

遂宁组母质封禁后的土壤侵蚀规律分析

杨远祥¹, 朱雪梅¹, 邵继荣², 林立金¹, 吴咏³, 蒋小军¹

(1. 四川农业大学 资源环境学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川农业大学
生命科学与理学院, 四川 雅安 625014; 3. 遂宁市水土保持试验站, 四川 遂宁 629006)

摘要: 通过遂宁市水土保持试验站母质侵蚀观测场长期连续观测试验, 收集 1991—2000 年资料, 采用数据分析方法, 对遂宁组紫色土母质侵蚀规律进行了研究。结果表明: (1) 母质侵蚀区在封禁 10 a 内的年际地表径流模数与年际降雨量变化趋势一致, 而土壤侵蚀模数总体呈现逐年下降趋势; (2) 径流深与降雨量呈正相关, 与降雨时间呈负相关。 (3) 降雨量和平均降雨强度两因子对土壤侵蚀量影响不显著, 土壤侵蚀量与地表径流深在封禁期前 4 a 内能建立回归方程。由此认为, 采用封禁管理来防治紫色土母质侵蚀可行, 封禁至少 8 a 以上土壤侵蚀强度类型才由剧烈侵蚀逐渐转化为轻度侵蚀。

关键词: 遂宁组; 紫色母质; 降雨量; 径流深; 土壤侵蚀量; 封禁管理

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)01—0024—05

中图分类号: S157

Analysis of Soil Erosion on Suining Group Parent Material After Closing Management

YANG Yuan-xiang¹, ZHU Xue-mei¹, SHAO Ji-rong², LIN Li-ji¹, WU Yong³, JIANG Xiao-jun¹

(1. College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 2. College of Life Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 3. Soil and Water Conservation Station of Suining, Suining, Sichuan 629006, China)

Abstract: Through continuous field observation of soil erosion in the Soil and Water Conservation Station of Suining, processes of soil erosion on purple parent material of the Suining group were studied by collecting the data from 1991 to 2000 and using the method of data analysis. Results showed that annual runoff module from soil erosion plots on the parent material closed for 10 years changed with annual rainfall amount, but on the whole, annual soil erosion module had a tendency to decrease year by year. Runoff depth was positively related to rainfall amount, and inversely related to rainfall duration. A regression equation for the relationship between runoff depth and rainfall amount was established, and the critical rainfall amount that can induce runoff was found to be 15.85 mm. Rainfall amount and mean rainfall intensity did not significantly influence soil erosion amount. During the first 4 years, the regression equation could be formed between soil erosion amount and runoff depth, and the critical runoff depth that can induce a large amount of soil erosion was 9.05 mm. It is evident that the closing management may prevent and cure soil erosion on the purple parent material, and soil erosion gradually changes from severe degree to light degree after closing for at least 8 years.

Keywords: Suining group; purple parent material; rainfall amount; runoff depth; soil erosion amount; closing management

紫色泥岩具有胶结、固结性差, 组织松软, 抗压强度低, 易于崩解剥离的特点^[1], 稍有降雨极易产生流失。在四川盆地丘陵紫色泥岩区分布面积就达 $1.60 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[2], 同时在紫色泥岩区每年因工程建设而造成的裸露岩石面积有 100 km^2 , 且呈逐年上升趋势

势^[3], 因此母质侵蚀已成为川中紫色丘陵区极为严重的侵蚀现象^[4], 弄清楚其侵蚀规律, 显得尤为重要。对此曾有人研究了紫色土母质侵蚀初期土壤侵蚀与各影响因子间的关系^[5], 也有人研究了紫色土坡耕地土壤侵蚀规律^[6], 但对出露的紫色泥岩进行

收稿日期: 2006-09-06

修稿日期: 2006-10-31

资助项目: 四川省科技厅重点攻关项目 (2006ZD8-012)

作者简介: 杨远祥 (1981—), 男 (苗族), 贵州罗甸县人, 硕士研究生, 主要从事环境生态、水土保持方面研究。E-mail: guiluoxiang@163.com。

