

紫色丘陵区侵蚀性降雨与降雨侵蚀力特征

李林育^{1,2}, 王志杰¹, 焦菊英^{1,3†}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100 陕西杨凌; 2. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 610041, 成都; 3. 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100 陕西杨凌)

摘要: 降雨侵蚀力(R 值)的空间分布反映了区域气候对土壤侵蚀的作用。利用四川盆地紫色丘陵区多年实测降雨资料,应用频率分析法,推求该地区侵蚀性降雨的一般雨量标准,揭示该地区侵蚀性降雨及其侵蚀特征,进而运用降雨侵蚀力日降雨量计算方法,分析紫色丘陵区降雨侵蚀力时空分布特征。结果表明:1) 紫色丘陵区顺坡休闲农耕地的侵蚀性降雨的一般雨量标准为11.3 mm;2) 紫色丘陵区多年平均总降雨量中有60%以上属于侵蚀性降雨,侵蚀性降雨主要集中于5—9月,其中7、8月年均侵蚀性降雨量和土壤侵蚀量最大,空间分布上表现为丘陵区边缘地区大于中部地区;3) 紫色丘陵区年均 R 值介于5 000~6 500 MJ/(mm·hm²·h)之间,由丘陵区周边向中心逐渐减小,研究区北部的巴中、达县、阆中3站的年均降雨侵蚀力形成高值区,中部的遂宁站形成低值中心,北部大于南部,西部大于东部;4) 紫色丘陵区 R 值主要由 ≥ 15 mm的降雨构成,占76.9%~82.1%,年内集中度较高,主要分布在汛期5—10月份,占年 R 值的89%以上;5) R 值的年际变化较大,达到中等程度变异,不同地区的 R 值年际变化差异较大,但并未表现出明显的随时间变化的增减趋势。

关键词: 侵蚀性降雨; 土壤侵蚀; 降雨侵蚀力; 时空分布; 紫色丘陵区

中图分类号: S157.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-3007(2013)01-0008-09

Erosive rainfall and rainfall erosivity in purple hilly area

Li Linyu^{1,2}, Wang Zhijie¹, Jiao Juying^{1,3}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi;
2. China Petroleum Engineering Co., LTD, Southwest Company, 610041, Chengdu;
3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi: China)

Abstract: The spatial distribution of rainfall erosivity could reflect the role of the regional climate for soil erosion. Based on measured rainfall data for many years, frequency analysis method was employed to calculate the general rainfall standards of the erosive rainfall, and the erosive rainfall and its soil erosion characteristics were analyzed in the purple hilly area in Sichuan Basin. The rainfall erosivity was calculated using daily rainfall amounts and the spatial-temporal characteristics of rainfall erosivity were analyzed. The results showed that: 1) The general rainfall standard of erosive rainfall of the downslope cultivation land was 11.3 mm. 2) Over 60% of rainfall events were erosive rainfall. Erosive rainfall mainly fell on May to September. The erosive rainfall amount and soil erosion amount in the July and August was the largest. To the spatial distribution, the erosive rainfall of the edge region was greater than that of the central region. 3) The annual average rainfall erosivity value was between 5 000 and 6 500 MJ/(mm·hm²·h). It decreased from the edge to the central regions gradually, and was greater in the northern and western area than the southern and eastern areas. The annual average rainfall erosivity of the

收稿日期: 2012-09-04 修回日期: 2012-11-21

项目名称: 国家重点发展基础研究计划(973)项目“区域水土流失过程与趋势分析”(2007CB407203)

第一作者简介: 李林育(1983—)男,硕士研究生。主要研究方向: 侵蚀产沙及河流输沙。E-mail: lilinyu_sw@163.com

†通信作者简介: 焦菊英(1965—)女,博士,博士生导师。主要研究方向: 流域侵蚀产沙、土壤侵蚀与植被关系及水土保持效益评价。E-mail: jjiao@ms.iswc.ac.cn

Bazhong station, Daxian station and Langzhong station in northern area formed the high value area, and the Suining station in central area formed the low value area. The rainfall erosivity was mainly composed by ≥ 15 mm rainfall events, accounting for 76.9% - 82.1% of total rainfall events. It was mainly distributed in flood season (between May to October) and accounted for more than 89% of annual rainfall erosivity. The interannual variability of rainfall erosivity was larger up to moderate variation, but did not occur to obvious increase or decrease trend over time.

