# 喀斯特黄壤分布区谢家沟小流域侵蚀性降雨与产沙特征分析

向鸿琳[1]，向 娟[2]，杨广斌[1]，谢 波[3]

（1. 贵州师范大学地理与环境科学学院，贵阳 550025；2. 贵州省第二测绘院，贵阳 550004；
3. 六盘水市水城区自然资源局，贵州 六盘水 553040）

**摘要**：根据谢家沟小流域 2014—2018 年降雨历时、雨强和雨量等数据资料，通过 80%频率分析法与统计方法得到研究区侵蚀性降雨的基本雨量标准为 13.8 mm，并结合分析该小流域降雨侵蚀力年内和年际变化等特征。研究结果表明，侵蚀性降雨存在年际波动的特征，6 月是研究区侵蚀性降雨防治的重点，在大雨及暴雨的侵蚀性降雨事件中，高强型降雨（$I_{30}\geqslant$ 30 mm/h）是土壤产沙的主要动力，研究结果可以为保护生态环境、预测和治理小流域水土流失提供参考依据。

**关键词**：喀斯特地区；黄壤；侵蚀性降雨；分布特征；小流域

**中图分类号**：S157 **文献标志码**：A **文章编号**：1671－1807(2025)10－0128－06

侵蚀性降雨是在所有降雨中，只有部分降雨发生径流，进而引起土壤侵蚀，造成真正意义上的土壤流失。降雨侵蚀力是计算由降雨引起的土壤侵蚀的潜在能力[1]。Wischmeier 和 Smith[2]提出降雨侵蚀力是土壤侵蚀相关的因子中，最基本的因子之一。侵蚀性降雨方面的研究有侵蚀性降雨标准的研究，分离侵蚀性降雨并计算其降雨侵蚀力，分析侵蚀性降雨的分布特征及侵蚀响应等，本文对喀斯特地区小流域的侵蚀性降雨展开研究。

侵蚀性降雨与降雨侵蚀力其不同方面的分布特征通常与降雨量、降雨强度、土壤流失量等参数有关。关于侵蚀性降雨标准，Wischmeier 和 Smith[3]在美国提出通过获取径流小区数据来确定侵蚀性降雨雨量标准，王万忠[4]就黄土地区侵蚀性降雨提出四种降雨标准及具体确定方法；谢云等[5]提出以将漏选侵蚀力之和与多选降雨侵蚀力之和相抵为原则，以侵蚀力偏差系数拟定侵蚀性降雨标准，提高了计算效率和土壤侵蚀预报精度；张文源等[6]此前对喀斯特中西部地区的研究中采用王万中的方法确定了该地区的最优复合形式为 $EI_{30}$，并提出关于 R 的简易计算式；张兴刚等[7]通过王万忠的频率分析法确定山东省北方土石山区侵蚀性降雨标准，并运用数理统计方法从多个角度分析侵蚀性降雨分布特征。崔璨等[8]对三峡库区典型农业小流域，揭示该区域的侵蚀性降雨年内分布特征以及典型次降雨条件下 A 和 B 两个集水区产沙过程的变化规律，为当地小流域的农业资源开发，水土保持提供依据。焦锡桦等[9]对喀斯特地区，分析 2007—2010 年、2015—2019 年两期泥沙和地表径流数据，得出喀斯特坡地年均地表径流量、年均土壤流失量均较小，产流产沙特征随着植被覆盖条件变化而发生改变，降雨强度和雨量是坡地产流产沙的重要影响因素的结论。国内还有学者基于不同数据角度，对不同地区侵蚀性降雨和土壤侵蚀进行研究。辜倩和马旭林[10]为准确定量评估和认识湖南省区域降雨侵蚀力的时空特征，利用湖南省 21 个雨量站的逐日降雨数据，采用降雨侵蚀力简易计算模型计算不同地区的降雨侵蚀力，并通过反距离加权内插方法进行空间插值得到湖南省多年平均降雨侵蚀力的空间分布和年内季节分布，基于变差系数和气候倾向率两个指标分析降雨侵蚀力的年际变化特征。周程风等[11]为黄土区的土壤侵蚀机理提供理论依据，通过不同雨强、坡度的多段模拟降雨实验，将坡度与坡面侵蚀模数进行二次多项式拟合，求得不同