通讯作者: 朱雪梅 (1963—), 女 (汉族), 四川省仁寿人, 教授, 主要从事污染生态方面的研究。E-mail: zhubroad@163.com。

长期封禁处理,土壤侵蚀变化规律的研究,尚未见报道。本研究以川中遂宁组出露的紫色泥岩母质为研究对象,通过遂宁市水土保持试验站母质侵蚀观测场 1991—2000 年观测资料,分析紫色土母质区在长期封禁管理后,其发生的土壤侵蚀与降雨量、平均降雨强度及地表径流的关系,并探讨了有效防治母质侵蚀的途径,对其它类似区母质侵蚀规律研究和水土流失治理提供依据。

1. 试验材料与方法

1.1 母质侵蚀观测场布设

在遂宁市水土保持试验站的油房坡上建立母质侵蚀观测场,场址位于东经 105°28'51",北纬 30°21'51"。母质出露地层为中生界朱罗系地层,为遂宁组上段(J₃Cn)红棕色的泥岩与薄层状长石细粉沙页岩互层,泥岩含量约占 90%。观测场集雨面积 503 m²,平均宽 20.4 m,长 24.6 m,平均坡度 27.7°,场地内植被稀少,植被率仅 6.56%。对场地实行了封禁管理,禁止人为对场地进行毁坏,禁止在场内捡柴、放牧、取土;不让外界径流汇入场地,确保场地原地貌,让场内植被自然恢复生长。

1.2 观测方法

在母质侵蚀观测下方汇流处建径流观测池并设三角量水堰,池旁建观测房,房内安装 SW40 型日记水位计 1 台观测水位,测井与径流池连通,房顶安装雨量筒观测降雨量。根据径流观测池容水量、三角堰溢流水深、水位和时间计算径流量,降雨过程中根据径流观测、水位变化分时段取水样,水样经过滤烘干处理后测定含沙量,最后计算出该次降雨的土壤侵蚀流失量。整个母质侵蚀观测从建站时一直连续观测至 2001 年,因此观测资料较为连续、全面。

2 结果与分析

2.1 降雨量与地表径流模数的年际变化关系

根据 1991—2000 年母质侵蚀观测场连续观测资料,研究年际降雨量同紫色土母质区年际地表径流模数的变化关系。由图 1 可见,母质侵蚀区年地表径流模数同年降雨量变化趋势相同,因此降雨是影响地表径流的主要因子。在所观测的 10 a 中,历年平均降雨量为 902 mm,则多年平均地表径流模数为 $2.65 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$,这表明在遂宁组紫色土母质上每年由降雨引起的地表径流模数是相当大的。

2.2 降雨量与土壤侵蚀模数的年际变化关系

由图 2 可看出,在紫色土母质侵蚀观测场封禁初期(1991—1994 年),土壤侵蚀模数与年降雨量表现

共同的变化趋势,特别在 1993 年降雨量为 1344.3 mm 时,母质土壤侵蚀模数竟高达 36369.87 t/(km²·a),属于剧烈侵蚀,说明在母质裸露初期其发生的土壤侵蚀量大且主要受降雨量的影响。而在封禁后期特别是 1998 年后母质年土壤侵蚀量变化不大,其中,1998—2000 年的 3 a 间平均土壤侵蚀模数为 2325.91 t/(km²·a),土壤侵蚀达到轻度侵蚀,表明此阶段降雨因子对母质侵蚀的影响较小。从总体上来看,年土壤侵蚀模数呈现下降的趋势,表明在长达 10 a 的封禁过程中,降雨量对母质侵蚀的影响力在逐年下降。