Key words: erosive rainfall; soil erosion; rainfall erosivity; spatial-temporal characteristics; purple hilly area

降雨是造成水土流失发生、发展的重要外部动力条件,是引起土壤侵蚀的主要因子之一。降雨侵蚀力指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,与降雨强度、降雨量、降雨历时等降雨参数有关,反映了气候因素对土壤侵蚀的作用能力。如何准确评估计算降雨侵蚀力,对定量预报土壤流失具有重要意义^[1]。降雨侵蚀力值的经典计算方法是美国 W. H. Wischmeier 等^[2-3]提出的 EI_{30} 方法,采用此方法计算,需要多年的次降雨观测资料,并且需要计算降雨动能,其计算方法繁琐而且对降雨资料的要求较高,在一般地区难以实现^[4]。为此,有学者研究发展了降雨侵蚀力的简易算法,即利用常规的降雨资料如次降雨量、日降雨量、月降雨量和年降雨量等来估算降雨侵蚀力 R 值^[5-10],并得到广泛应用。其中章文波等^[10]提出的利用日降雨量计算降雨侵蚀力的方法在我国南方降雨量丰富的地区被证实具有很高的稳定性和预测精度。

自然界中,不是所有的降雨都能引起土壤侵蚀;因此,在降雨侵蚀力计算中,必须引入侵蚀性降雨的概念,即能产生地表径流、引起土壤侵蚀、真正意义上发生土壤流失的降雨量。1978年,USLE第2版中第1次提出侵蚀性降雨标准,认为一次降雨如果 < 12.7 mm 或一次降雨 < 15 min,且降雨量 < 6.5 mm,则在降雨侵蚀力计算中剔除,但并没有交代确定该标准的方法,也没有具体说明该标准对计算降雨侵蚀力的影响,只是指出小于该标准的降雨引起的土壤流失量很小^[2]。在我国,有学者应用频率分析法^[11]、基于产流发生侵蚀的降雨样本^[12-14]、以漏选而发生侵蚀的降雨侵蚀力之和等于多选而不发生侵蚀的降雨侵蚀力之和为原则^[15]以及径流小区实测^[16-17]等方法,分别建立了黄土高原、黑龙江、云南滇东北和川中丘陵区(南充县坡耕地坡面、遂宁组母质侵蚀区)等地的侵蚀性降雨标准。我国学者在应用日降雨量计算降雨侵蚀力方法时,通常采用 12 mm 作为侵蚀性降雨标准^[30],然而,侵蚀性降雨标准

存在区域性差异,不同地区侵蚀性降雨标准不同,甚至同一地区不同试验点所得出的结果也不一致;因此,不能用某一试验点的研究结果替代区域级特征。研究较大空间尺度的侵蚀性降雨标准需在多地、多水文径流泥沙资料的基础上运用数学和统计学方法进行合理分析。

四川盆地紫色丘陵区是我国紫色土集中分布区,其与四川盆地这一特殊的地貌类型相结合构成了一种典型的不同于西北黄土区、东北黑土区以及南方红壤区的侵蚀类型区。该地区降雨集中且强度大,加之紫色土松散,黏结性差,极易被地表径流剥蚀和搬运,故而水力侵蚀是该区的主要侵蚀类型。而该地区关于影响土壤侵蚀的主要因素降雨因子的研究,目前主要集中在利用小区定位观测法、小流域定点观测法、人工模拟降雨条件下的微型小区观测法等方法研究降雨侵蚀力与产流产沙量之间的关系^[18-20]。对于较大空间尺度上的降雨侵蚀力空间分布特征方面的研究少见报道;然而,降雨侵蚀力的空间分布反映了区域气候对土壤侵蚀的作用,对于区域水土保持规划和生产实践具有重要意义^[1]。基于此,笔者利用紫色丘陵区多年实测降雨资料,应用频率分析法,确定该地区侵蚀性降雨的一般雨量标准,揭示该地区侵蚀性降雨及其土壤侵蚀特征,进而运用降雨侵蚀力日降雨量计算方法,并采用本研究确定的侵蚀性降雨标准,计算该地区降雨侵蚀力,分析其空间分布、年内、年际分布以及雨量量级分布特征,以期为该地区土壤流失量定量预报、水土保持规划提供数据支持和科学依据。

1 研究区概况

紫色丘陵区(图1)属中亚热带湿润气候型,区内年均气温 $16 \sim 18$ °C,日照时间 $1\ 000 \sim 1\ 300$ h/a,多年平均降雨量 $800 \sim 1\ 600$ mm,且年内分配极不平衡,夏季降雨量占全年的 65%,通常以大暴雨形式出现,许多地区 1 d 最大降雨量可达 $100 \sim 250$ mm,

局部地区 24 h 降雨量可达 800 ~ 1 000 mm^[21]。区内地貌类型包括低山、丘陵和平原,在地质构造上,主要以侏罗系、白垩系紫色砂、页岩为主,也有部分三叠系、少量第三系的紫色砂、泥岩和砾岩。主要发育由紫色页岩类风化而成的紫色土^[22]。植被区划属于湿润常绿阔叶林亚区域中的中亚热带常绿阔叶林地带,植被组合有亚热带常绿阔叶林、低山常绿针叶林、竹林和亚热带草丛^[23]。由于人口密度大,人均耕地少,垦殖指数高,森林覆盖率低等原因,区内水土流失比较严重,水土流失面积达到 668 万 hm²,年均侵蚀量 3 173 亿 t,平均侵蚀模数达 4 886 t/(km²·a),其水土流失面积及土壤流失量分别占全省的 13.8% 和 36.7%^[24-25]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

