

乌江流域 1956—2014 年降雨特征及输沙效应

邬玉琴¹, 何太蓉^{1,2}, 钟博星¹

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要: [目的] 研究乌江流域的降雨特征及输沙效应, 为流域水土保持、生态恢复、防灾减灾、水资源合理利用等提供重要理论参考。[方法] 采用累积距平法、双累积曲线法分析了乌江流域年际、年代、汛期降雨特征, 以及降雨侵蚀力和人类活动对流域输沙效应的影响。[结果] ① 1956—2014 年, 乌江流域年降雨量和年侵蚀性降雨量均呈现出波动下降趋势。研究时段内大致经历了少雨—多雨—少雨—多雨—少雨 5 个年际变化阶段。② 乌江流域在 1970—1979, 1990—1999 年为多雨时期, 流域内 59 a 中约有 32.57% 的降雨为侵蚀性降雨, 且多发生于 1960—1979 年。③ 乌江流域汛期降雨以侵蚀性降雨为主, 侵蚀性降雨主要发生在 6 月。④ 通过建立乌江流域年输沙量和年降雨侵蚀力双累积曲线方程, 计算得出 1984—1989, 1990—1999 和 2000—2013 年降雨侵蚀力的贡献率分别为 15.55%, 2.84% 和 12.46%; 1990—1999 年降雨侵蚀力对输沙变化的影响程度最低。[结论] 乌江流域的降雨侵蚀产沙更多地发生在汛期, 1983 年后人类活动对输沙量的影响占据主导地位。

关键词: 降雨特征; 输沙效应; 累积距平; 双累积曲线; 乌江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0001-07

中图分类号: X502

文献参数: 邬玉琴, 何太蓉, 钟博星. 乌江流域 1956—2014 年降雨特征及输沙效应[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 1-7. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.001. Wu Yuqin, He Tairong, Zhong Boxing. Characteristics of precipitation and sediment effect in Wujiang River basin during 1956—2014[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 1-7.

Characteristics of Precipitation and Sediment Effect in Wujiang River Basin During 1956—2014

WU Yuqin¹, HE Tairong^{1,2}, ZHONG Boxing¹

(1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University,

Chongqing 401331, China; 2. Key Laboratory of Surface Process and

Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of precipitation and its sediment effect in Wujiang river basin was investigated, in order to provide theoretical reference for soil and water conservation, ecological restoration, disaster prevention and mitigation, and the rational use of water resources. [Methods] The accumulative anomaly curve methods and double-mass curve were used to analyze rainfall characteristics in interannual, chronological and flood seasons, and to analyze the contribution rate of rainfall erosivity and human activities sediment effect. [Results] ① From 1956 to 2014, the annual precipitation and annual erosive precipitation showed a decreasing trend, and the annual precipitation experienced five wet-dry-alternate periods. ② Rainfall occurred mostly in 1970s and 1990s, and about 32.57% of the precipitation caused soil erosion in the basin during the past 59 years. Erosive precipitation occurred mostly in 1960—1979. ③ The precipitation in flood season was mainly erosive precipitation, and the erosive precipitation mainly occurred in June. ④ According to the double mass curve equation, the contribution of precipitation erosivity to river sediment discharge in the last 6 years of 1980s, 1990s and the first 14 years of the 21st century was 15.55%, 2.84% and 12.46%, respectively. [Conclusion] The rainfall erosion and sediment yield in Wujiang river basin occurred more in

收稿日期: 2017-06-19

修回日期: 2017-07-10

资助项目: 重庆市科委软科学计划项目“基于水量平衡准确测算的山地城市水安全评价研究: 以重庆城市区为例”(CSTC2011CX-rkxA0280)

第一作者: 邬玉琴(1993—), 女(汉族), 重庆市云阳县人, 硕士研究生, 研究方向为环境灾害与生态保护。E-mail: 1525127150@qq.com。

通讯作者: 何太蓉(1973—), 女(汉族), 重庆市丰都县人, 博士, 教授, 主要从事自然资源与环境研究。E-mail: 125806808@qq.com。

flood season. After 1983, the variation of sediment discharge was mainly influenced by human activities.