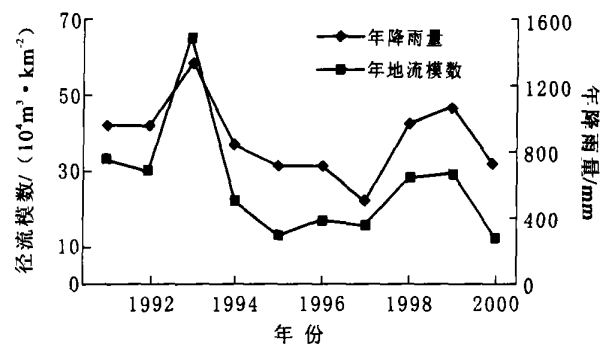


图 1 母质侵蚀区年降雨量与地表径流模数年际变化

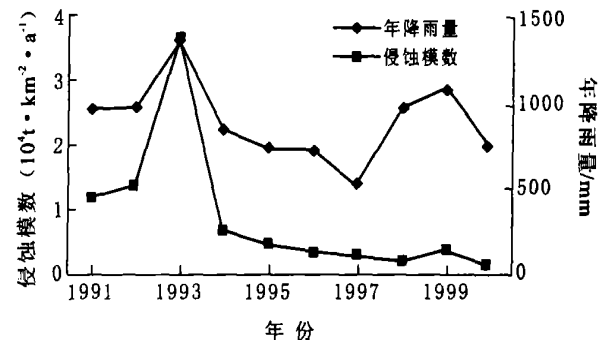


图 2 母质侵蚀区年降雨量与土壤侵蚀模数的年际变化

2.3 年内降雨分配与母质土壤侵蚀量、地表径流量的变化关系

收集 1991—2000 年 3—10 月各月份的降雨量、地表径流量和土壤侵蚀量资料,然后分别整理出平均各月的降雨量、地表径流量和土壤侵蚀量。由图 3 可以看出,年内各月地表径流量和土壤侵蚀量同各月降雨分配情况表现出相同的变化趋势。在汛期无论是降雨量、地表径流量,还是土壤侵蚀量,所占的比例都较大,其中在 6—8 月降雨量分别占 20.55%, 20.27%, 18.83%, 地表径流量分别占 27.87%,

24.41%, 22.65%, 土壤侵蚀量分别占 27.32%, 26.0%, 24.3%。

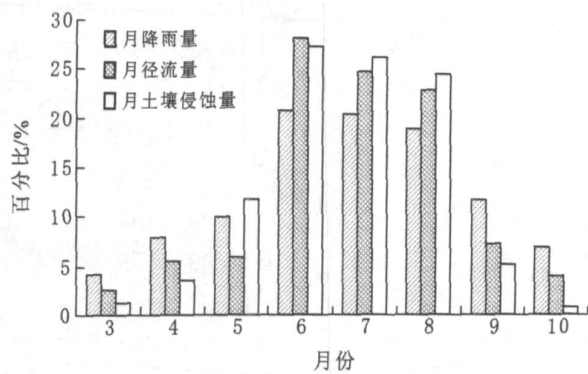


图3 年内降雨分配与母质土壤侵蚀、地表径流的变化

2.4 母质地表径流深与降雨量的关系

将历次观测的母质地表径流深与降雨量做回归分析,发现地表径流深与降雨量呈显著直线正相关(如图4),并得出回归方程:

$$Y = -14.31 + 0.903 X \quad (1)$$

$$n = 118, r = 0.974$$

式中: Y ——地表径流深(mm); X ——降雨量(mm)。

(1)式也可转化为 $Y = 0.903(X - 15.85)$ 。由此可看出,在遂宁组母质上产生地表径流时的降雨量要达到 15.85 mm 以上,可把 15.85 mm 的降雨量作为产生地表径流的临界值。

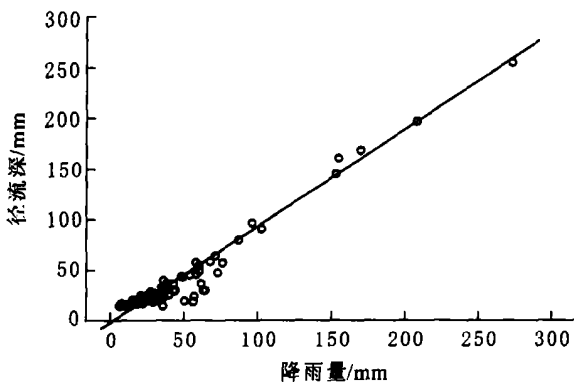


图4 母质地表径流深与降雨量的关系

2.5 母质地表径流深与降雨量、降雨时间的关系

根据 1991—2000 年历年观测的降雨与径流资料,分析母质上产生的地表径流深与降雨量、降雨时间的关系。将降雨量和降雨时间对径流深做回归分析,发现两者对径流深影响均显著,并得出回归方程:

$$Y = -10.959 + 0.929 X_1 - 0.178 X_2 \quad (2)$$

$$n = 118, r = 0.985$$

式中: Y ——径流深(mm); X_1 ——降雨量(mm); X_2 ——降雨时间(h)。同时为了考察降雨量和降雨时间对母质地表径流的直接作用、间接作用以及两因子间的相互作用,采用 DPS 软件进行了通径分析,主要是为了研究降雨量和降雨时间与地表径流深之间关系(表 1)。

