

安徽大别山区天然降雨对典型植被水土流失影响研究*

江 雯^{1,2)} 胡玉乾^{1,2)} 汪军红³⁾ 孙 鹏^{1,2)†} 张 强^{4,5)}
黄 娜¹⁾ 张 鑫¹⁾ 王文英¹⁾

(1)安徽师范大学地理与旅游学院, 241000, 安徽芜湖;

2)江淮流域地表过程与区域响应安徽省重点实验室, 241002, 安徽芜湖; 3)霍山县水土保持试验站, 237266, 安徽霍山;

4)北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 100875, 北京;

5)北京师范大学减灾与应急管理研究院, 100875, 北京)

摘要 基于霍山县水土保持试验站3个径流小区2013—2018年的连续观测数据,分析水土流失月际、年际变化特征,定量探讨不同植被类型(茶树、红芋、桑树)下各降雨(次降雨、降雨等级、降雨雨型)特征指标对坡耕地水土流失的影响。结果表明:1)4和7月为一年中水土流失高峰期;2013—2018年水土流失量变化趋势均表现为先迅速下降,后趋于稳定,到2018年出现上升。2)各降雨因子对于水土流失贡献度由大到小依次为降雨量(P)、降雨侵蚀力(R)、30 min 雨强(I_{30})、降雨历时(t)、60 min 雨强(I_{60})、平均雨强(I)。降雨量是影响产沙量的最重要因素;降雨侵蚀力对乔木和灌木产流影响最大。3)中雨和大雨年际变率最大,大暴雨场次少,但造成的水土流失情况最严重;Ⅰ型降雨是安徽大别山区主要的降雨类型,Ⅲ型降雨场次最少,但水土流失量远高于其他3种雨型,Ⅳ型降雨对水土流失影响最小。

关键词 水土流失;天然降雨;植被种类;雨型;安徽大别山区

中图分类号 S157.1

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2019317

水土流失一直以来都是一个世界性课题^[1],也是我国重大的环境问题,导致土壤退化、水环境污染等生态危机,严重阻碍了社会、经济等各方面的发展^[2],具有恶性循环的特点,引起了生态学、地理学等相关学者的深入研究^[3]。王怡菲等^[4]运用 Bootstrap-DEA 模型计算渭河流域水土流失治理效率,发现整体治理效率仍处于较低水平,且受降水、坡度、灌草面积等的贡献率变化影响而呈动态变化。陈妙金等^[5]基于随机森林算法对水土流失影响因子重要性进行分析,认为植被是影响水土流失的重要因子,是水土保持的重要手段。一些学者结合 3S 技术与 RUSLE^[6-7]、USLE^[8]、CSLE^[9-10] 等模型,对流域整体水土流失进行评价并提出了优先治理区域及相应措施,结果表明,植被措施是影响水土流失的主导因素之一,优化植被种植结构、提高覆盖度是防治水土流失的有效途径。一些学者就紫色土区^[11-12]、南方红壤区^[13-14]、北京北部褐土区^[15]、晋西黄土区^[16]、西南喀斯特地区^[17-18] 等不同地域的植被种植方式及水土保持效果展开讨论。但上述研究多为短期观测的单

一植被的水土流失评价,忽视了降雨特征对水土流失的干扰。基于多年试验观测数据的多种植被措施在不同降雨条件下的水土保持效应研究相对匮乏,加上降水模拟试验难以准确反映自然降水状态下水土流失过程,因此,在当前水土流失日益严峻的情势下,迫切需要开展不同时间尺度和降雨强度、降雨类型下的不同植被措施对水土流失影响机制的研究。

安徽大别山区是我国典型的集山区、库区、多省交界区、革命老区、贫困区、水土流失严重区于一体的特殊区域,是中国中部地区的重要生态功能区和长江中下游地区的重要生态屏障^[19]。中央印发的《中国农村扶贫开发纲要(2011—2020年)》明确要求,把大别山区等11个连片特困地区和已明确实施特殊扶持政策的西藏、四川省藏区、新疆南疆3地州作为今后10年扶贫攻坚的主战场,《安徽省大别山片区区域发展与扶贫攻坚规划(2011—2020年)》将水土保持作为扶贫开发的重要措施之一^[20]。因此,深入研究安徽大别山区水土流失特征和水土保持综合防治措施,对指导这一区域大规模开展水土保

* 国家重点研发计划资助项目(2019YFA0606900);安徽高校协同创新资助项目(GXXT 2019047);安徽省科技重大资助项目(202003a06020002);国家自然科学基金资助项目(41601023);安徽省自然科学基金资助项目(1808085QD117)