Keywords: precipitation characteristics; sediment effect; accumulative anomaly; double-mass curve; Wujiang river basin

据《第一次全国水利普查水土保持情况公报》报道^[1], 2011 年全国土壤侵蚀总面积为 $2.95 \times 10^6 \text{ km}^2$, 其中水力侵蚀面积达 $1.29 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占总侵蚀面积的 43.85%, 因水土流失引发的生态环境问题较为严峻^[2]。引发水土流失的因素较多, 如降雨、径流、坡度、坡长、植被、土壤可蚀性等, 而降雨是水土流失产生的主要动力因子, 降雨量、降雨历时和降雨强度也影响着水土流失的强弱程度^[3]。因此研究流域降雨特征与输沙效应是水土保持研究工作中的重要内容之一, 可为流域水土流失防治提供理论依据。

近年来, 基于流域气象站点长期观测数据, 有学者对多个流域降雨特征进行了对比研究。如任国玉等^[4]利用降水趋势系数和降水倾向率对比分析 1951—1996 年黄河流域和长江中下游地区降雨特征, 发现前者夏季降雨量和年均降雨量呈现出微弱下降趋势, 而后者降雨量则显著增加。陈峪等^[5]利用变异系数和降水倾向率等方法对 1956—2000 年中国北方流域与南方流域降雨特征进行对比, 发现北方流域降雨量年际变化更大, 降雨量更少, 因此水资源不仅匮乏而且不稳定。也有学者针对特定流域降雨特征的分析。如曾小凡等^[6]利用 M-K 非参数检验、IDW 空间插值和 EOF(经验正交函数)方法研究了金沙江流域 1961—2010 年降雨的时空演变特征; 唐亦汉等^[7]利用 Kendall 非参数检验和 Kriging 空间插值揭示了珠江流域 1959—2012 年不同降雨指数时空变化及影响。当然, 在输沙效应研究方面, 也有不少学者对流域输沙量的影响因素进行了探究。如杜俊等^[8]研究了社会经济因子(人口、土地利用、农村能源结构、宏观经济状况)对长江上游侵蚀产沙格局和强弱的影响。郭小云等^[9]分析了呼图壁河流域降雨、径流、人类活动对输沙量的影响。唐丽霞等^[10]以遥感影像为数据源, 研究了清水河流域输沙量对土地利用变化和降雨量变化的响应。综上, 以往关于输沙效应及其影响因素的分析大多注重于综合因素的探讨, 对区别不同因素的影响强弱研究较少^[11], 且将流域降雨特征及输沙效应结合起来的分析并不多见, 二者的关系研究也相对薄弱。

乌江是长江上游南岸最大的支流, 也是三峡水库最主要的水源补给河流之一^[12]。流域内喀斯特地貌广布, 加之长年受人为破坏和自然因素的综合影响, 流域内水土严重流失, 生态环境脆弱, 河流携沙量较

高, 部分地区甚至导致石漠化, 这也成为当地社会经济发展的限制性因素^[13-15]。目前该流域的相关研究有植被覆盖动态变化^[16]、土壤侵蚀现状及模拟预测^[17-18]、水土流失及防治^[19]、水文过程^[20]以及流域中上游地区降雨集中度的变化特征^[21]等。但涉及全流域不同时间尺度各降雨要素变化且与输沙效应相结合的研究尚少见研究报道。鉴于此, 本文拟利用乌江流域内 7 个气象站点(贵阳、遵义、桐梓、安顺、毕节、酉阳、涪陵)的 1956—2014 年日降雨实测数据和流域内武隆水文站的输沙量数据, 研究乌江流域的降雨特征及其输沙效应, 旨在为流域水土保持规划、生态恢复、防灾减灾、水资源的合理利用等提供重要理论参考。

1 流域概况

乌江发源于贵州西部乌蒙山东麓威宁县境内的香炉山^[18], 流经贵州、重庆两地, 于重庆涪陵注入长江^[22]。流域位于 $22^{\circ}07' - 30^{\circ}22' \text{ N}$, $104^{\circ}18' - 109^{\circ}22' \text{ E}$ ^[23], 干流全长 1 037 km(三岔河源头起), 流域面积为 $87\,920 \text{ km}^2$ ^[22], 全段落差 2 123.50 m, 年径流量 $5.34 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[12]。流域处于云贵高原向湘西丘陵过渡的斜坡带, 地势东低西高^[24], 地形复杂。乌江流域大部分地区属于中亚热带季风气候, 气候季节性明显^[25]。流域内年均气温在 $13 \sim 18^{\circ} \text{ C}$ 之间, 多年平均降雨量为 1 061 mm。降雨年内分配不均, 有显著的旱季和雨季之分, 汛期 5—9 月雨量约占全年的 72%, 其中 5—7 月约占全年的 49%。流域地带性植被为常绿阔叶林。土壤类型主要为粗骨土、石灰土、黄壤、石质土等, 其蓄水保土能力较差, 易发生水土流失。全流域总人口为 1 666 万人, 其中 90% 以上为农业人口。由于受到自然条件和历史等限制性因素影响, 是社会发展欠发达的地区之一^[26]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文所用日降雨数据取自于中国气象科学数据共享服务网, 选取了乌江流域内 7 个气象站 1956—2014 年的日降雨数据, 其中极少日数雾露霜雪形式的日降雨值以 0 替代。流域出水口输沙量数据来自于《长江泥沙公报》。为了解乌江流域这 59 a 降雨特征, 本文采用以下降雨指标, 具体有: ①降雨量均值要素, 包括年降雨量、年侵蚀性降雨量、汛期(即 5—9