表 1 降雨量和降雨时间对地表径流深的通径分析

通径分析	直接通径系数	间接通径系数	偏相关系数
X_1 Y	0.998 6	—	0.985
X_1 X_2 Y	—	-0.014 3	—
X_2 Y	-0.048 6	—	-0.264
X_2 X_1 Y	—	0.293 0	—

由表 1 可知,降雨量对径流深的直接通径系数为 0.998 6,降雨时间对径流深的直接通径系数为 -0.048 6,说明降雨量对径流深呈正相关,而降雨时间对径流深呈负相关。将直接通径系数绝对值作比较,得出降雨量是影响径流深的主要因素。在降雨时间一定的情况下,降雨量越大,则径流深就越大;降雨量一定,降雨时间越大则径流深就越小。

2.6 土壤侵蚀量与地表径流深、降雨量、平均降雨强度的关系

经简单相关分析得出,在封禁初期(1991—1994 年)母质土壤侵蚀量与径流深、降雨量、平均降雨强度的相关系数分别为 $R = 0.774^{**}$, $R = 0.568^*$, $R = 0.302^*$ 。

因此采用逐步回归分析方法,拟建立在母质侵蚀初期土壤侵蚀量与径流深、降雨量、平均降雨强度 3 个因子的最佳回归方程,经显著性检验,发现降雨量和平均降雨强度对土壤侵蚀量的影响不显著,最后建立土壤侵蚀量与径流深的回归方程:

$$Y = -520.17 + 57.464 X \quad (3)$$

$$n = 60, r = 0.836$$

式中: Y ——土壤侵蚀量(t/km^2); X ——径流深(mm)。

回归结果表明,方程(3)能较好地反映土壤侵蚀与地表径流深的关系,将多次观测的径流资料代入方程中,得出回归方程 Y 值,将其与实测土壤侵蚀量作比较(表 2),可见方程(3)将实际径流而产生的土壤侵蚀量模拟的相当显著。同时方程(3)亦可转化为 $Y = 57.464(X - 9.05)$,由此认为,要使母质产生大量侵蚀时,其地表径流深必须达到 9.05 mm,该值可作为母质侵蚀区产生大量土壤侵蚀的地表径流深临界值。