† 通信作者:孙鹏(1986—),男,博士,教授。研究方向:气象水文学和水土保持。E-mail: sun68peng@163.com

收稿日期:2019-11-28

持、加快转变经济发展方式、增强可持续发展能力具有重要意义。李小辉等^[21-23]重点探索了雨量(P)、雨强(I)对植被种类及地形因子对水土流失的影响,本文在此基础上,采用径流小区试验法,定量探讨当地典型植被在不同时间尺度降雨及雨级、雨型下对水土流失的影响,以期为该地区水土流失治理提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况 研究区位于安徽省六安市的江子河小流域($115^{\circ}52'56''\sim 115^{\circ}55'41''\text{E}$, $31^{\circ}06'37''\sim 31^{\circ}08'40''\text{N}$),地处大别山腹地、江淮分水岭的北坡,属淮河流域淠河水系,水土流失严重,水力侵蚀为主,共计 3.43 km^2 ,占小流域总面积的 36.99% 。平均海拔 775 m ,平均无霜期 240 d ,年均气温 $14.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均蒸发量 $1\ 240.05\text{ mm}$,年均降雨量 $1\ 423.3\text{ mm}$,处于亚热带向温带、湿润带向半湿润带的过渡地段,降雨充沛且年际变化大,为安徽大别山区暴雨中心(常年干燥度 $K < 0.75$)。该区土壤以砂壤为主,土层厚度空间变异性大(图 1)。

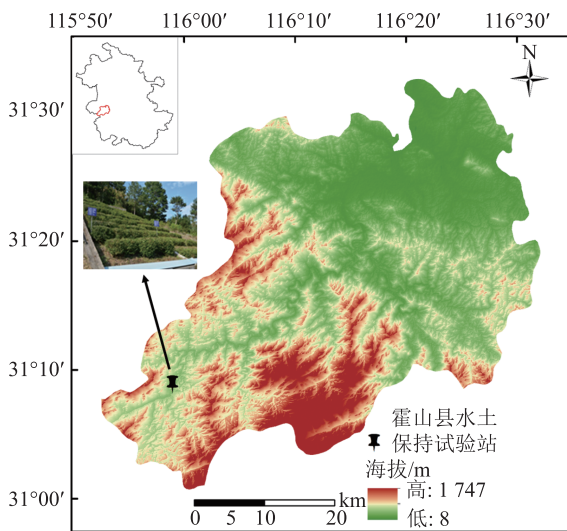


图 1 研究区地理位置示意

1.2 径流小区布设 江子河小流域综合观测工作在霍山县水土保持试验站($115^{\circ}59'09''\sim 115^{\circ}59'20''\text{E}$, $31^{\circ}08'43''\sim 31^{\circ}09'09''\text{N}$)进行,该站始建于 1981 年,下设气象园、径流场、控制站,其地质土壤、气候条件及地表状况基本代表安徽大别山区特征。

2013—2018 年选取标准径流小区(T3、T5、T6)展开水土流失定位观测,径流小区坡度均为 23° 、坡向为 WS、坡位为中,小区规格为 $5\text{ m}\times 20\text{ m}$,水平投影面积为 100 m^2 ,土壤类型均为砂壤;T3 小区种植茶树, T5 小区种植红芋, T6 小区种植桑树,均属安徽

大别山区主要经济、农业植被;采用坡耕地种植,其田间管理主要由本地农民完成,符合当地种植习惯及规律。

基于 2013—2018 年野外观测资料,经过比对检查、整理分析后,整体数据质量可靠。对共计 136 场次降雨进行特征分析,为进一步剔除前期降雨对本次降雨水土流失的影响,选取前期 48 h 内未发生降雨的 37 场次进行水土流失响应分析。其中:2013 年 4 月 29 日—9 月 27 日共计 11 场次;2014 年 4 月 24 日、8 月 24 日共计 2 场次;2015 年 5 月 14 日—10 月 26 日共计 7 场次;2016 年 5 月 14 日—9 月 9 日共计 4 场次;2017 年 1 月 4 日—7 月 30 日共计 6 场次;2018 年 2 月 27 日—11 月 6 日共计 7 场次。

1.3 指标观测与计算 主要使用自记雨量设备 3554WD 翻斗式自记雨量计,进行降雨的实时跟踪监测,记录间隔为 5 min ;人工进行降雨起止时间及降雨期间雨势变化的记录,以便对自记雨量进行验证。1000 mL 广口取样瓶若干,用于降雨后混合水样收集,采用铝盒烘干法测定水样含沙量。

次降雨总动能 E 的计算式^[24-25]为

$$E = \sum_{r=1}^n (e_r \cdot P_r), \quad (1)$$

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.082i_r)], \quad (2)$$

降雨侵蚀力 $R_{\text{次}}$ 计算式为

$$R_{\text{次}} = E \cdot I_{30}, \quad (3)$$

式中: $R_{\text{次}}$ 为次降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$); E 为次降雨总动能 ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$); I_{30} 为最大 30 min 雨强 ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$); n 为次降雨过程按断点雨强分为 n 个时段; $r=1, 2, 3, \dots$; e_r 为某时段单位降雨动能; P_r 为对应时段雨量 (mm); i_r 为第 r 时段的断点雨强。

次降雨指连续不断的一个降雨事件。由于降雨时断时续,一天可能会发生多场降雨,如果出现 2 场降雨的间歇不超过 6 h,则视为一场降雨过程,间歇时间大于 6 h 则视为 2 场降雨过程^[26]。此外,本文定义:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—次年 2 月为冬季。