利用遂宁站、升钟站、岳池站、简阳站 4 个站点 20°左右的顺坡休闲农耕地小区共 101 场侵蚀性降雨资料确定侵蚀性降雨标准,并结合上述各站和蒲江站、大竹站、井研站、蓬溪站的多年降雨侵蚀资料,分析侵蚀性降雨特征与其侵蚀特征。径流小区和小流域资料主要来源于四川省水土保持局整编的《四川省水土保持试验站观测成果(1984—2001)》,其他观测资料下载自地球系统科学数据共享网《紫色

土数据集》和《紫色土试验示范数据集(1984—1994)》,部分数据由刘刚才和王玉宽老师提供。

降雨侵蚀力分析中采用的降雨资料由北京师范大学谢云教授提供,包括遂宁、南充、巴中、广元、阆中、达县、资阳、内江、宜宾、泸州等 10 个雨量站数据(图 1),时段为 1951—2007 年。

2.2 侵蚀性降雨标准的确定

对于紫色丘陵区侵蚀性降雨的一般雨量标准的确定,借鉴王万忠^[11]的研究方法,将 101 场侵蚀性降雨资料随机抽取 70 场作为运算数据,另外 31 场资料作为验证数据,把所有侵蚀性降雨的雨量按大小顺序递减排列,并将其相应的土壤侵蚀量逐个累加,得到 n 次侵蚀性降雨的总侵蚀量(q),然后按雨量大小变化把它分为若干等级,求出大于某一雨量(P)的累计侵蚀量(Q)占总侵蚀量(q)的比例(P_Q),剔除允许土壤流失量后的累积土壤侵蚀量占总侵蚀量时的 P_Q 所对应的雨量作为侵蚀性降雨的一般雨量标准。其中 P_Q 的计算式为

$$P_Q = Q/q \times 100\% \quad (1)$$

点绘 $P - P_Q$ 关系曲线后,求得如下关系式:

$$P_Q = 97.534 - 0.664P \quad (2)$$

式中: P_Q 为侵蚀累积比例,%; Q 为累计侵蚀量,kg; q 为总侵蚀量,kg; P 为相应的雨量标准,mm。

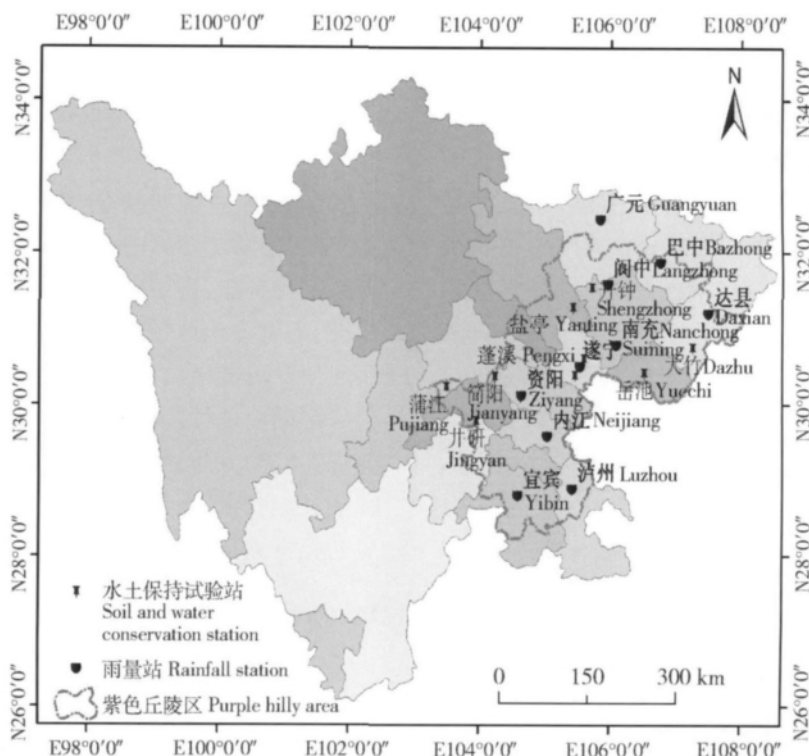


图 1 紫色丘陵区区划图

Fig. 1 Zoning map of the purple hilly area

2.3 降雨侵蚀力的计算方法

采用章文波等^[10]提出的利用日降雨量资料计算降雨侵蚀力的方法计算紫色丘陵区的降雨侵蚀力,但侵蚀性降雨量按 11.3 mm 计算。其中,降雨侵蚀力年际变化特征采用 3 种指标表示:一是离差系数 C_v ;二是最大年 R 值与平均年 R 值的比值;三是最大年 R 值与最小年 R 值的比值系数。

3 结果与分析

3.1 侵蚀性降雨特征

3.1.1 侵蚀性雨量标准 根据紫色丘陵区的土壤流失特征,并参考黄土高原侵蚀性降雨的雨量标准,规定允许的土壤流失量可占总流失量的 10% 以下,即拟定的侵蚀性降雨的一般雨量标准所引起的土壤流失量应占总流失量的 90% 以上。令 $P_Q = 90%$,