**收稿日期**：2024-10-30

**基金项目**：贵州省科技支撑项目（黔科合支撑〔2023〕一般 175）

**作者简介**：向鸿琳（1999—），女，贵州毕节人，硕士研究生，研究方向为学科教学；通信作者向娟（1995—），女，贵州贵阳人，硕士，工程师，研究方向为地图学与地理信息系统；杨广斌（1973—），男，山东聊城人，博士，教授，研究方向为地理信息系统开发与应用；谢波（1996—），男，贵州毕节人，硕士，工程师，研究方向为地图学与地理信息系统。

条件下坡面侵蚀的临界坡度。实验结果表明,临界坡度会随着雨强、降雨历时的变化而产生规律性变化。对于小流域的侵蚀性降雨及产沙特征分析,研究者们也在不断借助新的观测资料来研究降雨引起的土壤侵蚀问题,以期为当地水土流失防治的措施提供前提与思路。

六盘水市有水土流失重点预防区,其预防区主要集中在湿地公园、水源保护区、森林公园、风景名胜区及饮用水源地,包括省级和市级水土流失重点预防区范围[12]。2022 年 10 月发布的《贵州省水土保持公告》显示,六盘水水土流失面积为 3 448.53 $km^2$,地处岩溶地区,在六盘水市开展土壤侵蚀的特征研究,对该地的水土流失防治工作意义重大。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

六盘水市龙贵地水土保持监测站在位于钟山区德坞街道办事处境内,地处东经 104°46′02″~104°46′08″,北纬 26°36′40″~26°36′45″,位于龙贵地水库下游,是全国水土保持监测网络和信息系统建设二期工程站点之一,总占地约为 1 500 $m^2$,该监测点所在谢家沟小流域属水城河的一级支流德坞小河源头,土壤类型以黄壤为主,流域内多年平均降水量为 1 200.4 mm,降水量年季变化大。小流域大部分是喀斯特岩溶地带,溶洞密布,周边汇水区森林植被与水域共同形成的森林-湿地复合生态系统极具独特性、典型性,是湿地鸟类的重要栖息地。龙贵地水土保持监测站所处谢家沟小流域内。

### 1.2 数据来源及研究方法

#### 1.2.1 数据来源和预处理

研究区域 2014—2018 年小区径流泥沙数据选取龙贵地监测站其中的对照小区——定期除草的标准裸地径流小区数据,由龙贵地监测站采取人工采样、人工样品处理(过滤、烘干、称重等)、测量水深、人工计算分析而来,共记录 79 场产流产沙数据。降雨测量数据是站点观测的气象数据,共记录了 166 场有效的降雨数据。采用的最大 30 min 雨强 $I_{30}$ 和降雨侵蚀力由《径流小区和小流域水土保持监测手册》[13]计算而来。

#### 1.2.2 研究方法

采用 80%经验频率方法[4]及统计的方法来确定侵蚀性降雨基本雨量标准,先把侵蚀性降雨每次的降雨量按从大到小的顺序依次递减排列,然后利用式(1)求出经验频率值 $P$。

$$P=\frac{m}{n+1}\times 100\% \tag{1}$$

式中:$m$ 为某一雨量的序列号;$n$ 为整个序列的总样本数。求出 $P$ 后,再把各雨量及与其相应的 $P$ 点在频率格纸上绘出频率曲线。从曲线上查得 $P=80\%$ 时的雨量值即为侵蚀性降雨的基本雨量标准,结合张文源等[6]对黔西黔中地区黄壤裸地的侵蚀性降雨标准的建议作为本研究区的侵蚀性降雨标准确定的依据,并运用数据统计方法,筛选出侵蚀性降雨,然后从侵蚀性降雨分布的时间、降雨量等级和降雨侵蚀力等级分布的情况三个角度进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 侵蚀性降雨标准