2 结果与分析

2.1 不同时间尺度下水土流失特征分析 降雨动能是影响降雨土壤侵蚀能力的重要因子,也是分析雨滴击溅作用的一项重要属性^[27]。降雨侵蚀力是雨滴动能、降雨量、降雨雨强等各项降雨相关参数的函数,表示降雨导致土壤侵蚀的潜在影响力^[28](图 2-a), 8 月出现动能峰值,为 $43.15\text{ MJ} \cdot \text{hm}^{-2}$,是最低值(1

月)的 9.12 倍(图 2-b); 6 月出现降雨侵蚀力峰值, 为 $4\ 103.02\ \text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 是最低值(1 月)的 229.48 倍。从季节角度来看, 夏季降雨量占全期降雨量的 44.45%, 降雨动能占总量的 47.94%, 其比例大小相当, 而降雨侵蚀力占总量的 74.29%, 对照图 2-c~e, 夏季平均雨强和 I_{30} 的均值分别为 4.57、25.16 $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 分别是其他 3 个季节平均值的 2.34 和 2.28 倍, 说明

雨量和雨强均处于较高水平时, 降雨会产生强大的侵蚀力, 对研究区土壤侵蚀产生重大影响(图 2-f)。茶树小区植被覆盖度 $>70\%$, 且年内波动很小, 桑树和红芋小区年内植被覆盖度波动大, 具有明显的季节变化特征。综上, 进行土壤侵蚀状况的改良与土地资源的保护应着力于夏季的强降雨阶段。