运用 70 场侵蚀性降雨资料,由式(2)求得 $P = 11.3$ mm。

运用 31 场未参与侵蚀性降雨标准拟合的验证数据,利用式(1),计算大于 11.3 mm 降雨量的累积侵蚀量占总侵蚀量的比例,得到 $P_Q = 99.1%$,说明小于 11.3 mm 降雨量引起的土壤流失量只占总流失量的 0.9%,次最大土壤流失量仅为 60.0 t/km²;因此,可以认为紫色丘陵区顺坡休闲农耕地的侵蚀性雨量标准为 11.3 mm。

3.1.2 侵蚀性雨量年内分布与侵蚀特征 主要水土保持试验站的侵蚀性降雨量及其年内分布特征见表 1。可以看出:紫色丘陵区侵蚀性降雨量占多年平均降雨量的 60% 以上,主要集中于 5—9 月,占年均侵蚀性降雨量的 86.5% ~ 96.0%,其中 6—8 月所占比例最大,为 59.1% ~ 74.7%,大部分地区 1、2

表 1 主要水土保持试验站的侵蚀性降雨量及其年内分布特征

Tab.1 Erosive rainfall and its distribution within the year in the main soil and water conservation experiment stations

站名 Station	资料年限 Period	特征 Characteristic	月雨量 Monthly Rainfall/mm												合计 Total
			1月 Jan.	2月 Feb.	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	
遂宁 Suining	1985—2001	多年平均值 Multi-years average rainfall	13.2	17.6	28.8	61.4	87.6	159.8	174.5	144.4	116.1	55.9	29.2	13.8	902.2
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0.0	1.7	7.7	33.1	52.5	130.7	146.2	116.0	78.4	22.3	22.3	0.8	600.7
		$P_e/P \times 100$	0.0	9.7	26.7	53.9	59.9	81.8	83.8	80.3	67.5	39.9	39.9	5.8	66.6
升钟 Shengzhong	1983—2001	多年平均值 Multi-years average rainfall	8.1	12.5	20.3	45.8	93.2	122.6	180.5	165.8	119.6	44.7	44.7	9.0	844.3
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	2.0	20.4	68.1	93.8	150.5	136.4	85.3	15.5	15.5	0	578.7
		$P_e/P \times 100$	0	0	9.9	44.5	73.1	76.5	83.4	82.3	71.3	34.7	34.7	0	68.5
蒲江 Pujiang	1984—1998	多年平均值 Multi-years average rainfall	18.5	24.7	47.4	66.6	105.1	146.8	338.0	286.1	167.5	56.3	56.3	17.8	1307.0
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	7.8	30.1	65.8	110.9	297.6	249.2	124.6	15.9	15.9	0	911.7
		$P_e/P \times 100$	0	0	16.5	45.2	62.6	75.5	88.0	87.1	74.4	28.2	28.2	0	69.8
大竹 Dazhu	1986—1990	多年平均值 Multi-years average rainfall	25.7	20.7	34.2	82.1	157.7	186.9	235.4	128.1	124.8	69.5	69.5	18.6	1126.9
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	6.0	5.2	39.2	114.2	150.1	198.5	108.1	97.7	27.7	27.7	4.7	772.9
		$P_e/P \times 100$	0	29.0	15.2	47.7	72.4	80.3	84.3	84.4	78.3	40.0	40.0	25.3	68.6
井研 Jingyan	1985—1990	多年平均值 Multi-years average rainfall	11.2	18.5	37.7	65.0	87.3	104.2	233.0	206.9	173.7	36.5	36.5	8.6	1001.3
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	4.8	25.1	52.5	66.0	198.6	169.7	133.7	2.4	2.4	0	657.7
		$P_e/P \times 100$	0	0	12.7	38.6	60.1	63.3	85.2	82.0	77.0	6.6	6.6	0	65.7

表 1(续)

站名 Station	资料年限 Period	特征 Characteristic	月雨量 Monthly Rainfall/mm												合计 Total
			1月 Jan.	2月 Feb.	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	
简阳 Jiayang	1984—1989	多年平均值 Multi-years average rainfall	10.1	11.0	19.2	31.2	93.3	115.2	247.5	194.6	105.2	29.9	29.9	8.4	885.0
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	0	10.9	63.4	85.6	222.0	176.0	74.0	8.2	8.2	0	647.1
		$P_e/P \times 100$	0	0	0	34.9	68.0	74.3	89.7	90.4	70.3	27.4	27.4	0	73.1
蓬溪 Pengxi	1985—1990	多年平均值 Multi-years average rainfall	14.5	14.2	23.6	44.3	87.1	102.7	164.8	161.5	111.2	41.3	41.3	10.0	801.2
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	0	17.6	54.3	63.8	129.1	141.1	65.7	10.0	10.0	0	483.5
		$P_e/P \times 100$	0	0	0	39.7	62.3	62.1	78.3	87.4	59.1	24.2	24.2	0	60.3
岳池 Yuechi	1985—1986	多年平均值 Multi-years average rainfall	10.7	19.5	9.8	68.6	137.6	137.5	123.4	87.0	118.8	31.9	31.9	9.5	774.4
		年均侵蚀性雨量 Average annual erosive rainfall	0	0	0	37.8	110.6	113.8	105.5	67.5	97.3	13.0	13.0	0	557.5
		$P_e/P \times 100$	0	0	0	55.1	80.4	82.8	85.5	77.6	81.9	40.8	40.8	0	72.0