以 80%经验频率方法以及统计的方法得到谢家沟小流域的侵蚀性降雨基本雨量标准为 13.8 mm,结合张文源[6]提出的贵州省中部和西部黄壤裸地的侵蚀性降雨指标,可采用最大 30 min 降雨强度,标准值为 9.6~10.2 mm/h。

剔除不合理数据后,得到研究区域 5a[15]观测期内 79 场降雨产流产沙次事件。研究表明侵蚀性降雨量标准的研究中 5 年为观测期资料的能够保证降雨标准的稳定性,故以 5 年观测期资料为样本,满足拟定大于某一标准的雨量和土壤侵蚀量的要求。按雨量大小从大到小排列,并将大于侵蚀性雨量产生的土壤侵蚀量逐个累加,得到 $N$ 个土壤侵蚀量($Q$)和总侵蚀量($q$),然后求出大于某一雨量($P$)的侵蚀累计百分比(PQ),拟合 $P$-PQ 关系曲线,计算公式为

$$PQ=0.969\ 24-0.010\ 73P \tag{5}$$

式中:PQ 为侵蚀累计百分比,%;$P$ 为相应的雨量标准,mm。

因此,当 $P$ 等于上述侵蚀性降雨雨量标准时,PQ 为 97.14,说明雨量大于等于 13.8 mm 的侵蚀性降雨产生的土壤侵蚀量可占总侵蚀量的 97.14%。考虑到喀斯特水土流失的特殊性,若以 95%为标准,其侵蚀性雨量标准为 23 mm,不符合实际情况,故以 13.8 mm 为研究区的侵蚀性雨量标准处于合理的范围内。

### 2.2 侵蚀性降雨时间分布特征

#### 2.2.1 年际分布特征

如表 1 所示,2014—2018 年在龙贵地监测站共观测 166 场降雨事件,总降雨量达到 4 315.8 mm,降雨历时 2 331.17 h,降雨侵蚀力共计 15 844.03

MJ·mm/(h·hm²)，年均3 168.81 MJ·mm/(h·hm²)。在研究数据中，以侵蚀性降雨基本雨量标准13.8 mm和雨强标准最大30 min雨强值大于9.6 mm/h共74场侵蚀性降雨被筛选出，占总降雨场次的44.58%；雨量总计2 441.1 mm，占总降雨雨量的56.56%；降雨总历时1 172.83 h，占总降雨历时的50.31%；降雨侵蚀力11 828.6 MJ·mm/(h·hm²)，占总降雨侵蚀力的74.66%；侵蚀性降雨时段30 min最大雨强$I_{30}$是19.7 mm/h是全部降雨事件$I_{30}$的1.37倍。由以上可知，侵蚀性降雨占总降雨事件一半左右，其带来的土壤侵蚀力可占总降雨事件土壤侵蚀力的75%以上。

由研究区数据统计得到总降雨侵蚀力为15 844.03 MJ·mm/(h·hm²)，由图1可知，降雨侵蚀力高低与雨量的大小有关，年降雨量最小的2015年，年降雨侵蚀力最低，为820.5 MJ·mm/(h·hm²)；年降雨量最大的2017年，年降雨侵蚀力最高，为5 198.11 MJ·mm/(h·hm²)。但雨量及雨强只可以反映一般情况下的降雨特征，对于降雨侵蚀力的影响主要是时段最大雨强的结果[16]。