表 2 母质土壤侵蚀量与地表径流深的关系

序号	径流深/ mm	土壤侵蚀量/ (t·km ⁻²)	回归方程 中 Y 值	拟合 误差	序号	径流深/ mm	土壤侵蚀量/ (t·km ⁻²)	回归方程 中 Y 值	拟合 误差
1	18.12	493.10	521.27	- 28.17	31	35.31	1 524.10	1 508.78	15.32
2	23.92	881.11	854.50	26.61	32	21.17	567.20	696.51	- 129.31
3	9.15	3.91	5.59	- 1.68	33	44.56	2 308.75	2 040.46	268.29
4	12.16	159.84	178.54	- 18.70	34	34.40	1 491.00	1 456.80	34.20
5	74.59	4 413.32	3 766.10	647.22	35	15.03	302.58	343.62	- 41.03
6	8.73	1.15	- 18.49	19.64	36	38.71	1 634.00	1 704.25	- 70.25
7	15.24	334.99	355.38	- 20.39	37	16.41	388.33	422.79	- 34.46
8	10.18	96.36	64.92	31.44	38	44.88	2 140.95	2 058.86	82.10
9	68.27	3 508.95	3 402.92	106.03	39	11.10	129.42	117.42	12.01
10	13.42	270.36	250.94	19.41	40	9.61	43.78	32.31	11.47
11	26.87	922.07	1 023.82	- 101.75	41	10.11	36.78	60.75	- 23.97
12	9.98	39.27	53.44	- 14.17	42	15.51	298.20	371.26	- 73.06
13	13.86	293.44	276.33	17.11	43	26.14	798.60	981.66	- 183.06
14	9.27	15.78	12.52	3.26	44	11.62	132.00	147.35	- 15.35
15	9.17	4.72	6.95	- 2.23	45	32.14	1 201.00	1 326.90	- 125.90
16	12.62	246.72	205.11	41.61	46	23.42	757.85	825.84	- 67.98
17	11.17	99.35	121.87	- 22.52	47	9.64	23.86	33.68	- 9.82
18	9.55	23.86	28.65	- 4.79	48	10.69	145.13	94.00	51.13
19	13.64	241.33	263.73	- 22.40	49	86.27	3 114.12	4 437.04	- 1 322.93
20	12.11	153.58	175.50	- 21.92	50	12.69	159.94	209.27	- 49.33
21	27.96	1 128.83	1 086.65	42.18	51	9.63	37.77	33.11	4.67
22	9.90	34.61	48.64	- 14.03	52	14.70	297.38	324.31	- 26.94
23	8.62	0.89	- 24.70	25.59	53	133.68	5 731.21	7 161.61	- 1 430.40
24	22.99	746.52	801.16	- 54.64	54	245.46	14 354.87	13 584.67	770.20
25	12.60	216.52	203.61	12.91	55	16.59	243.14	432.96	- 189.81
26	16.14	349.56	407.02	- 57.46	56	10.45	55.67	80.17	- 24.51
27	16.49	416.32	427.17	- 10.85	57	15.45	227.63	367.72	- 140.09
28	9.62	25.17	32.76	- 7.59	58	58.23	2 288.07	2 826.22	- 538.15
29	41.92	1 938.17	1 888.75	49.42	59	30.70	1 489.26	1 244.08	245.19
30	11.73	129.95	153.75	- 23.79	60	29.29	1 219.09	1 163.08	56.01

3 结 论

(1) 从历年母质侵蚀区年地表径流模数、土壤侵蚀模数与年际降雨量变化关系来看,年际地表径流模数变化趋势同年际降雨量变化相同,可认为降雨是影响母质地表径流的主导因子;而土壤侵蚀模数从总体上表现逐年下降的趋势,这从另外一个角度说明母质侵蚀区在经过长期封禁管理后,其植被在防止母质侵蚀发生的影响力在逐渐加强,于是出现侵蚀从总体上逐渐减小的趋势。据吴咏研究得出紫色土在地面林草植被稀少或耕垦后^[7],土壤性状变得极差,抗冲性能减弱,侵蚀强烈,一旦植被增加,土壤侵蚀即减弱,且能有效改善土壤理化性质。袁正科等研究在丘陵红壤侵蚀区植被覆盖度每增加 0.1 则输沙率减少

0.001 9~0.002 7^[8]。因此,植物根系能稳定表土层结构、提高土壤入渗性能和抗剪强度,增强土壤抗冲性^[9-10]。本研究得出年土壤侵蚀量逐年减少趋势也能说明植被能有效控制裸露母质侵蚀,与实地调查结果也是吻合的。

在封禁初期场地内生长有零星芭茅、杂草等植被,植被率仅 6.5%,而在 2000 年底实测新增植被扩大到 300.5 m²,占观测场面积的 59.7%,种类增多主要有铁苋草、狗茅草、芭茅、白花藤等。因此对母质裸露区实行封禁处理来防治土壤侵蚀是可行的,但不是最有效途径,因为至少要封禁 8 a 以上,侵蚀强度才能由剧烈侵蚀逐渐减小为轻度侵蚀,裸露母质的理化性质才得到一定改善。在母质侵蚀区特别是由工程开挖造成母质暴露区的水土保持治理,仅靠封禁来

治理是不行的,应在前期实行人工植物措施并配套排洪沟,蓄水池等工程措施,来控制前期母质的剧烈侵蚀,为后期封禁管理的植被正常恢复奠定基础。

(2) 从年内降雨分配情况与母质土壤侵蚀、地表径流变化的关系来看:三者有着共同的变化趋势,在 6—8 月这 3 个月降雨量占 3—10 月降雨总量的 59.65% 时,则地表径流量、土壤侵蚀量所占比例分别为 74.93%,77.62%。因此这 3 个月是紫色土母质侵蚀区做好预防山洪暴发,泥石流发生和防治土壤大量侵蚀的重点时段,本研究对指导水土保持防治工作有实际意义。