注: P_e 为年均侵蚀性雨量, mm。Note: P_e is average annual erosive rainfall, mm。

和 12 月没有侵蚀性降雨发生。在空间分布上, 丘陵区西部的蒲江站年均侵蚀性降雨量值最大, 为 911.7 mm, 中部蓬溪站年均侵蚀性降雨量值最小, 为 483.5 mm。年均侵蚀性雨量占多年平均雨量值比例最大的为丘陵区中部西南侧的简阳站, 达到 73.1%, 比例最小的是蓬溪站, 为 60.3%。

结合径流小区实测的降雨侵蚀产沙资料, 并考虑到水土保持措施因素对侵蚀性降雨与土壤侵蚀特征关系的影响, 选用未受人类活动干扰, 并且在同等土地利用方式即顺坡耕作下(主要种植作物为苕麻 (*Boehmeria nivea*)) 的径流小区降雨产沙资料进行分析, 结果见表 2。可以看出: 在顺坡耕作区, 5—9 月份土壤侵蚀量随侵蚀性降雨量的增加而增大, 其中 7、8 月年均侵蚀性降雨量和土壤侵蚀量最大(岳池站除外), 其他 3 个月之间的变化规律较不明显。

3.1.3 量级分布与侵蚀特征 以井研站 1985—1990 年径流小区(小区面积为 48.0 m²) 观测的次降雨产流产沙情况为基础进行统计分析, 结果见表 3。可以看出: 虽然雨量在 11.3 mm 以下的降雨次数多达 323 次, 占总降雨次数的 69.6%, 但产流却只有 1 次, 其土壤侵蚀量也只有 0.15 kg, 占总流失量的 0.05%, 这一雨量级对土壤侵蚀影响不大; 而 20 mm 以上降雨, 引起的土壤流失量为 290.4 kg, 占总侵蚀量的 96.75%, 其中雨量为 50.1 ~ 100 mm 之间的降雨有 16 次, 只占总降雨次数的 3.4%, 其产流次数

为 14 次, 占 11.3 mm 以上总产流次数的 22.6%, 产流率达到 87.5%, 其土壤流失量最多, 为 141.2 kg, 占总侵蚀量的 47.0%。

6 年间 5—9 月份 > 30 mm 雨量的侵蚀性降雨 45 次, 仅占总降雨次数的 9.7%, 然而, 由此产生的侵蚀量高达 275.0 kg, 占总侵蚀量的 91.5%。可知, 紫色丘陵区土壤侵蚀主要是由少数几次暴雨和大暴雨引起的, 这些暴雨与大暴雨集中分布在 5—9 月份。从另一方面来看, 分级雨量越大, 产生的土壤侵蚀量越大, 特别是次降雨量大于 100 mm 的降雨, 平均次侵蚀强度高达 532.9 t/km², 一次降雨就足以使顺坡耕地产生的侵蚀量超过水利部颁布的年土壤容许流失量^[26]。

坡面采取了横坡耕作措施以后, 也显示出土壤侵蚀主要发生在较大雨量级, 特别是大暴雨级 (> 100 mm), 2 次降雨产生侵蚀量占总侵蚀量的 28.6% (表 4)。然而, 侵蚀量比未采取耕作措施的小近 1/2。

3.2 降雨侵蚀力

3.2.1 空间分布 紫色丘陵区主要站点降雨侵蚀力年内分配比例见图 2。可以看出, 紫色丘陵区年均 R 值空间分布差异较大, 基本上介于 5 000 ~ 6 500 MJ/(mm·hm²·h) 之间(除巴中站为 7 182.9 MJ/(mm·hm²·h) 外), 由丘陵区周边向中部逐渐减小, 研究区北部大于南部, 西部大于东部, 其中丘陵

区北部的巴中、达县、阆中的年均降雨侵蚀力均超过 6 000 MJ/(mm·hm²·h)。多年平均 R 值最大的测站为巴中站, R 值为 7 182.9 MJ/(mm·hm²·h), R 值最小的测站是研究区中部的遂宁站, R 值为 5 079.0 MJ/(mm·hm²·h), 极差达到 1 322.1 MJ/(mm·hm²·h)。

表 2 顺坡耕作 5—9 月的侵蚀性降雨量与土壤侵蚀量

Tab. 2 Erosive rainfall and soil erosion amount in the downslope cultivation land plots between May and September