2.2.2　月际分布特征

如表2所示，以月份为单位统计侵蚀性降雨参数与径流产沙数据。可知侵蚀性降雨分布于3—10月，由表2可知，侵蚀性降雨其月分布不均，11月至次年2月几乎无侵蚀性降雨，6月侵蚀性降雨的场次占侵蚀性降雨的27.03%，降雨量占31.06%，径流量占32.63%，产沙量占87.81%，且分别占总降雨产流产沙事件的20.41%、17.38%、11.08%、73.9%，即研究区侵蚀性降雨主要集中在6月，其特征是场次多，雨量大，产沙量大，而3月、4月、10月其侵蚀性降雨场次，降雨量，径流量，产沙量的占比都较小。研究区的侵蚀性降雨月际分布呈单峰型，是两边低，中间高的趋势(图2)。

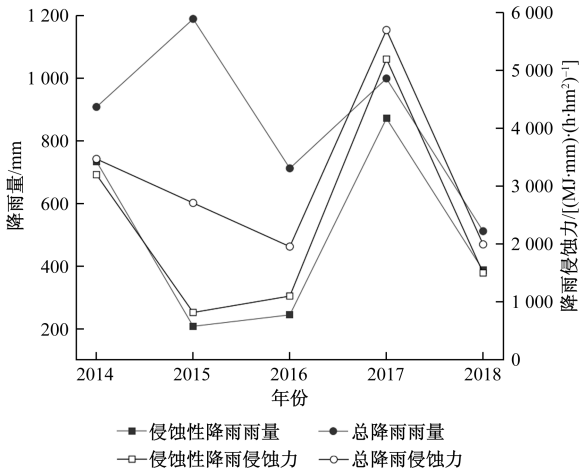


**图1　龙贵地2014—2018年雨量及降雨侵蚀力年际分布**

**表1　观测期内年降雨特征**

| 变量 | 2014年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2018年 |
|---|---|---|---|---|---|
| 年降雨总量/mm | 907.20 | 1 188.20 | 711.40 | 998.20 | 510.80 |
| 年降雨历时/h | 456.58 | 503.17 | 533.50 | 469.92 | 368.00 |
| 年降雨侵蚀力/[(MJ·mm)·(h·hm²)⁻¹] | 3 474.00 | 2 712.83 | 1 958.44 | 5 702.86 | 1 995.90 |
| 年侵蚀性降雨总量/mm | 733.40 | 207.40 | 243.80 | 870.80 | 385.70 |
| 年侵蚀性降雨历时/h | 284.42 | 111.67 | 74.33 | 381.58 | 320.83 |
| 年侵蚀降雨/[(MJ·mm)·(h·hm²)⁻¹] | 3 201.69 | 820.50 | 1 104.80 | 5 198.11 | 1 503.50 |
| 枯丰年 | 平 | 平 | 枯 | 平 | 枯 |

**表2　侵蚀性降雨月际分布特征**

| 月份 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 侵蚀性降雨 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 侵蚀性降雨场次 | 4 | 6 | 13 | 20 | 10 | 10 | 7 | 4 | 74 |
| 占侵蚀性降雨场次/% | 5.41 | 8.11 | 17.57 | 27.03 | 13.51 | 13.51 | 9.46 | 5.41 | 100.00 |
| 占总降雨场次/% | 5.30 | 7.95 | 17.22 | 26.49 | 13.25 | 13.25 | 9.27 | 5.30 | 75.50 |
| 降雨量/mm | 69.4 | 68.2 | 295.6 | 750.2 | 503.6 | 301.8 | 264.6 | 161.6 | 2 415.0 |
| 占侵蚀性降雨场次/% | 2.87 | 2.82 | 12.24 | 31.06 | 20.85 | 12.50 | 10.96 | 6.69 | 55.96 |
| 占总降雨场次/% | 1.61 | 1.58 | 6.85 | 17.38 | 11.67 | 6.99 | 6.13 | 3.74 | 4 315.80 |
| 径流量/m³ | 0.14 | 0.37 | 0.91 | 2.70 | 2.62 | 0.51 | 0.67 | 0.34 | 8.26 |
| 占侵蚀性降雨场次/% | 1.70 | 4.51 | 10.96 | 32.63 | 31.76 | 6.23 | 8.08 | 4.12 | 100.00 |
| 占总降雨场次/% | 0.58 | 1.53 | 3.72 | 11.08 | 10.78 | 2.12 | 2.74 | 1.40 | 24.33 |
| 产沙量/kg | 0.549 | 0.054 | 1.772 | 75.639 | 6.600 | 0.794 | 0.631 | 0.101 | 86.138 |
| 占侵蚀性降雨场次/% | 0.64 | 0.06 | 2.06 | 87.81 | 7.66 | 0.92 | 0.73 | 0.12 | 100.00 |
| 占总降雨场次/% | 0.65 | 0.06 | 2.10 | 89.86 | 7.84 | 0.94 | 0.75 | 0.12 | 84.17 |

