

径流场监测结果在武汉黄陂区水土流失预测中的应用

周耀华¹, 张涛², 郭国先³, 王天巍²

(1 武汉市水土保持监测站, 武汉 430010; 2 华中农业大学

资源与环境学院, 武汉 430070; 3 武汉市黄陂区蔡店水保站, 武汉 430323)

摘要: 基于武汉市黄陂区野佛沟径流场监测的径流和泥沙数据, 通过类比法建立土壤流失量的预测模型, 完成了从土壤流失监测到土壤流失预测研究的重大突破, 为该类型区生产建设项目水土流失背景值的预测提供依据。同时对径流场监测的径流和泥沙数据进行统计分析, 结果表明: 土壤流失量的大小与降雨强度有着密切关系, 其值的大小受环境因素的影响远比径流深度的影响复杂。

关键词: 径流场; 监测; 水土流失预测

中图分类号: X830.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0010-04

Application of Monitoring Results of Runoff Field to the Soil and Water Loss Prediction in Huangpi District of Wuhan City

ZHOU Yao-hua¹, ZHANG Tao², GUO Guo-xian³, WANG Tian-wei²

(1. Monitoring Station of Soil and Water Conservation of Wuhan City, Wuhan 430010, China;

2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Monitoring Station of Soil and Water Conservation of Huangpi in Wuhan City, Wuhan 430323, China)

Abstract: According to the runoff and sediment data of Yefogou Runoff Field in the Huangpi district in Wuhan city, we can establish the prediction model of soil loss rate in analogy, so as to provide foundation for the prediction of the background value of soil and water loss in the production and construction project areas which are located in Huangpi district. An important breakthrough that from monitoring to prediction in soil loss has come true on account of the prediction model in this area. Meanwhile, the runoff and sediment data from the survey in runoff field are input to statistical analysis, whose result shows that the rate of soil loss is bound up with the rainfall intensity, and its amount is more complexly influenced by environmental factors than runoff depth.

Key words: runoff field; soil loss monitoring; soil erosion prediction

水土流失预测是生产建设项目水土保持方案中的重要内容之一, 是水土保持措施布局和设计的基础, 也是项目区水土保持动态监测与分析评价的一项重要内容^[1]。目前, 大部分水土流失预测主要依据 RULSE 模型来估算。野外对于水土流失背景值的测定多采用径流小区法, 但是由于地形条件的限制, 常常找不到合适的位置布设径流小区, 因此, 水土流失背景值的数据很难监测到。所以, 在一个特定的区域内, 水土流失监测径流场的设立变得至关重要。径流场监测数据的合理利用成为快速、准确预测某区域土壤流失量的有效途径。同时该预测方法的研究将有利于探索区域水土流失规律, 寻求水土流失防治途

径和方法^[2]。

水土流失监测设立的坡面径流场是建立在自然坡面上的小集水区域。一般面积在 1 hm² 左右, 比自然径流小区大^[3]。大型坡面径流场由于坡面宽阔, 径流易于集中, 降雨产流后, 坡面径流形态除少部分为薄层片流外, 大多为股流, 侵蚀形态既有片蚀和细沟侵蚀, 也有浅沟侵蚀、谷坡侵蚀及重力侵蚀, 其测定的土壤流失量代表了自然坡面的实际土壤流失量^[4]。这类小区反映了下垫面异质性相互作用后产生的土壤侵蚀状况。坡面径流场更贴近自然状态, 监测结果可以直接用于实际工作需要。郑粉莉、唐克平等也研究得出大型径流场所监测的泥沙数据和小流域的

监测数据基本一致,而径流数据却相差较大^[4]。所以径流场所监测的数据可以作为特定区域生产建设项目水土保持方案编制中非耕地水土流失背景值预测的类比依据,预测该区域的土壤流失量。生产建设项目水土保持监测中计算的水土流失背景值是土壤流失量,指土壤及其母质在侵蚀营力作用下,产生位移并通过某一观察断面的泥沙数量。用土壤流失量推演侵蚀量时,一般只需要除以泥沙输移比,就能求得流域的土壤侵蚀量^[5]。

本文以武汉市黄陂区为研究区域,该区于 1986 年在北部低山区建立野佛沟径流场,1987 年开始开展降雨、径流泥沙监测试验。通过对该径流场多年来的监测结果进行分析,模拟出预测土壤流失量的模型,以期为该区水土流失及生产建设项目背景值的预测提供依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