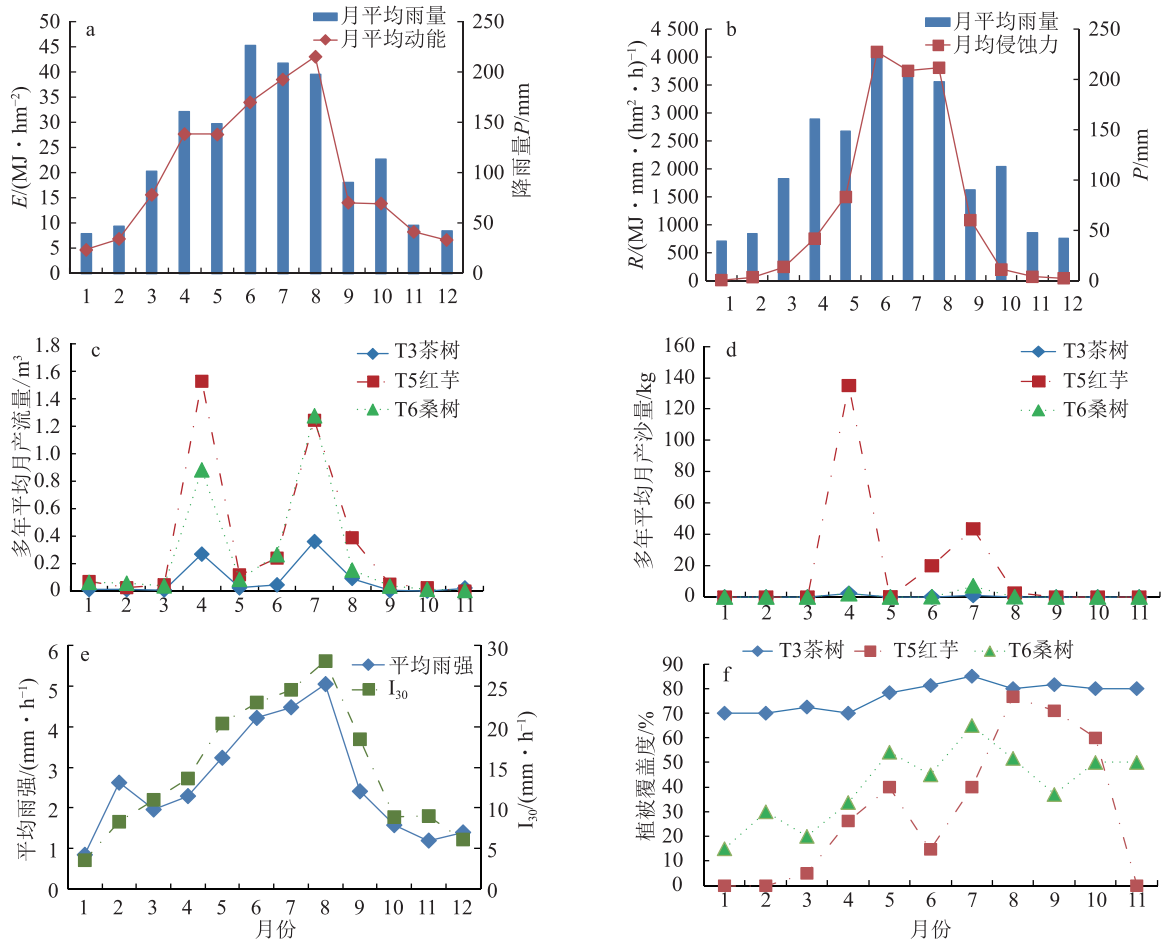


图 2 安徽大别山区降雨量 P 、降雨侵蚀力 R 、降雨动能 E 及植被覆盖度月变化

从图 3-a、c 中可看出, 4 和 7 月为水土流失高峰期。红芋属一年生植被, 生长过程对土壤扰动大, 且处于降雨集中期, 雨量和雨强均处于较高水平, 雨滴溅蚀力强, 不仅使土壤结皮难以形成^[29], 还增加表面径流的稳流强度, 增强输沙能力, 同时造成地表板结, 减少雨滴入渗^[30], 因此造成水土流失量最大; 而茶树地植被覆盖度好, 常年维持在 $70\% \sim 80\%$, 大大增强了其对雨水的截持能力, 降低土壤的侵蚀速率^[31], 因此茶树地的水土保持效果最好。

由图 3-b、d 可知, 2013—2018 年产流产沙总量变化趋势总体保持一致, 均表现为先迅速下降, 后趋于稳定, 到 2018 年出现上升; 3 种作物减流减沙率效果最佳发生在 2014 和 2017 年。

2.2 坡面水土流失影响因素定量分析 为理解各降雨因子与水土流失量的关联程度, 对其进行了相关性分析(表 1)。结果表明: 水土流失量与降雨量 P 、降雨侵蚀力 $R_{\text{次}}$ 、雨强 I_{30} 均在 0.01 水平显著正相关; 其次是降雨历时 t 和雨强 I_{60} 通过了 0.05 显著性检验; 而平均雨强 I 与水土流失量的相关性未通过检验。一般而言, 产流量与降雨因子的相关系数高于产沙量, 其中产流量与 P 的相关系数均达到了 0.9, 而产沙量与 P 的相关系数为 0.8~0.9。整体而言: 茶树产流量与降雨因子的相关系数最大, 平均为 0.543, 其次是桑树 0.541 和红芋的 0.534; 产沙量则表现出相反的规律。经 logistic 回归、单因素 ANOVA 等统计检验后, 得出各降雨因子的水土流失量贡献度由

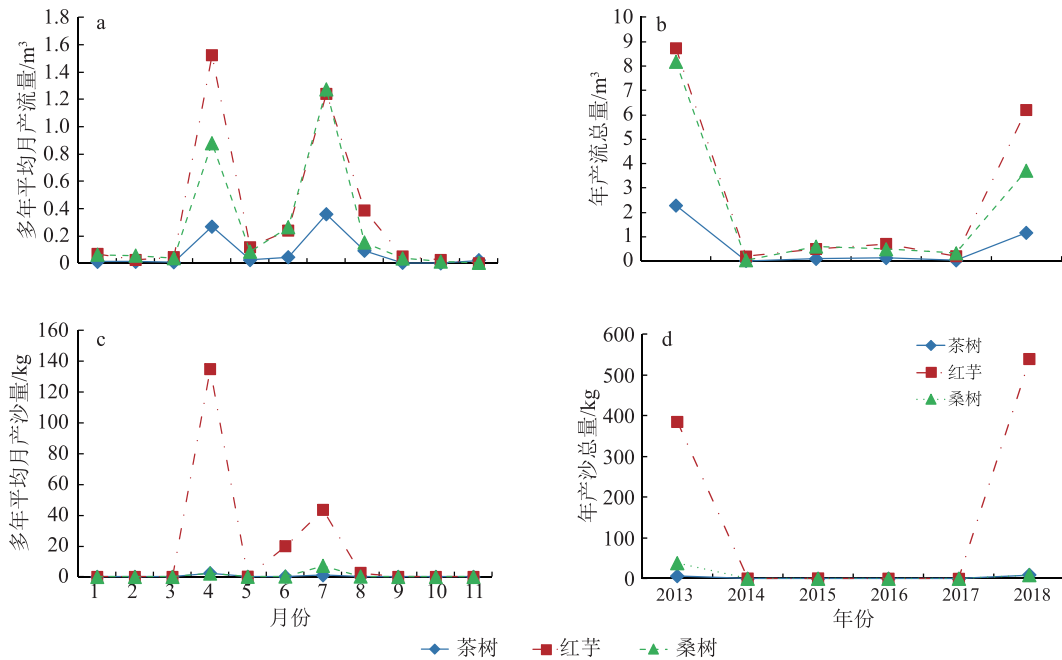


图 3 安徽大别山区水土流失年变化及月变化

表 1 水土流失与降雨因子相关性分析

植被种类	产流/沙量	历时	降雨量	降雨强度	最大雨强 I_{30}	最大雨强 I_{60}	降雨侵蚀力
茶树	产流量	0.404*	0.905**	0.112	0.561**	0.354*	0.923**
	产沙量	0.365*	0.890**	0.110	0.582**	0.399*	0.591**
红芋	产流量	0.406*	0.935**	0.090	0.585**	0.381*	0.804**
	产沙量	0.295	0.829**	0.211	0.640**	0.443**	0.503**
桑树	产流量	0.411*	0.911**	0.100	0.545**	0.345*	0.932**
	产沙量	0.381*	0.799**	0.077	0.445**	0.274	0.979**