注：降雨量是自记雨量计采集，保留一位小数，径流量是人工测量，保留两位小数，产沙量是根据径流量计算得出，保留三位小数。

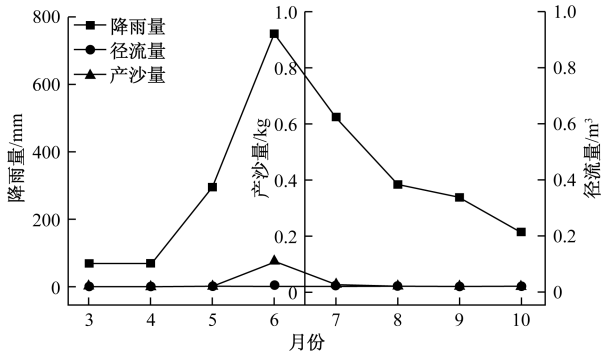


**图 2　侵蚀性降雨雨量、产沙量、径流量月际分布**

### 2.3　降雨量分类下侵蚀性降雨分布特征

按照气象学雨量等级标准,可知研究区侵蚀性降雨基本上分布于中雨及以上雨量等级,再由相关学者提出的中雨以上的降雨事件可按照 $I_{30}$ 标准,分为 3 种雨强类型,即低雨强型降雨($I_{30}\leqslant 10$ mm/h)、中雨强型降雨(10 mm/h$<I_{30}<$30 mm/h)和高雨强型降雨($I_{30}\geqslant 30$ mm/h)[17](表 3)。

可知侵蚀性降雨按气象学标准分级后,其小雨、中雨、大雨和暴雨、分别占 9.46%、40.54%、35.14%、14.86%。

小雨占侵蚀性降雨事件的 1/10,其产沙量为总产沙量的 1/5,小雨事件中有一场降雨,其 $I_{30}$ 为 15.6 mm/h,产沙量占了小雨事件总产沙量的 98%,其降雨时长较长,集中程度高,故分析研究区的小雨事件的坡面产流产沙与降雨时长及其集中程度有关。

中雨及以上事件。30 次中雨事件,其中 14 次为中雨强型降雨,13 次为低雨强型降雨,3 次为高雨强型降雨;中雨事件占总侵蚀事件比例最大,但其产沙量占比较小,分析表明与中雨事件的降雨历时有关,本次研究的中雨事件的降雨历时普遍较短。26 次大雨事件,其 1/2 是中雨强型降雨,5 次是低雨强型降雨,8 次是高雨强型降雨,大雨事件占比总侵蚀降雨事件的 35.14%,产沙占比总产沙量的 23.64%。11 次暴雨事件,其 8 次是中雨强型降雨,3 次是高雨强型降雨,无低雨强型降雨,暴雨事件占比总侵蚀降雨事件 14.86%,产沙量占比总产沙量的 51.49%。

中雨以上事件产生了约 80%的泥沙量,其中 15%左右的暴雨产生了 51%左右的泥沙,故可知暴雨对研究区的水土流失关系密切。中强型降雨与高强型降雨的产沙量占中雨以上事件大部分,其中,中强型降雨产沙量占比其各自等级总产沙量的 99.95%与 51.04%,大雨事件以及暴雨中,高强型降雨产沙量占比其各自等级总产沙量的 94.14%与 78.06%,因此在研究区域内,侵蚀性降雨多为中强型降雨与高强型降雨,且高强型降雨对黄壤的产沙影响更大。