月)日降雨量、月降雨量。②降雨天数,包含年降雨天数、年侵蚀性降雨天数、汛期降雨天数、汛期侵蚀性降雨天数。③降雨侵蚀力。

2.2 研究方法

2.2.1 降雨侵蚀力的计算方法 侵蚀性降雨为能导致土壤侵蚀的降雨^[27]。谢云等^[28]在研究中指出径流小区的侵蚀性日降雨量标准为 12 mm,小流域为 10 mm。目前针对大中流域的侵蚀性雨量标准的实证分析尚鲜见报道。基于此,本文设定侵蚀性日降雨量标准为 10 mm。由于南方地区降水充沛,以章文波等^[29]修正的 Richardson 以日降雨量估算半月降雨侵蚀力模型计算的效果较好,精度较高。其公式为:

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \quad (1)$$

式中: α, β ——模型参数。下同。

$$R_i = \alpha \sum_{K=1}^d (P_k)^\beta \quad (2)$$

式中: R_i ——1 a 中第 i 个半月的降雨侵蚀力值 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; d ——第 i 个半月的天数(d); P_k ——第 i 个半月内第 k 天的侵蚀性降雨量; K ——第 i 个半月内侵蚀性降雨的天数^[29]。下同。

$$\beta = 0.8363 + 18.144/P_d + 24.455/P_y \quad (3)$$

式中: P_d ——日降雨量大于 10 mm 的日均降雨量(mm); P_y ——日降雨量大于 10 mm 的年均降雨量(mm)。

根据公式(1)–(3)可算出逐年各半月的降雨侵蚀力值、逐月降雨侵蚀力值和逐年降雨侵蚀力值。

2.2.2 双累积曲线 通过在直角坐标系中绘制乌江流域累积输沙量值与累积降雨侵蚀力值的关系线,分析了流域降雨侵蚀力与人类活动对输沙效应的影响。根据输沙量突变的年份将研究实测时段分为 2 段(即分为基准期和变化期),具体分析方法是:

(1) 对基准期的累积降雨侵蚀力和累积输沙量进行线性回归得到方程:

$$\sum S = k \sum E + b \quad (4)$$

式中: $\sum S$ ——累积输沙量(10^6 t); $\sum E$ ——累积降雨侵蚀力 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; k, b ——常数项。

(2) 其次将各年累积降雨侵蚀力数据代入式(1),可得到各年累积输沙量理论值,再累减算出基准期年均输沙量理论值($S_{基理}$)和变化期年均输沙量理论值($S_{变理}$)。基准期与变化期年均输沙量值理论值之差为降雨侵蚀力变化减沙量($\Delta S_{降}$);变化期年均输沙量理论值与实测年均输沙量值($S_{变实}$)之差为人类活动减沙量($\Delta S_{人}$)。即:

$$\Delta S_{降} = S_{变理} - S_{基理} \quad (5)$$

$$\Delta S_{人} = S_{变理} - S_{变实} \quad (6)$$

(3) 为了定量降雨侵蚀力和人类活动对输沙变化的影响程度,采用贡献度来表示,其式为:

$$V = \frac{\Delta S_{降} \text{ 或 } \Delta S_{人}}{\Delta S} \times 100\% \quad (7)$$

式中: V ——降雨侵蚀力和人类活动对输沙变化的贡献率(%); ΔS ——基准期和变化期实测年均输沙量值之差(t)。

3 结果与分析

3.1 1956—2014 年乌江流域降雨特征

3.1.1 降雨的年际变化特征 经计算,乌江流域年降雨量和年侵蚀性降雨量的变异系数分别是 0.13, 0.15,均属中等程度变异,且后者的年际变化较前者相比更为剧烈(图 1)。