注: **表示在0.01级别(双尾),相关性显著; *表示在0.05级别(双尾),相关性显著。

大到小依次为 P 、 R 、 I_{30} 、 t 、 I_{60} 、 L 。

此外,安徽大别山区以水力侵蚀为主,坡面径流是坡耕地发生土壤侵蚀的主要动力之一^[21](图 4),各小区坡面土壤产流量和产沙量均表现为明显的线性相关。因此,在土壤侵蚀的防治过程中,控制产流的发生将会有效降低产沙的总量。

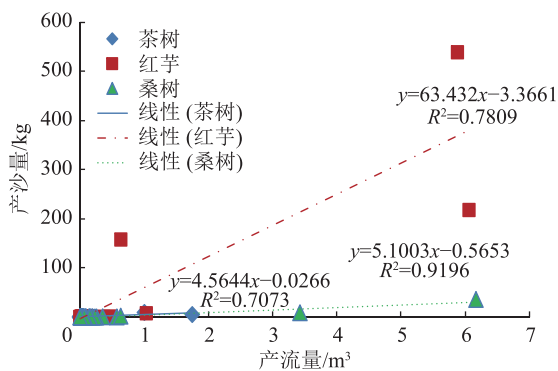


图 4 不同小区产流量、产沙量相关性

由表 1 可知,选取与水土流失相关性最强的 3 项降雨因子,即 P 、 R 、 I_{30} ,进行回归分析。由图 4 可知:各小区产流产沙量与 3 项降雨因子均呈现正相关关系;茶叶能够有效削减降雨动能,水土保持效果最好;桑树对于保水能力较弱,但保沙能力强;红芋地水土流失最为严重。

构建回归模型量化以上 3 个降雨因子对于水土流失贡献度。从表 2、图 5 可知,各回归方程拟合度较好,且 F 统计量对应的 P 均远 < 0.001 ,则该模型整体稳定,各降雨因子与产流量的拟合效果优于产沙量。将标准化系数与变量贡献度进行比较,产流量的拟合中, T3 和 T6 小区均为 $R > P$, T5 小区为 $P > R$,这说明以茶树为例的灌木和以桑树为例的乔木中,对产流影响最大的是 R ,而草本植被红芋,对产流量影响最大的是 P ;在产沙量的拟合中, T3 和 T5 小区均为 $P > I_{30}$, T6 小区为 $P > R$,说明对于产沙量而言,

表 2 不同小区水土流失量拟合回归方程模型

拟合类型	编号	植被种类	回归模型	调整后 R^2	P	变量贡献度比较
不同植被种类下各降雨因子与产流量拟合	T3	茶树	$W_1=0.315P+0.007R-8.983$	0.944	<0.001	$R>P$
	T5	红芋	$W_1=0.212P+0.001R-5.560$	0.887	<0.001	$P>R$
	T6	桑树	$W_1=0.109P+0.002R-3.064$	0.960	<0.001	$R>P$
不同植被种类下各降雨因子与产沙量拟合	T3	茶树	$W_2=0.290P+0.168I_{30}-11.047$	0.796	<0.001	$P>I_{30}$
	T5	红芋	$W_2=1.341P+1.761I_{30}-62.995$	0.725	<0.001	$P>I_{30}$
	T6	桑树	$W_2=0.158P+0.019R-9.282$	0.973	<0.001	$P>R$