武汉市黄陂区位于武汉市中心城区北部,地理坐标为东经 114°09′—114°37′,北纬 30°41′—31°22′。东临新洲区和红安县,北与大悟县为界,西与孝感市和孝昌县接壤。土地总面积 2 257.20 km²,总人口 110 万,是武汉市面积最大和人口最多的一个区。全区境内地势北高南低,以丘陵平原为主,兼有低山、洼地等地貌类型。属湿润的亚热带季风气候,年平均气温 16.3℃,年降雨量 1 100~1 200 mm,是武汉市水土流失重点治理区。

野佛沟径流场位于黄陂区蔡店乡,以花岗岩、片麻岩发育的土壤为主,试验区垂直投影长度 277 m,宽 64.1 m,封闭径流场总面积 1.775 hm²,平均坡度 25°。监测开始时林草覆盖率 31.7%,目前林草覆盖率上升为 71.5%。该区建有巴歇尔槽监测站,巴歇尔槽长 5 m,高 1 m,喉导宽 0.5 m,下设 60°三角量水堰,堰口海拔高程 147.4 m。

1.2 数据应用范围

野佛沟径流场共进行了 23 a 的径流和泥沙监测,根据《水利水电工程水文计算规范》SL278—2002,“径流频率计算依据的资料系列应在 30 a 以上”,所以降雨径流需要继续监测 8 a 以上或插补延长,才能作为设计依据。悬移质泥沙“统计系列长度定为 20 a”,推移质泥沙统计系列长度“不宜少于 10 a”,野佛沟径流场监测站泥沙监测资料超过 20 a,可将统计泥沙特征值作为黄陂北部低山区河流、水库、塘堰泥沙淤积预测,土壤流失量可以作为生产建设项目水土保持方案编制中非耕地水土流失背景值

预测的类比依据。

1.3 研究方法

黄陂区北部低山区非耕地水土流失背景值预测时运用了我国相关学者改进后的、适用于我国水土流失评价的 RUSLE 模型^[6],其表达式如下:

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot CP$$

式中:A——土壤年流失量; f ——使 A 代表我国单位量纲[t/(km²·a)]的综合转换常数; R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可侵蚀性因子; LS ——坡长坡度因子的乘积; CP ——植被与经营管理因子、水土保持措施因子的乘积; LS 、 CP 为无量纲单位。

在各参数计算过程中,降雨侵蚀力因子 R 、土壤可侵蚀性因子 K 的确定非常困难,所以在同一个水土流失类型区内,近似认为 R 、 K 不变,仅考虑坡长、坡度、植被与经营管理因子的变化。本文根据生产建设项目水土流失预测和通用土壤流失方程 RUSLE 的特点,利用类比法^[7]推导土壤流失预测模型。

2 结果与分析

2.1 野佛沟径流场监测结果及分析

野佛沟径流场主要监测了降雨、径流、泥沙和土壤流失量。其中 1997 年因进水喉道严重下沉,只监测了降雨量,未监测土壤流失量。监测结果详见表 1。

表 1 野佛沟径流场水土流失监测结果

年份	产生流失的年 降雨总量/mm	径流深/ mm	泥沙总 量/kg	土壤流失量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)
1987	1366.8	749.90	31706.60	1786.30
1988	962.6	237.20	2273.72	128.10
1989	1381.7	238.46	265.31	14.95
1990	485.7	122.56	741.65	41.80
1991	1033.9	518.05	4266.62	240.40
1992	611.8	151.07	617.37	34.78
1993	938.5	375.30	703.39	39.63
1994	489.6	169.90	834.50	47.01
1995	307.0	109.90	4198.18	236.50
1996	879.0	531.80	7850.28	442.30
1998	666.6	255.77	687.74	38.75
1999	220.3	108.37	556.95	31.38
2000	229.7	104.52	2031.53	114.45
2001	85.0	23.31	91.14	7.00
2002	612.4	251.92	1089.07	61.36
2003	481.3	246.80	1616.27	91.06
2004	401.7	158.79	281.33	15.85
2005	444.6	171.42	12.753	12.75
2006	142.2	26.05	67.17	3.78
2007	622.0	236.00	1223.80	68.83
2008	962.0	524.33	1428.92	80.48
2009	215.7	31.66	53.53	3.00

根据以上数据通过计算得出径流场内多年平均径流系数 $\mu_1 = 0.402$, 平均径流系数标准差 $\sigma_1 = 0.114$, 变异系数 $C_{v1} = \sigma_1/\mu_1 = 0.283$ 。多年平均土壤流失量 $\mu_2 = 186 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 土壤流失量标准差 $\sigma_2 = 391$, 变异系数 $C_{v2} = \sigma_2/\mu_2 = 2.10$ 。土壤流失量标准差、变异系数大, 这可能是由于土壤流失量受影响因子的影响后波动较大, 所以变化比较明显。