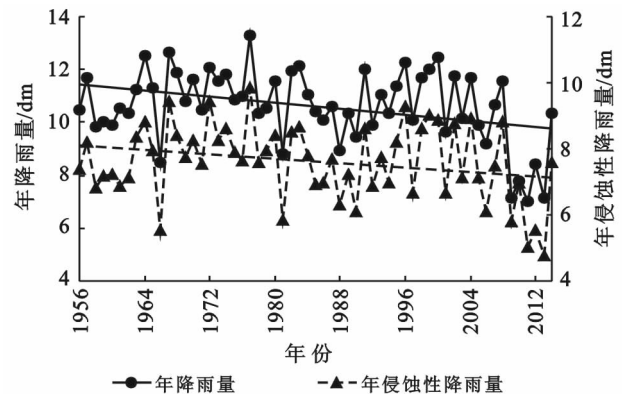


图 1 乌江流域年降雨量和年侵蚀性降雨量的年际变化

由图 1 可知,1956—2014 年乌江流域年降雨量和年侵蚀性降雨量均呈现波动减少趋势。59 a 间,乌江流域年降雨量在 701.76~1 325.48 mm 变化,多年平均降雨量为 1 060.90 mm。年降雨量最大值出现在 1977 年,达 1 325.48 mm,比均值多 25.13%。年降雨量最小值出现在 2011 年,仅为 701.76 mm,比均值少 33.85%。全流域年侵蚀性降雨量在 479.16~985.87 mm 波动,多年均值为 759.56 mm,占年降雨量均值的 71.60%。年侵蚀性降雨量最大值出现在 1977 年,比均值多 29.80%。但是其最小值比均值少 36.91%,且出现年份为 2013 年,与年降雨量最小值出现年份并不相同。可见在 2011 年降雨量最小,但是侵蚀性降雨并不是最低。另外在 1986 年,年降雨量较少,但是年侵蚀性降雨量却相对增加,其原因是该年降雨量虽小,但多以侵蚀性降雨为主。还有在 1976 和 2000 年,年降雨量较大,但年侵蚀性降雨量相对较小,这是因为当年降雨多为非侵蚀性降雨。

研究时段内,乌江流域年降雨量、年侵蚀性降雨量各年距平值及累积距平值均呈现一定变化规律(图 2—3)。由图 2 可见,年降雨量距平值在-359.14~266.58 mm 波动,累积距平值在-138.91~1 699.94 mm 波动。乌江流域 1956—2014 年这 59 a 年际变化阶段(持续期 5 a 以上)为:两个显著多雨期即 1963—1977 和 1996—2000 年。研究时段内共有 5 a 年降雨量偏多 160 mm 以上,均出现在这 2 个时期,分别是 1964,1967,1977,1996 和 2000 年,其中 1977 年出现最大距平值,为 266.58 mm。且据资料记载,乌江流域 1996 年特大洪水年就发生在 1996—2000 年时期。3 个显著少雨期即 1957—1962,1984—1990 和 2008—2014 年。研究时段内共有 3 a 年降雨量偏少 340 mm 以上,分别是 2009,2011 和 2013 年,均发生在 2008—2014 年这一时段。其中乌江流域在 2010 年 3 月发生旱灾,导致乌江源头几乎断流,乌江重庆段基本断航。一个显著降雨稳定期即 1991—1995 年,流域在这个时期降雨变化波动不明显。且在每个时期都有若干个较小的升降波动。综上可得,乌江流域在研究时段内大致经过了少雨—多雨—少雨—多雨—少雨 5 个时期。

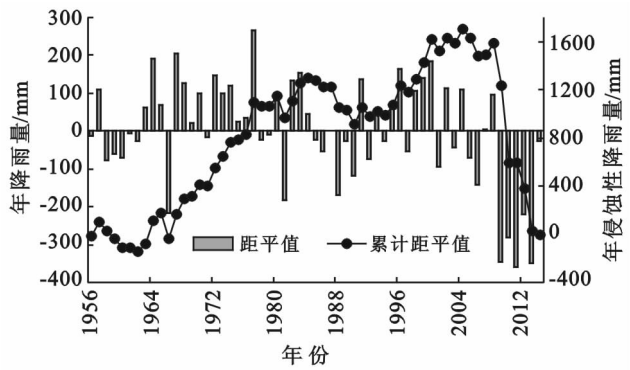


图 2 乌江流域年降雨量距平值及累积距平值年际变化

1956—2014 年年侵蚀性降雨量距平值波动与年降雨量非常相似。由图 3 可见,年侵蚀性降雨量距平值在-280.37~226.31 mm 之间波动,累积距平值在-235.44~1 078.41 mm 波动,其年际变化阶段与年降雨量距平值和累积距平值年际变化阶段一致。即在 1963—1977 和 1996—2000 年为累积距平值的上升期。研究时段内共有 5 a 侵蚀性降雨量偏多 140 mm 以上,均出现在这 2 个时期,分别是 1967,1972,1977,1996 和 1999 年,其中 1977 年出现最大距平值,为 226.31 mm。在 1957—1962,1984—1990,2008—2014 年为累积距平值的下降期,研究时段内共有 2 a 降雨量偏少 250 mm 以上,分别是 2011,2013 年,其中 2013 年年均侵蚀性降雨距平最低,为