注: W_1 为产流量, W_2 为产沙量, P 为降雨量, R 为降雨侵蚀力, I_{30} 为最大30 min雨强。

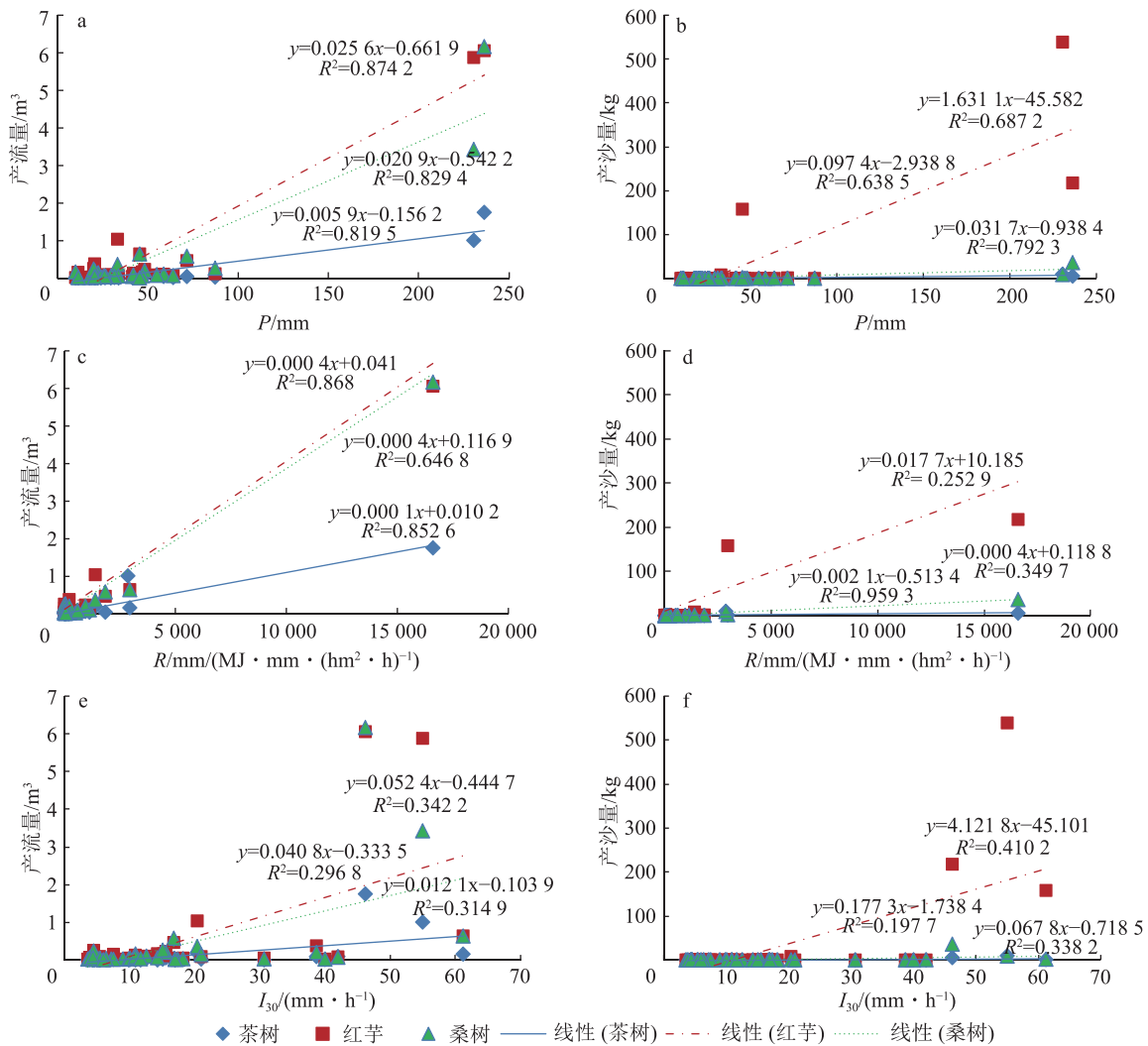


图 5 不同小区降雨量 P 、降雨侵蚀力 R 、 I_{30} 与产流量、产沙量相关性

2.3 不同降雨等级水土流失特征分析 依据中国气象局中央气象台的日降雨强度划分标准^[32],对 2013—2018 年内所有降雨分级。

如图 6-a 所示:所有等级降雨都是夏季(雨季)发生次数最多,共 61 场,占总降雨次数的 44.85%,冬季(干季)最低,仅为 9 次,占总量的 6.62%;中雨和大雨各月均有分布,年际变率最大,二者发生次数最多分别在 6 和 5 月,均为 10 次,各占总降雨次数的 7.35%;

2—8 月有暴雨出现,分布呈现负偏态,7 月最多,占总降雨次数的 5.15%;大暴雨仅在 4 月和 6—8 月出现,频次较少,但这 4 个月却是全年降雨动能最高的月份,也是水土流失最为严重的时期,产流量和产沙量可占全年的 90.32% 和 99.89%,而 4 月的水土流失量是年内的第一个峰值,可占全年总产流量和产沙量的 35.89% 和 64.96%。因此,大暴雨会产生强大的降雨动能,在改善土壤侵蚀状况、保护和开发当地

土壤资源的同时,应注重其产生的影响。

由图 6-b、c 可知:就平均产流量而言,同一雨强等级下, T5 和 T6 小区流量均高于 T3 小区流量, 总体而言, T5 流量高于 T6 流量;小雨时, T3 小区平均产流量约为 0, T5 和 T6 小区平均产流量均 >0, 且 T6 小区流量较 T5 小区流量高 1152.1%;中雨时, T5 和 T6 小区流量分别较 T3 小区流量高 485.7% 和 300%;大雨时, T5 和 T6 小区流量分别较 T3 小区流量高 364.1% 和 212.8%;暴雨时, T5 和 T6 小区流量分别较 T3 小区流量高 293.8% 和 427.1%;大暴雨时, T5 和 T6 小区流量分别较 T3 小区流量高 333.2% 和 248.2%。大暴雨导致的平均产流量最多, 其次为暴雨;大雨条件下坡耕地产流现象凸显, 甚至超过暴

雨, 但大暴雨条件下的累积产流量依然最大。

不同降雨等级下, 红芋在产流量方面基本与桑树一致, 但产沙量远高于桑树和茶树。由图 6-d、e 可知:降雨等级为大雨和大暴雨时, 各小区平均和累积产沙量均高于其他降雨等级, 且大暴雨下产沙量远高于大雨;从平均产沙量来看, T5 和 T6 小区产沙量较 T3 小区产沙量分别高 4595% 和 171.1%;累积产沙量方面, T5 和 T6 小区产沙量较 T3 小区产沙量分别高 5505.5% 和 158.6%。另外, 不同雨强等级下 3 个小区平均和累积产沙量由大到小依次为大暴雨、大雨、暴雨、中雨、小雨。大暴雨产生的平均和累积产沙量, 比其他雨强等级的总和产生的产沙量还多, 具有强大的降雨侵蚀力, 对土壤破坏性大。