站点 Station	坡度 Gradient/(°)	坡长 Slope length/m	资料年限 Period	月份 Month	侵蚀性降雨量 Erosive rainfall/mm	侵蚀量 Erosion amount/(t·km ⁻²)
遂宁 Suining	25	10.52	1984—1985	5	54.2	463.6
				6	44.8	389.1
				7	189.1	823.8
				8	79.9	698.7
				9	31.7	337.3
升钟 Shengzhong	22~25	17.98	1983—1986	5	87.9	821.0
				6	64.7	209.5
				7	175.8	1 068.8
				8	114.1	647.2
				9	98.3	382.8
蒲江 Pujiang	20	21.28	1984—1990	5	41.0	46.9
				6	29.0	155.7
				7	256.8	1 740.7
				8	194.1	1 493.6
				9	41.0	45.5
大竹 Dazhu	25	13.75	1985—1990	5	61.1	123.1
				6	81.0	165.3
				7	96.4	351.6
				8	85.8	178.9
				9	39.6	65.4
井研 Jingyan	13.5	12	1985—1990	5	30.1	113.5
				6	71.9	146.7
				7	149.9	605.8
				8	146.0	312.4
				9	58.9	135.4
岳池 Yuechi	20	10.64	1985—1986	5	98.0	1 361.6
				6	83.0	466.1
				7	95.7	878.6
				8	67.5	601.5
				9	56.3	511.6

表 3 井研站 1985—1990 年分级雨量降雨次数与顺坡耕地土壤侵蚀量

Tab. 3 Frequency of different rainfall levels and graded erosion amount in the downslope cultivation land plots from 1985 to 1990

分级雨量 Rainfall level/ mm	5—9 月降雨次数 Rainfall frequency from May to Sept.	5—9 月产流次数 Runoff frequency from May to Sept.	产流率 Runoff rate/%	土壤侵蚀量 Soil erosion amount/kg	次侵蚀量 Once erosion amount/kg	占总侵蚀量比例 Proportion of total erosion/%
0~11.3	323	1	0.3	0.15	0.15	0.05
11.3~20.0	68	17	25.0	9.90	0.58	3.20
20.1~30.0	28	14	50.0	15.50	1.10	5.10
30.1~50.0	27	15	55.6	82.60	5.50	27.50
50.1~100	16	14	87.5	141.20	10.10	47.00
>100	2	2	100.0	51.20	25.60	17.00

表 4 井研站 1985—1990 年分级雨量降雨次数与横坡耕地的土壤侵蚀量

Tab. 4 Frequency of different rainfall levels and graded erosion amount in the contour cultivation plots from 1985 to 1990

分级雨量 Rainfall level/ mm	5—9 月降雨次数 Rainfall frequency from May to Sept.	5—9 月产流次数 Runoff frequency from May to Sept.	产流率 Runoff rate/%	土壤侵蚀量 Soil erosion amount/kg	次侵蚀量 Once erosion amount/kg	占总侵蚀量比例 Proportion of total erosion/%
0~11.3	323	1	0.3	0.02	0.02	0.03
11.3~20	68	10	14.7	1.76	0.18	2.30
20.1~30	28	11	39.3	1.68	0.15	2.20
30.1~50	27	11	40.7	20.00	1.80	26.30
50.1~100	16	13	81.3	30.80	2.37	40.50
>100	2	2	100.0	21.80	10.90	28.60

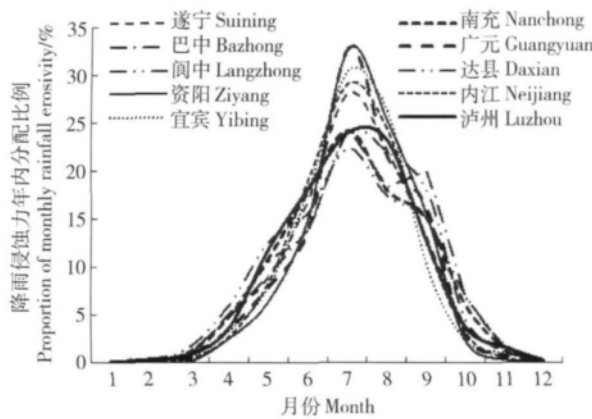


图 2 紫色丘陵区主要站点降雨侵蚀力年内分配比例
Fig. 2 Proportion of monthly rainfall erosivity in purple hilly area

3.2.2 年内分布 由图 2 和表 5 可以看出:紫色丘陵区 R 值主要分布在 5—10 月,占年 R 值的 89% 以上,其中 6、7、8 或 7、8、9 月可占年 R 值的 60% 以上,7、8 月可占年 R 值的 40% 以上,R 值的月分布集中程度比较高;11 月至翌年的 4 月,6 个月的 R 值仅占年 R 值的 3.0%~10.2%,部分地区 1 和 12 月的 R 值为 0,其中,10 个站的月 R 值最大值均为 7 月,广元、资阳及宜宾 7 月的 R 值相对较大,分别占年 R 值的 32.8%、32.8% 和 30.5%,宜宾、资阳及内江 8 月的 R 值相对较大,分别占年 R 值的 26.1%、25.1% 和 24.2%。