随着年降雨量的增大, 径流深度也在增大, 而降雨量与土壤流失量的相关性不明显(图 1), 这是因为土壤流失量受环境因素的影响远比径流深度的影响复杂^[8], 同时也说明土壤流失量与降雨强度密切相关。1987 年土壤流失量明显高于其他年份, 经调查, 主要原因是 1986 年建设巴歇尔槽监测站时, 在径流场内采用鱼鳞坑植树扰动地表, 导致 1987 年流失量明显提高, 该年监测受人为主观活动的影响, 理论上说应该剔除该年监测结果, 但是考虑到该类型区其他小流域都可能受到不同程度的人为主观活动影响, 为了保持应用该结果的一致性所以不剔除该年监测结果。但是 2001 年、2006 年、2009 年的土壤流失量明显偏低, 为了保证与实际侵蚀情况的一致性, 在计算过程中剔除了这三年监测的土壤流失量。

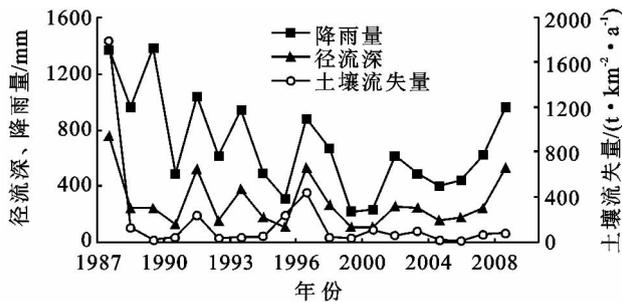


图 1 降雨、径流和土壤流失量变化规律

2.2 水土流失预测模型的建立

以径流场多年平均土壤流失量为类比依据, 采用比例估算法预测黄陂区北部低山区土壤流失背景值, 即:

$$\text{项目区土壤流失量} = 186 \times LS \times CP / L_0 S_0 \times C_0 P_0$$

2.2.1 模型参数的计算

(1) 坡长坡度因子 LS 的确定。坡长坡度因子反映的是地形地貌特征对土壤侵蚀的影响^[9], LS 的确定根据《水土保持监测技术》推荐的适用于南方红壤区的公式:

$$LS = 0.0023 \times 1.1^{\beta} \times h(1 - \cos\beta) / \sin\beta$$

式中: h ——相对高差; β ——地面平均坡度角($^{\circ}$)。

野佛沟径流场的相对高差:

$$h = 277 \times \tan\beta = 129.2 \text{ m}.$$

野佛沟径流场的坡长坡度因子:

$$L_0 S_0 = 0.0023 \times 1.1^{25} \times 129.2(1 - \cos 25^{\circ}) / \sin 25^{\circ} = 0.713$$

(2) 植被与经营管理因子、水土保持措施因子的确定。植被与经营管理因子、水土保持因子 CP 表征自然植被和人为水保措施通过截留、改良土壤结构、改变地表粗糙度等对土壤侵蚀产生的抑制作用^[10]。 C 、 P 取值范围为 $0 \sim 1$ 。地面完全裸露时 C 值为 1, 当地面保护良好时 C 值为 0.001; 未采取任何水保措施的地区 P 值为 1, 水土保持很好、无侵蚀风险的地区 P 值为 0.001。 C 值的确定综合参考植被覆盖度(表 2)与土地利用类型数据(表 3), P 值的确定综合参考耕地类型数据和地形坡度数据(表 4)。

表 2 不同植被覆盖条件下的 C 值

土地利用类型	植被覆盖度/%				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
有林地	0.390	0.200	0.110	0.060	0.027
灌木林地	0.400	0.220	0.140	0.085	0.040
草地	0.450	0.240	0.150	0.090	0.043

表 3 不同土地利用条件下的 C 值

土地利用类型	C 值	土地利用类型	C 值
水田	0.180	城镇建设用地	0.001
旱地	0.310	农村居民地	0.080
水域	0	地面完全裸露	1.000

表 4 不同坡度和水保条件下的 P 值

坡度/ ($^{\circ}$)	等高带 状耕作	草田带 状间作	水平 梯田	水平沟	等高 垄作
<5	0.30	0.10		0.01	0.10
5~10	0.50	0.10	0.03	0.05	0.10
>10	0.60	0.20		0.10	0.30

通过计算得出监测期野佛沟径流场平均林草覆盖率为 51.6%, 所以其植被与经营管理因子取有林地 $C_0 = 0.11$, 水土保持措施因子取等高垄作 $P_0 = 0.3$ 。