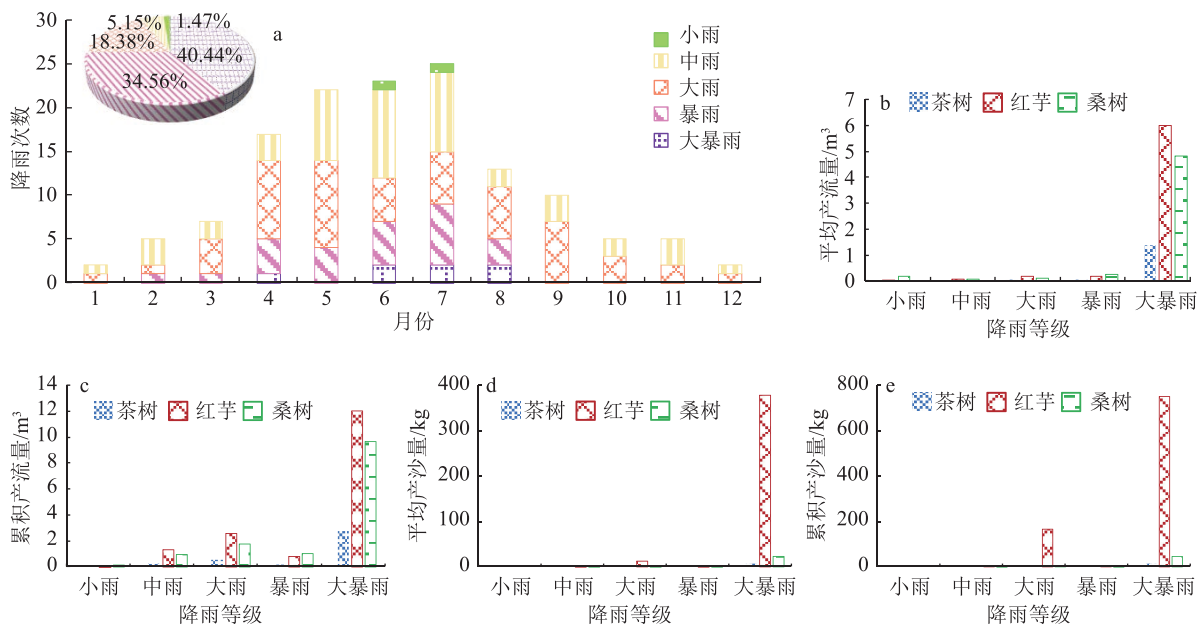


图 6 不同降雨等级年内分布特征及水土流失变化

2.4 不同雨型水土流失特征分析 为进一步分析不同降雨类型对于区域水土流失的影响, 本文基于 4 项降雨特征, 包括次降雨量 (mm)、次降雨历时 (h)、次降雨平均雨强 ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) 及次最大 30 min 雨强, 对数据进行归一化处理, 采用 K 均值聚类方法^[33-34]对所有场次降雨进行划分, 聚类变量对聚类过程作用显著, 显著性 $P < 0.001$, 且 4 类雨型聚类函数显著性检验的概率 $P < 0.001$, 聚类效果较好。如表 3 所示: III 型降雨量最大, 为 50.25 mm, II 型降雨量最小, 为 16.10 mm; III 型降雨历时最长, 平均为 280.77 h, I 型降雨历时最短, 平均为 31.27 h; III 型降雨雨强较大, 平均雨强为 $5.75 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 雨强达到 $48.07 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 而 I 型降雨雨强最小, 平均雨强为 $2.23 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 雨强仅为 $11.80 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。结合图 7-a: I 型为短历时、小

雨量、小雨强、弱侵蚀力型降雨, II 型为中历时、小雨量、大雨强、强侵蚀力型降雨, III 型为长历时、大雨量、大雨强和极强降雨侵蚀力型降雨, IV 型为长历时、中雨量、小雨强、中侵蚀力型降雨, 各雨型降雨侵蚀力由大到小依次为 III 型、II 型、IV 型、I 型。在 2013—2018 年统计的 136 场次降雨过程中, I 型降雨发生频次最多, 共 83 次, 占总次数的 61.03%, 是安徽大别山区的主要降雨类型; III 型最少, 仅占 2.21%, II 型和 IV 型相差不大, 分别占 17.65% 和 19.12%。

从不同降雨类型发生次数的年内分布可知 (图 7-b): I 型降雨各月均有分布且年内变率最大, 呈现正偏态分布, 其发生次数最多在 5 月, 共计 16 次, 占总降雨次数的 11.76%, 最少发生在 1 月, 仅有 1 次; II 型降雨只发生在 5—9 月, 最多在 7 月, 为 8 次, 占