3.2.3 年际分布 从表 6 的结果可以看出,紫色丘陵区 R 值的年际变化离差系数 C_v 值变化于 0.3~

表 5 紫色丘陵区主要站月、年降雨侵蚀力

Tab. 5 Monthly and annual rainfall erosivity in purple hilly area

站名 Station	资料年限 Period	降雨侵蚀力 R 值 Rainfall erosivity/(MJ·mm ⁻¹ ·hm ⁻² ·h ⁻¹)												年值 Total
		1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	
遂宁 Suining	1951—2006	3.4	3.8	35.5	246.0	458.3	864.7	1427.5	1115.2	662.3	196.5	58.5	7.1	5079.0
南充 Nanchong	1951—2007	5.9	5.2	56.1	251.1	568.6	940.2	1262.9	934.2	782.6	311.5	83.6	12.3	5214.2
巴中 Bazhong	1953—2006	2.3	11.7	63.0	334.7	658.8	1001.3	1778.0	1318.7	1436.0	494.4	112.9	12.5	7182.9
广元 Guanyuan	1951—2006	0.0	5.7	41.1	199.8	448.7	788.2	1856.9	1214.2	905.2	161.1	41.2	0.0	5662.2
阆中 Langzhong	1958—2006	0.0	8.7	54.1	308.7	635.2	845.2	1448.8	1321.7	1082.3	269.4	72.9	3.0	6048.9
达县 Daxian	1951—2006	3.6	19.5	104.0	380.9	806.8	1006.2	1429.7	1107.8	950.7	446.9	124.6	20.4	6401.1
资阳 Ziyang	1957—1990	1.6	1.8	4.1	130.1	335.5	797.8	1731.3	1321.9	806.6	122.1	13.2	4.4	5270.4
内江 Neijiang	1951—2001	0.0	7.2	23.2	152.8	485.6	1101.7	1673.4	1393.3	715.9	176.1	26.2	2.5	5758.0
宜宾 Yibin	1951—2006	0.0	6.9	32.7	190.9	460.7	1050.4	1782.9	1523.9	592.4	136.2	57.0	2.6	5836.5
泸州 Luzhou	1951—2002	2.9	14.9	38.6	185.4	605.5	928.4	1224.8	1179.6	642.6	186.1	81.2	10.1	5100.2

0.5 之间,属于中等变异程度,北部大于中部和南部地区,其中阆中和内江的离差系数最大,资阳的离差系数最小。最大年 R 值为平均年 R 值的 1.7~2.4 倍,地区间差异不大,其中内江最大,为 2.4 倍,遂宁

最小,为 1.7 倍,最大年 R 值与最小年 R 值的比值系数基本变化在 3.9~8.6 倍之间,其中内江最大,资阳最小。

表 6 紫色丘陵区主要站降雨侵蚀力的年际变化特征

Tab. 6 Variation characteristics of annual rainfall erosivity in purple hilly area

站名 Station	资料年限 Period	年降雨侵蚀力 Annual rainfall erosivity					变异系数 C_v Coefficient of variation
		年均 R 值 Annual average rainfall erosivity	最大年 R 值 Maximum rainfall erosivity	最小年 R 值 Minimum rainfall erosivity	最大与年均 R 值之比 Ratio between maximum and annual rainfall erosivity	最大与最小 R 值之比 Ratio between maximum and minimum rainfall erosivity	
遂宁 Suining	1951—2006	5 079.0	8 744.3	1 837.7	1.7	4.8	0.36
南充 Nanchong	1951—2007	5 214.2	9 999.7	1 991.1	1.9	5.0	0.35
巴中 Bazhong	1953—2006	7 182.9	14 034.0	2 463.3	2.0	5.7	0.40
广元 Guanyuan	1951—2006	5 662.2	13 145.0	2 190.3	2.3	6.0	0.41
阆中 Langzhong	1958—2006	6 048.9	13 984.8	2 222.2	2.3	6.3	0.42
达县 Daxian	1951—2006	6 401.1	13 156.0	1 891.9	2.1	7.0	0.36
资阳 Ziyang	1957—1990	5 270.4	10 136.8	2 581.8	1.9	3.9	0.31
内江 Neijiang	1951—2001	5 758.0	13 933.5	1 628.6	2.4	8.6	0.42
宜宾 Yibin	1951—2006	5 836.5	10 397.0	2 235.9	1.8	4.7	0.35
泸州 Luzhou	1951—2002	5 100.2	9 588.3	2 076.0	1.9	4.6	0.33

4 结论与讨论

1) 紫色丘陵区顺坡休闲农耕地侵蚀性降雨的一般雨量标准为 11.3 mm。

这一结果略高于利用同一方法计算的国内其他地区,如黄土地区农耕地侵蚀性降雨的一般雨量标准为 9.9 mm,黑龙江及云南滇东北地区的基本雨量标准分别为 9.8 和 9.2 mm。这可能与不同地区土壤抗蚀性特征有关,紫色丘陵区土壤抗蚀性较其他地区好^[27]。同时,黄土地区主要为超渗产流,当降雨强度超过了土壤的入渗速度,就会形成坡面径流^[28],而紫色丘陵区主要以蓄满产流为主,这也可能是导致 2 个地区侵蚀性降雨标准差异的原因。另外,研究仅对侵蚀性降雨的一般雨量标准进行了分析,由于缺少实测降雨强度数据,没有分析侵蚀性降雨的降雨强度特征,而降雨最大强度是影响暴雨侵蚀力的最重要的特征之一^[28];因此,今后应增加降雨过程的观测,以便获得不同的降雨强度指标,提出适合于该区的侵蚀性降雨的降雨强度标准。