### 2.4　降雨侵蚀力等级分布特征

降雨侵蚀力是反映雨滴击溅和地表径流对土壤侵蚀的综合效应,结合观测期内本研究区的降雨侵蚀力的特征,采取顾璟冉等[18]将降雨侵蚀力分为 0～25、25～50、50～100、100～500、大于 500 MJ·mm/(h·hm$^2$),5 个等级对侵蚀性降雨时间的降雨侵蚀力的值进行分类分析,分析不同降雨侵蚀力等级下侵蚀性降雨的分布特征,其中 0～25、25～50 MJ·mm/(h·hm$^2$)为低降雨侵蚀力型,50～100 MJ·mm/(h·hm$^2$)为中降雨侵蚀力型,100～500、大于 500 MJ·mm/(h·hm$^2$)为高降雨侵蚀力型。如表 4 所示。

**表 3　侵蚀性降雨雨量等级标准分布特征**

| 降雨等级/mm | 降雨强度等级/(mm·h$^{-1}$) | 场次 | 占等级比例/% | 占侵蚀性降雨占比/% | 平均产沙量/mm | 总产沙量/mm | 占该等级产沙比例/% | 总产沙量占比/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ≤10 | ≤10 | 1 | 14.29 | 9.46 | 0.009 | 17.030 | 0.05 | 19.65 |
| | 10～30 | 6 | 85.71 | | 2.837 | | 99.95 | |
| | ≥30 | 0 | 0.00 | | 0.000 | | 0.00 | |
| 10～25 | ≤10 | 13 | 4.33 | 40.54 | 0.125 | 4.520 | 36.04 | 5.22 |
| | 10～30 | 14 | 46.67 | | 0.165 | | 51.04 | |
| | ≥30 | 3 | 10.00 | | 0.195 | | 12.92 | |
| 25～50 | ≤10 | 5 | 19.23 | 35.14 | 0.130 | 20.484 | 3.17 | 23.64 |
| | 10～30 | 13 | 50.00 | | 0.042 | | 2.69 | |
| | ≥30 | 8 | 30.77 | | 2.410 | | 94.14 | |
| 50～100 | ≤10 | 0 | 0.00 | 14.86 | 0.000 | 44.622 | 0.00 | 51.49 |
| | 10～30 | 8 | 72.73 | | 1.224 | | 21.94 | |
| | ≥30 | 3 | 27.27 | | 11.611 | | 78.06 | |

表4　侵蚀性降雨侵蚀力等级分布

| 降雨侵蚀力等级/[(MJ·mm)·(h·hm²)⁻¹] | 场次 | 侵蚀性降雨占比/% | 平均降雨侵蚀力/[(MJ·mm)·(h·hm²)⁻¹] | $I_{30}$/(mm·h⁻¹) | 径流深/mm | 产沙量/kg | 占侵蚀性降雨产沙比例/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0～25 | 10 | 13.51 | 15.075 | 6.72 | 4.325 | 0.524 | 0.61 |
| 25～50 | 18 | 24.32 | 34.648 3 | 12.13 | 9.560 | 2.099 | 2.42 |
| 50～100 | 15 | 20.27 | 68.014 | 16.03 | 9.118 | 2.416 | 2.79 |
| 100～500 | 27 | 36.49 | 266.591 | 27.54 | 48.239 | 80.293 | 92.66 |
| ＞500 | 4 | 5.41 | 705.63 | 46.9 | 11.891 | 1.321 | 1.52 |