-280.37 mm。在 1991—1995 年为累积距平值的稳定期。

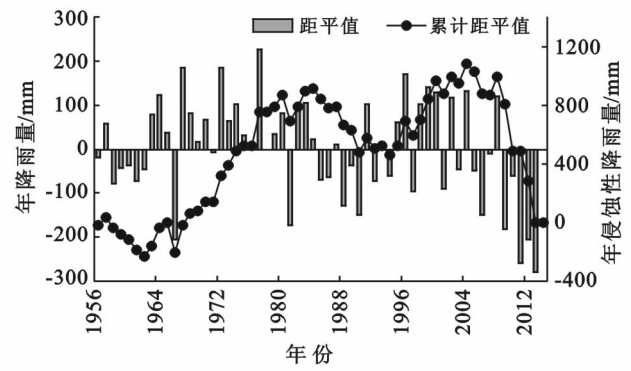


图 3 乌江流域年侵蚀性降雨量距平值及累积距平值年际变化

3.1.2 降雨的年代变化特征 从年代尺度上统计的降雨距平百分比结果看,年均降雨量和年均侵蚀性降雨量均不存在变化显著时期,距平百分比绝对值均在 9.00% 以内(表 1)。由表 1 可见,乌江流域在 1970—1979 年,1990—1999 年为多雨时期,距平百分比均值分别为 6.99% 和 3.75%,而 1956—1959 和 2000—2014 年为少雨时期,其距平百分比均值分别为 -0.86% 和 -8.97%。侵蚀性降雨量的变幅小于年降雨量的变幅。

表 1 乌江流域各年代降雨量和侵蚀性降雨量特征

年 份	年均降雨量		年均侵蚀性降雨量	
	数量/mm	距平/%	数量/mm	距平/%
1956—1959	1 051.80	-0.86	715.45	-0.11
1960—1969	1 096.15	3.32	775.79	0.44
1970—1979	1 135.07	6.99	830.16	0.92
1980—1989	1 058.07	-0.27	743.60	-0.04
1990—1999	1 100.69	3.75	780.98	0.49
2000—2014	965.74	-8.97	703.64	-1.18
1956—2014	1 060.90	0.00	680.98	0.00

从各年代降雨天数和侵蚀性降雨天数(表 2)结果看,年均降雨总天数的变异系数为 0.05,为弱变异,年均侵蚀性降雨总天数的变异系数为 0.12,为中等变异,说明前者比后者变化更为和缓。据表 2 可得,1956—2014 年共观测到降雨总天数为 17 127 d,侵蚀性降雨总天数为 5 579 d,59 a 中该流域共有 32.57% 的降雨为侵蚀性降雨。从年均降雨天数均值来看,除 1990—1999 和 2000—2014 年这 2 个时期降雨均值低于均值,其余年代均比均值要高。从侵蚀性降雨角度来看,1960s 和 1970s 年均侵蚀性降雨天数均值分别为 100 和 101 d,且侵蚀性降雨频率明显高于其他年代,反之 1956—1959 和 2000—2014 年 2 个

时期年侵蚀性降雨天数均值较少,当然侵蚀性降雨频率也较低。总之,全流域 59 a 来降雨总天数年代差异不大,而侵蚀性降雨事件多发生于 1960—1969 年和 1970—1979 年。

表 2 乌江流域各年代降雨天数和侵蚀性降雨天数特征					
年 份	降雨总 天数/d	年均降雨 天数/d	侵蚀性 降雨总 天数/d	年均侵蚀 性降雨 天数/d	侵蚀性降 雨天数所 占比例/%
1956—1959	1 165	291	351	88	30.13
1960—1969	2 948	295	1 004	100	34.06
1970—1979	2 923	292	1 009	101	34.52
1980—1989	2 985	299	952	95	31.89
1990—1999	2 878	288	958	96	33.29
2000—2014	4 228	282	1 305	87	30.87
1956—2014	17 127	290	5 579	95	32.57
变异系数	0.05	—	0.12	—	—