2) 紫色丘陵区侵蚀性降雨占多年平均总降雨量的 60%,丘陵区边缘地区侵蚀性降雨量大于丘陵区中部地区。次降雨量与土壤侵蚀量是密切相关的,暴雨侵蚀是水土流失防御的重点事件,且 7—8 月是紫色丘陵区水土保持的关键时期;但耕作措施可削弱降雨对土壤侵蚀的影响,因此,在紫色丘陵区除改善工程措施外,应实行免耕、少耕或水土保持耕作法,以增加混作套种,增大作物覆盖,减少水土流失^[16]。

3) 紫色丘陵区年均 R 值介于 5 000~6 500 MJ/(mm·hm²·h) 之间。不同地区间 R 值与侵蚀性降雨的空间分布趋势基本相同。年 R 值的年内集中度较高,主要分布在 5—10 月份,可占年 R 值的 89% 以上;降雨侵蚀力的年内变化趋势与我国西北黄土区^[29]、东北黑土区^[16]、南方地区^[30]等地的研究结果基本一致,这与我国大部分地区所处的亚热带大陆性季风气候环境有关^[31]。 R 值的年际变化也较大,达到中等程度变异,不同地区的 R 值年际变化差异较大,但并未表现出明显的随时间变化的增减趋势。

中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所刘刚才研究员和北京师范大学谢云教授为本研究提供了部分径流小区水文泥沙资料和降雨资料,在此表示诚挚的感谢。

5 参考文献

- [1] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33-40
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning[M]. USDA Agricultural Handbook, 1978: 537
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. Transactions, American Geophysical Union, 1958, 39(2): 285-291
- [4] 伍育鹏, 谢云, 章文波. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31-34
- [5] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco [J]. FAO Soils Bulletin, 1977, 34: 39-51
- [6] Ferro V, Giordano G, Iovino M. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily [J]. Hydrological Sciences Journal, 1991, 36: 549-564
- [7] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the Revised USLE [J]. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287-306
- [8] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18
- [9] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(Ⅰ) [J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5-18
- [10] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711
- [11] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究 III: 关于侵蚀性降雨的标准问题[J]. 水土保持通报, 1984, 4(2): 58-63
- [12] 江忠善, 李秀英. 黄土高原土壤流失方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988(7): 40-45
- [13] 张宪奎, 卢秀琴, 詹敏, 等. 土壤流失预报方程中 R 指标的研究[J]. 水土保持科技情报, 1991(4): 48-49
- [14] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1-9
- [15] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11
- [16] 吕甚悟, 李君莲. 降雨及土壤湿度对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1992, 29(1): 94-103
- [17] 孙佳, 何丙辉, 吴咏, 等. 不同降雨条件下紫色土母质水沙输移动态研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 457-459
- [18] 刘刚才, 高美荣, 林三益, 等. 紫色土两种耕作制的产流产沙过程与水土流失观测准确性分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 108-113
- [19] 王玉宽, 王勇强, 傅斌, 等. 紫色土坡面降雨侵蚀试验研究[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 597-600
- [20] 高美荣, 刘刚才, 朱波. 四川紫色土丘陵区不同耕作制的产流过程初步分析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 118-121
- [21] 史德明. 长江流域水土流失与洪涝灾害关系剖析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 1-7
- [22] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土: 上篇[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 15-20
- [23] 卢喜平, 史东梅, 吕刚, 等. 紫色土坡地果草种植模式的水土流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 21-25
- [24] 李文萍, 雷孝章, 刘兴年, 等. 四川盆地紫色土丘陵区水土流失及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 137-139
- [25] 何淑勤, 郑子成. 浅议四川盆地丘陵区的水土保持[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 101-102
- [26] 水利部水土保持司. SL 190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 8
- [27] 周大渊, 熊明彪, 林立金, 等. 坡度对紫色土坡耕地侵蚀性降雨值的影响[J]. 水土保持通报, 2009(6): 159-162
- [28] 焦菊英, 王万中, 李靖. 黄土丘陵区不同降雨条件下水平梯田的减水减沙效益分析[J]. 水土保持学报, 1999(3): 59-63
- [29] 穆兴民, 戴海伦, 高鹏, 等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 37-43
- [30] 吴昌广, 林德生, 肖文发, 等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 151-158
- [31] 刘育贤. 川西北丘陵区降雨侵蚀力指标 R 的初步研究[J]. 四川林业科技, 1992, 13(2): 41-44

(责任编辑: 宋如华)