注：径流深是根据径流量计算得出，保留三位小数。

由表4可知，降雨侵蚀力小于100 MJ·mm/(h·hm²)的中低降雨侵蚀力型降雨事件的场次占本研究区观测期内的侵蚀性降雨事件的大多数，其场次占总侵蚀性降雨次数的58.1%，但平均降雨侵蚀力仅为39.3 MJ·mm/(h·hm²)，产沙量只占总产沙量的5.8%；剩余两个高降雨侵蚀力型，它们的降雨特征因子数值明显大于中低型。其中降雨侵蚀力等级为100～500 MJ·mm/(h·hm²)的高降雨侵蚀力事件，平均降雨侵蚀力达到266.59 MJ·mm/(h·hm²)，产沙占总产沙量的92.66%，降雨侵蚀力＞500 MJ·mm/(h· hm²)的降雨侵蚀力等级，虽然其产沙量占比仅为1.52%，但分析主要原因时由于在该等级下，其降雨场次仅有4场；除此以外，其平均降雨侵蚀力最高为705.63 MJ·mm/(h·hm²)，$I_{30}$数值变化也很大，为46.9 mm/h，故可以看出高降雨侵蚀力型事件较低降雨侵蚀力型降雨事件的降雨特征因子涨幅很大，按照上述所提到的$I_{30}$降雨强度等级标准，这两个等级的降雨事件多为中高强型降雨。故上述分析可以表明，高降雨侵蚀力的降雨事件对坡面产流产沙具有巨大作用。

## 3　结论与探讨

通过对六盘水市钟山区龙贵地水土保持监测站标准裸地小区2014—2018年的降雨量，产流产沙等侵蚀性降雨资料的分析，可对研究区的侵蚀性降雨得出以下结论。

(1)谢家沟小流域的侵蚀性降雨基本雨量以13.8 mm为标准，结合其他学者对该区域黄壤裸地的侵蚀性降雨雨强标准的建议最大30 min雨强值大于9.6 mm/h，可描述占土壤侵蚀总量97.14%以上的降雨侵蚀事件。

(2)研究区侵蚀性降雨事件虽然仅占全部降雨场次的一半左右，但其时段雨强$I_{30}$是总降雨事件的1.37倍，产生的降雨侵蚀力占总降雨事件的75%以上。

(3)研究区在11月至2月几乎无侵蚀性降雨，6月侵蚀性降雨的降雨场次、降雨雨量、产沙量、径流量分别占侵蚀性降雨的27.03%、31.06%、87.81%、32.63%，占总降雨产流产沙事件的20.41%、17.38%、73.9%、11.08%，即侵蚀性降雨主要集中在6月，其特征是场次多、雨量大、产沙量大，故6月是该区域侵蚀性降雨防治的重点。

(4)从降雨雨量等级来看，中雨(10～25 mm)及以上的雨量等级产生了约80%的泥沙量，对土壤产沙的影响最明显，其中占侵蚀性降雨场次15%左右的暴雨(50～100 mm)产生了51%左右的泥沙，可知暴雨事件对研究区的水土流失影响大，同时大雨及暴雨的侵蚀性降雨事件中，高强型降雨($I_{30}\geqslant$30 mm/h)的产沙量分别占到94.14%与78.6%，可知防治水土流失可首要考虑高强型降雨。

(5)降雨侵蚀力等级中，降雨侵蚀力等级小于100 MJ·mm/(h· hm²)的侵蚀性降雨的产沙量占总侵蚀性降雨的产沙量的5.8%，大于100 MJ·mm/(h·hm²)的产沙量达到92.66%，可知降雨侵蚀力的大小与产沙量密切相关；除此以外，高降雨侵蚀力等级相较于低降雨侵蚀力的降雨特征因子涨幅很大，可知高降雨侵蚀力的降雨事件对坡面产流产沙具有巨大推动作用。

龙贵地水土保持监测站设立不同坡度，不同植被覆盖的黄壤径流小区，本文对裸地进行研究，还可进一步对不同条件，不同角度下的径流小区数据进行研究，使用多样的方法尝试，为当地提供更准确的信息，为喀斯特黄壤分布区水土流失防治提供更多的思路和建议。

## 参考文献

[1] 董林垚，郑艳霞，程冬兵，等. 气候变化对降雨侵蚀力的影响研究综述[J]. 长江科学院院报，2015，32(3)：59-63.