(3) 回归方程 $Y = -14.31 + 0.903X$ 说明地表径流深与降雨量呈显著直线正相关关系。而方程 $Y = -10.959 + 0.929X_1 - 0.178X_2$ 能很好描述母质地表径流深与降雨量、降雨时间的关系:径流深与降雨量呈现明显正相关,与降雨时间呈负相关,降雨量是影响地表径流的主导因子。张奇连续 2 a 做了遂宁组母质上地表径流与降雨量^[5]、降雨时间的关系研究,建立了三者回归方程,并提出影响地表径流的临界降雨量为 8.932 mm。

本研究根据连续 10 a 的观测资料建立了地表径流深、降雨量、降雨时间三者间回归方程,认为方程 $Y = -14.31 + 0.903X$ 和 $Y = -10.959 + 0.929X_1 - 0.178X_2$ 更适合遂宁组母质侵蚀区实际情况。在遂宁组母质侵蚀区发生地表径流的临界降雨量应为 15.85 mm,这为紫色土母质侵蚀区开展防洪预报工作有一定意义。

(4) 经回归分析发现:母质侵蚀区在封禁的前 4 a 内降雨量、平均降雨强度两因子对土壤侵蚀量影响不显著,而地表径流深与土壤侵蚀量存在显著正相关,且能用方程 $Y = -520.17 + 57.464X$ 很好地表达二者关系,同时得出在遂宁组母质侵蚀区发生大量土壤侵蚀时,其地表径流深必须达到 9.05 mm 以上。本研究得出土壤侵蚀量与降雨量、平均降雨强度之间

不能建立回归方程并不意味着土壤侵蚀量不受降雨因子的影响,只不过是地表径流这个因子来影响土壤侵蚀,地表径流才是导致侵蚀的直接动力。因为在裸露母质侵蚀区,碎屑物颗粒大,没有团粒结构存在,在降雨过程中不存在结皮过程和雨滴击溅使颗粒分散的情况,侵蚀的产生主要决定于所形成径流的冲击力,径流深越大,则土壤侵蚀量就越大,因此建立土壤侵蚀量与地表径流深之间的回归方程是符合实际的。该方程在用于母质裸露初期、植被稀少的时候能够有较好的预测值,但在封禁中、后期植被率较高时,则预测偏差大,这是该方程需要进一步改进的地方。

[参 考 文 献]

- [1] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土(上) [M]. 北京:科学出版社,1991. 26—28.
- [2] 朱波,高美荣. 紫色泥页岩的风化侵蚀与工程建设增沙 [J]. 山地学报,2001,19(增刊):50—55.
- [3] 莫斌,朱波,高美荣,等. 紫色泥页岩的侵蚀产沙特点及影响因素分析 [J]. 水土保持研究,2005,12(1):129—131.
- [4] 李青云,蒋顺清,孙厚才. 长江上游紫色土丘陵区小流域地面侵蚀量的确定 [J]. 长江科学院院报,1995,12(3):51—56.
- [5] 张奇. 遂宁组母质侵蚀规律的初步研究 [J]. 水土保持通报,1992,12(6):34—38.
- [6] 何丙辉,缪驰远,吴咏,等. 遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究 [J]. 水土保持学报,2004,18(3):9—11.
- [7] 吴咏,傅涛. 植被对遂宁组母质土壤侵蚀规律的研究 [J]. 中国水土保持,1997(7):20—22.
- [8] 袁正科,田育新,李锡泉,等. 湘南丘陵幼林林下植被覆盖对土壤侵蚀的影响 [J]. 湖南林业科技,2000,27(3):67—71.
- [9] 刘定辉,李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究 [J]. 水土保持学报,2003,17(3):34—37.
- [10] 黄云凤. 植被控制水土流失机理及措施研究综述 [J]. 福建水土保持,2004,16(3):14—18.