3.1.3 汛期降雨特征 乌江流域的降雨侵蚀产沙更多地发生在多雨季即汛期。经计算,乌江流域汛期 5—9 月降雨量约占全年的 71.97%,表明在 5—9 月

表 3 乌江流域年汛期各月降雨特征						
项 目	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计
日均降雨量/mm	4.97	6.27	5.31	4.34	3.41	—
月均侵蚀性降雨总量/mm	117.29	154.71	138.80	109.66	74.86	595.32
月均降雨量/mm	154.13	188.21	164.69	134.48	102.20	743.71
月均侵蚀性降雨量占月均降雨量的比例/%	76.10	82.20	84.28	81.54	73.25	80.05
月均侵蚀性降雨天数/d	13.95	14.88	13.88	12.68	9.05	64.44
月均降雨天数/d	26.27	25.56	25.25	24.76	22.66	124.50
月均侵蚀性降雨天数占月均降雨天数的比例/%	53.10	58.22	54.97	51.20	53.35	51.76

综上,乌江流域汛期降雨以侵蚀性降雨为主,且从 5 月开始,侵蚀性降雨频率逐渐增加,6 月达到峰值,7 月后逐渐下降。这类侵蚀性降雨强度大,除了易诱发洪涝灾害之外,由于水分入渗到土壤深层,加剧土壤侵蚀,造成流域内的水土流失。

3.2 乌江流域输沙效应分析及其影响因素分析

3.2.1 输沙效应分析 从乌江流域输沙量累积距平曲线可得流域 59 a 来的输沙动态(图 4)。由图 4 可知,乌江流域在 1956—1983 年为累积输沙量距平值上升段,在 1983—1999,2000—2014 年为累积输沙量距平值下降段。曲线在 1956—1983 年处于快速上升阶段,之后在 1983 年出现了较显著的转折点,是累积距平曲线由增加趋势向减小趋势转折的拐点,经调查发现,乌江流域干流上第一座大型水电站乌江渡在 1982 年完建,水电站拦沙作用效果明显,流域输沙量开始减少。在 1988 年后,国家在长江中上游地区相

乌江流域降雨事件频发,即主要集中于流域的汛期(表 3)。根据表 3 分析可知,5—9 月,侵蚀性总量为 595.32 mm,占总降雨量的 80.05%。从 5 月开始,流域月均降雨量和月均侵蚀性降雨量开始增加,6 月达到峰值,其值分别为 188.21 mm 和 154.70 mm,其中月均侵蚀性降雨量占比达 82.20%。之后,月均降雨量和月均侵蚀性降雨量开始逐渐减少,9 月时降到最低,其值分别为 102.20 和 74.86 mm。

据统计,5—9 月,侵蚀性降雨天数为 64 d,占总降雨天数的 51.76%,说明乌江流域内 5—9 月的降雨多为侵蚀性降雨。由表 3 可知,6—7 月侵蚀性降雨天数明显高于其他月份,说明侵蚀性降雨多发生于 6—7 月,且 6 月侵蚀性降雨天数在总降雨天数中占比最高,达 58.22%,说明 6 月的降雨大部分为侵蚀性降雨。8 和 9 月降雨天数都较少,其中 9 月的降雨天数和侵蚀性降雨天数最低,分别为 23 和 9 d,侵蚀性降雨频率为 39.94%,8 月次之,分别为 25 和 13 d,侵蚀性降雨频率为 51.21%。

继实施大规模水土流失综合治理、天然林资源保护工程和修建坝库工程等措施,且国家在 1999 年开始实施退耕还林还草,受此影响,在 2000 年后累积输沙量加速减少。综上所述,本文明确 1983 年是乌江流域输沙量发生突变的年份。

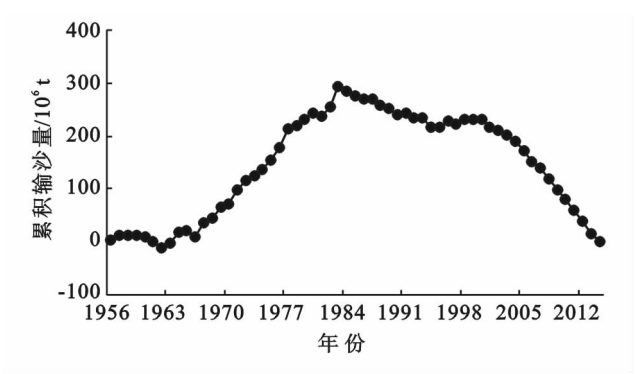


图 4 乌江流域输沙量累积距平值变化

3.2.2 乌江流域降雨侵蚀力对输沙量的影响 通过建立乌江流域输沙量—降雨侵蚀力双累积曲线和突变年份前后线性回归方程(图 5),估算了降雨侵蚀力对乌江流域输沙量变化的影响。