[2] WISCHMEIER W H，SMITH D D. Predicting rainfall erosion losses from crop land east of the rocky mountains [R]. New York：USDA Agricultural Handbook，1965.

[3] WISCHMEIER W H，SMITH D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions American Geophysical Union，1958，39：285-291.

[4] 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(2)：58-63.
[5] 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.
[6] 张文源，王百田，杨光檄，等，喀斯特黄壤区侵蚀性降雨及产沙特征分析[J]. 生态环境学报，2014，23(11)：1776-1782.
[7] 张兴刚，王春红，程田田，等. 山东省药乡小流域侵蚀性降雨分布特征[J]. 中国水土保持科学，2017，15(1)：128-133.
[8] 崔璨，王小燕，孙宁婷，等. 三峡库区典型农业小流域次降雨产沙过程及其影响因素[J]. 水土保持学报，2021，35(1)：17-23.
[9] 焦锡桦，彭韬，李社红，等. 喀斯特坡地侵蚀性降雨阈值初探[J]. 水土保持学报，2023，37(5)：57-63.
[10] 辜倩，马旭林. 湖南省1961—2010年降雨侵蚀力时空变化特征研究[J]. 科学技术与工程，2018，18(6)：184-189.
[11] 周程风，金鑫，宋颖，等. 基于数据拟合分析坡面土壤侵蚀的临界坡度[J]. 科技与产业，2022，22(1)：350-356.
[12] 谢刚，等. 六盘水市水土流失重点预防区和重点治理区划分研究[J]. 中国水土保持，2019(11)：53-56.
[13] 径流小区和小流域水土保持监测手册[M]. 北京：中国水利水电出版社，2015.
[14] 张文源，等. 喀斯特黄壤区侵蚀性降雨及产沙特征分析[J]. 生态环境学报，2014，23(11)：1776-1782.
[15] 金建君，谢云，张科利. 不同样本序列下侵蚀性雨量标准的研究[J]. 水土保持通报，2001，21(2)：31-33.
[16] 马良，左长清，邱国玉. 赣北红壤坡地侵蚀性降雨的特征分析[J]. 水土保持通报，2010，30(1)：74-79.
[17] 梁音，刘宪春，曹龙熹，等. 中国水蚀区土壤可蚀性K值计算与宏观分布[J]. 中国水土保持，2013(10)：35-40.
[18] 顾璟冉，张兴奇，顾礼彬，等. 黔西高原侵蚀性降雨特征分析[J]. 水土保持研究，2016，23(2)：39-43.

## Analysis of Erosion and Sediment Yield Characteristics of the Xiejiagou Small Watershed in the Karst Yellow Soil Distribution Area

XIANG Honglin[1], XIANG Juan[2], YANG Guangbin[1], XIE Bo[3]

(1. School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China;
2. Guizhou Second Surveying and Mapping Institute, Guiyang 550004, Guizhou;
3. Natural Resources Bureau of Shuichen District, Liupanshui City, Liupanshui 553040, Guizhou, China)

**Abstract**: Based on the rainfall duration, intensity and rainfall data of Xiejiagou small watershed from 2014 to 2018, the basic rainfall standard for erosive rainfall in the study area was obtained through the 80% frequency analysis method and statistical methods, and the characteristics of erosive rainfall within a year and between years were analyzed. The research results show that erosive rainfall has an inter-annual fluctuation characteristic, and June is the key month for the prevention of erosive rainfall in the study area. In the erosive rainfall events of heavy rain and heavy rain, high-intensity rainfall($I_{30}\geqslant 30$ mm/h)is the main driving force for soil erosion. The research results can provide reference basis for protecting ecological environment, predicting and controlling soil and water loss in small watersheds.

**Keywords**: Karst area; yellow soil; erosive rainfall; distribution characteristics; small watershed