将以野佛沟径流场计算出的各个参数值代入, 即得出黄陂区北部低山区水土流失背景值的预测模型: 项目区土壤流失量

$$\begin{aligned} AP &= 186LS \times CP / L_0 S_0 \times C_0 P_0 \\ &= 186LS \times CP / 0.713 \times 0.11 \times 0.3 \\ &= 7905LS \times CP (\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

2.2.2 预测模型应用范围 不同区域地形地貌、气象、植被类型、土壤、扰动地表组成物质及形态、侵蚀类型等各个方面都会有所不同。所以在类比法选择时, 要充分考虑水土流失主要因子的相似性、可比性^[11]。该预测模型只适用于武汉黄陂区北部低山区, 同一个水土流失类型区内, 近似认为 R 、 K 不变,

所以在该区域内依据上述方法,合理确定预测小流域的坡长坡度因子 LS,植被与经营管理因子、水土保持因子 CP 就能估算出项目区水土流失背景值。

2.3 水土流失预测模型的验证

根据建立的预测模型,在武汉黄陂区北部低山区选取不同土地利用状况下的片区进行对比,对比情况如表 5 所示。

表 5 不同土地利用方式下土壤流失量
预测值与实测值比较 t/(km²·a)

土壤流失量		1	2	3	4	5	平均值
林地	实测	211	62	153	105	66	119
	模型计算	199	51	167	98	58	115
草地	实测	22	7	14	16	14	15
	模型计算	16	11	10	11	18	13
居民用地	实测	10	5	7	4	16	8
	模型计算	7	2	4	1	13	5

注:数据来源于湖北省第四次土壤侵蚀遥感普查。

表 5 表明,在不同的土地利用条件下,应用建立的土壤流失预测模型得出的土壤流失预测值与实测值十分接近,由此可见由小区观测数据研究得出的土壤流失预测模型在武汉黄陂区北部低山区是适用的。

3 结论

在水土流失重点治理区建立的大型坡面径流场不仅可以研究流域内不同地形部位的泥沙来源和产沙部位,而且可以研究整个坡面土壤侵蚀过程及土壤侵蚀与泥沙搬运的关系,建立坡面土壤流失预报方程^[4]。野佛沟径流场 23 a 实测土壤流失量特征值即可用于黄陂北部低山区河流、水库、塘堰泥沙淤积预测,同时建立的武汉市黄陂北部低山区水土流失背景值预测模型可以预测该区非耕地水土流失背景值,需要强调的是,预测得出的土壤流失量是土壤侵蚀量的

一部分。该区降雨、土壤抗蚀性基本相同,仅需考虑坡长坡度因子、植被与经营管理因子、水土保持因子的变化对土壤流失量的影响,建立的模型计算方法科学,是从土壤流失监测到土壤流失预测研究的重大突破,为区域水土流失背景值的预测提供了一种新的思路。

参考文献:

- [1] 聂国辉,许建新,叶永棋,等. Cs-137 在浙江省水土流失背景值监测中的应用[J]. 浙江水利科技,2008(3):22-26.
- [2] 张志萍,陈智汉,王志雄. 黄土高原沟壑区典型流域水土流失监测发展历程及对策[J]. 中国水土保持科学,2011,9(4):41-45.
- [3] 赵爱军,马力刚. 湖北省水土保持监测点建设实践[J]. 水土保持通报,2009,29(2):117-182.
- [4] 郑粉莉,唐克丽,白红英. 标准小区和大型坡面径流场径流泥沙监测方法分析[J]. 人民黄河,1994,17(7):19-21.
- [5] 景可,焦菊英,李林育,等. 中国南方红壤丘陵区土壤侵蚀量与泥沙输移比研究[J]. 水利学报,2010,41(12):1476-1482.
- [6] 陈云明,刘国彬,郑粉莉,等. RUSLE 侵蚀模型的应用及进展[J]. 水土保持研究,2004,11(4):80-83.
- [7] 曲德双. 类比法预测开发建设项目水土流失几个问题的探讨[J]. 黑龙江水利科技,2008,36(5):26-27.
- [8] 江森华. 闽北裸露坡地水土流失与降雨量的关系研究[J]. 梧州学院学报,2010,20(1):7-11.
- [9] 杨艳生. 区域性土壤流失预测方程的初步研究[J]. 土壤学报,1990,27(1):73-79.
- [10] 王秀艳,郭兵,姜琳. 基于 USLE、GIS、RS 的流域土壤侵蚀研究进展[J]. 亚热带水土保持,2012,24(1):42-48.
- [11] 潘献鸿,李海林,高荣. 类比法预测建设项目水土流失量[J]. 水土保持应用技术,2009(6):14-16.