根据穆兴民等^[30]提到的双累积曲线方法,经计

算,得出各年代降雨侵蚀力变化对乌江流域输沙量变化的影响(表 4)。表 4 表明,1984—1989 年,1990—1999 年降雨侵蚀力的贡献率为为 15.55%,2.84%和 12.49%,1990—1999 年降雨侵蚀力对输沙变化的影响程度最低。

表 4 各年代降雨侵蚀力对乌江流域输沙量变化的影响

年 份	降雨侵蚀力均值/ (MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	实测输沙量 均值/10 ⁶ t	计算输沙量 均值/10 ⁶ t	实测减沙量 均值/10 ⁶ t	降雨侵蚀力影响量	
					数量/10 ⁶ t	贡献率/%
1983 突变之前	791.38	33.36	33.36	—	—	—
1984—1989	715.15	15.67	30.61	17.69	2.75	15.55
1990—1999	780.98	21.03	33.01	12.33	0.35	2.84
2000—2014	703.64	7.36	30.12	26.00	3.24	12.46

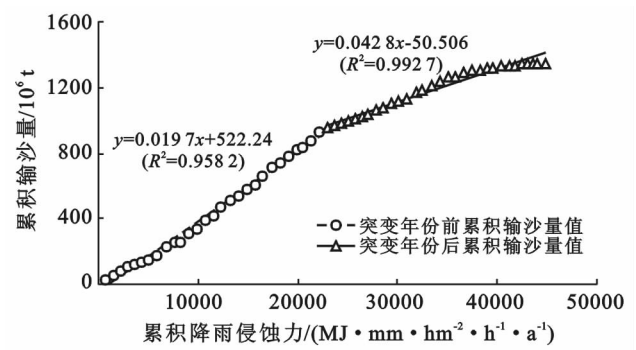


图 5 乌江流域输沙量—降雨侵蚀力双累积

3.2.3 乌江流域人类活动对输沙量的影响 流域的侵蚀产沙和泥沙输移除受流域降雨影响外,还受到诸如水利工程建设、水土保持、河道采砂、开发项目建设等人为因素的影响。根据研究时段内相关政策变化(表 5),在 1956—1983 年期间乌江流域内一些如道路交通、工矿等国家基础工程的建设,由于人口数量增

加所带来的土地利用和开发活动将越来越多,由此导致流域输沙量增多^[31],但此时期的输沙量变化主要由流域降雨侵蚀力引起。

而 1984—2014 年乌江流域输沙量主要受人类活动影响,1984—1989,1990—1999 和 2000—2013 年人类活动对输沙变化的贡献率为 84.45%,97.16%,87.54%,1990s 人类活动对输沙变化的影响程度最大,原因在于后期流域内水土保持工作的有序开展和大型水利工程的修建,如 1988 年长江上游水土保持工程,1999 年国家退耕还林等工程的实施,且乌江流域是国家确定的十三大水电基地之一,流域内修建了大量水利水电工程,并于 2013 年流域水电梯级开发全面完工,这些水利水电工程有力拦蓄了乌江流域的绝大部分来沙,对减少武隆站输沙量起到显著的控制作用,这些都导致 1984—2014 年河流输沙量较之前年份大幅下降。

表 5 乌江流域 1956—2014 年相关政策变化

时 段	年 份	重要事件	总体概况
1956—1982 年	1958	国民经济发展第二个“五年计划”开始	研究区内大量进行国家基础工程建设,土地开发和利用频繁,人口大量增加,流域输沙量增加
	1964	“三线建设”开始	
	1978	全面实行“改革开放”	
	1982	乌江渡水电站完建	
1983—1999 年	1988	长江上游水土保持工程开始实施	研究区开始兴修水利工程,开展水土保持工作,输沙量开始逐渐减少
	1999	退耕还林全面实施	
2000—2014 年	2013	乌江流域水电梯级开发全部完工	研究区内受退耕还林、水土保持、水利工程等综合影响,输沙量大幅下降

4 结 论

(1) 在 1956—2014 年,年侵蚀性降雨量的年际变化较年降雨量的年际变化相比更为剧烈。研究时段内乌江流域大致经历了少雨—多雨—少雨—多雨—少雨 5 个阶段,其中侵蚀性降雨年际变化阶段跟

年降雨年际变化阶段一致。

(2) 从降雨年代变化上看,在 1956—2014 年,乌江流域在 1970—1979,1990—1999 年为多雨时期。流域内 59 a 中约有 32.57%的降雨为侵蚀性降雨,且多发生于 1960—1979 年。

