WEPP— predicting water erosion using a process— based model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1997, 52(2): 96-97.
- [5] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 4-7.
- [6] 张玉斌, 郑粉莉, 贾媛媛, 等. WEPP 模型概述[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 146-149.