(3) 乌江流域的年内降雨主要发生流域汛期,其

中 5—7 月降雨最为集中,在 6 月达到峰值,且多为侵蚀性降雨,之后开始减少。因此在汛期应注意防洪减灾和由于土壤入渗加剧造成的水土流失问题。

(4) 在整个研究时段,根据乌江流域输沙量和降雨侵蚀力双累积曲线方程计算所得,1984—1989 年,1990—2013 年降雨侵蚀力的贡献率为 15.55%,2.84%,12.46%,人类活动的贡献率为 84.45%,97.16%,87.54%,1990—1999 年人类活动对输沙变化的影响程度最大。1990—1999 年降雨侵蚀力对输沙变化的影响程度最低。

[参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国水利部. 第一次全国水利普查水土保持情况公报[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [2] 赖成光,陈晓宏,王兆礼,等. 珠江流域 1960—2012 年降雨侵蚀力时空变化特征[J]. 农业工程学报,2015,31(8):159-167.
- [3] 汪东川,卢玉东. 国外土壤侵蚀模型发展概述[J]. 中国水土保持科学,2004,2(2):35-40.
- [4] 任国玉,吴虹,陈正. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报,2000,11(3):322-330.
- [5] 陈峪,高歌,任国玉,等. 中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J]. 自然资源学报,2005,20(5):637-643.
- [6] 曾小凡,叶磊,翟建青,等. 1961—2010 年金沙江流域降水时空演变特征[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(3):402-407.
- [7] 唐亦汉,陈晓宏. 近 50 a 珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响[J]. 地理科学,2015,35(4):476-482.
- [8] 杜俊,师长兴,胡大伟,等. 长江上游侵蚀产沙与社会经济因子的关系[J]. 地理学报,2010,65(9):1089-1098.
- [9] 郭小云,刘志辉,姚俊强,等. 天山北坡中小流域输沙量变化及其影响因素:以呼图壁河流域为例[J]. 水土保持研究,2016,23(1):145-149.
- [10] 唐丽霞,张志强,王新杰,等. 黄土高原清水河流域土地利用/覆盖和降雨变化对侵蚀产沙的影响[J]. 自然资源学报,2010,25(8):1340-1349.
- [11] 徐夏楠,高建华,贾建军,等. 气候变化和人类活动对鄱阳湖流域入湖输沙量影响的定量估算[J]. 地理研究,2015,34(5):838-850.
- [12] 熊亚兰,张科利,杨光橄,等. 乌江流域水沙特性变化分析[J]. 生态环境学报,2008,17(5):1942-1947.
- [13] 徐燕,龙健. 贵州喀斯特山区土壤物理性质对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(1):157-159.
- [14] 郑永春,王世杰. 贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(5):461-465.
- [15] 张冬青,何腾兵,林昌虎. 贵州乌江流域喀斯特土壤物理性质的研究[J]. 贵州科学,2006,24(2):39-43.
- [16] 王秀春,黄秋昊,蔡运龙. 贵州省乌江流域植被覆盖动态变化分析[J]. 水土保持研究,2008,15(5):15-17.
- [17] 王尧,蔡运龙,潘懋. 贵州省乌江流域土壤侵蚀模拟:基于 GIS, RUSLE 和 ANN 技术的研究[J]. 中国地质,2014,41(5):1735-1747.
- [18] 王尧,蔡运龙,潘懋. 贵州省乌江流域土地利用与土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):11-18.
- [19] 苏维词. 贵州省境内乌江流域水土流失及其防治对策[J]. 水土保持通报,1991,11(4):37-40.
- [20] 熊亚兰,张科利,杨光橄,等. 乌江流域降雨和径流的周期变化[J]. 四川农业大学学报,2010,28(4):475-479.
- [21] 黄晓亚,陈喜,张志才,等. 西南喀斯特地区降雨集中度及其变化特征分析:以乌江流域中上游为例[J]. 地球与环境,2013,41(3):203-208.
- [22] 党安志. 乌江上游梯级开发对浮游植物分布的影响研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2008.
- [23] 高江波,蔡运龙. 区域景观破碎化的多尺度空间变异研究:以贵州省乌江流域为例[J]. 地理科学,2010,16(5):742-747.
- [24] 李程. 乌江流域径流演变规律分析及径流预报模型研究[D]. 西安:西安理工大学,2010.
- [25] 郭云. 乌江中上游底栖硅藻与水环境因子关系定量研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2008.
- [26] 熊正贤. 乌江流域民族文化资源开发与文化产业发展研究[D]. 成都:西南民族大学,2013.
- [27] 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.
- [28] 谢云,刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [29] 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.
- [30] 穆兴民,张秀勤,高鹏,等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J]. 水文,2010,30(4):47-51.
- [31] 陈松生,许全喜,陈泽方. 乌江流域水沙变化特性及其原因分析[J]. 泥沙研究,2008(5):43-48.