表 3 4 类降雨雨型特征统计

雨型	I	II	III	IV
降雨量/mm	16.10	8.50	50.25	39.89
平均降雨历时/h	31.27	50.30	280.77	74.04
平均雨强/(mm · h ⁻¹)	2.23	7.89	5.75	2.37
雨强/(mm · h ⁻¹)	11.80	43.62	48.07	16.36
平均降雨侵蚀力/(MJ · mm · (hm ² · h) ⁻¹)	149.09	1 236.46	7 510.96	676.05
降雨次数/次	83	24	3	26
百分比/%	61.03	17.65	2.21	19.12

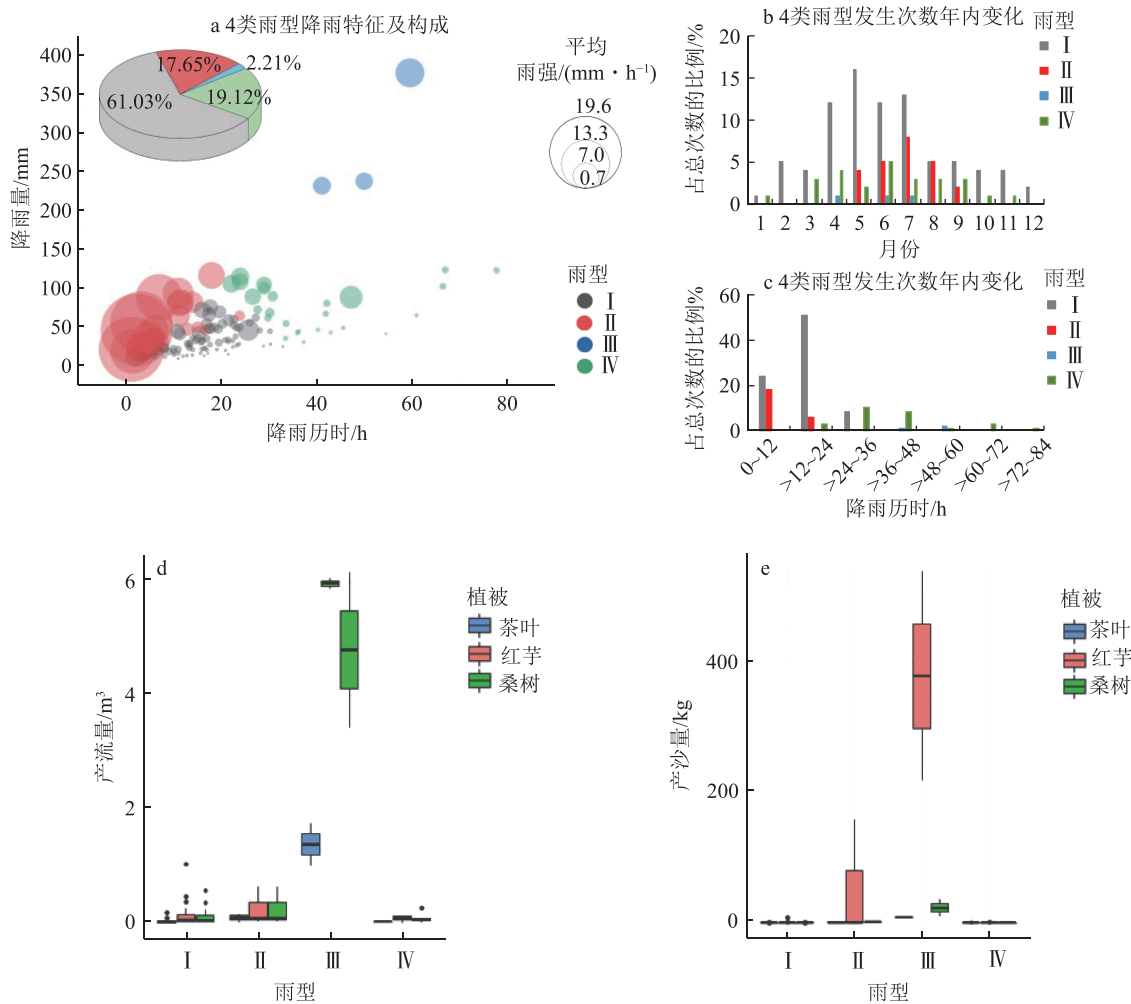


图 7 不同雨型和植被类型的水土流失特征

总降雨次数的 5.88%; III 型降雨发生频次最少, 且仅分布于 4、6 和 7 月; IV 型降雨发生最多在 6 月, 共 5 次, 占总降雨次数的 3.68%。

从相对频次来看: I 型降雨占夏季总降雨场次的 49.18%, III 型降雨占 3.28%, 占总降雨场次的 66.67%, II 型和 IV 型降雨分别占 29.51% 和 18.03%; 冬季共统计 9 场降雨, I 型降雨 8 场, IV 型降雨 1 场, II 型和 III 型降雨无分布。可见, 夏季 I 型降雨发生频次占绝对优势, III 型降雨虽然频次少, 但占该雨型比例

的 66.67%, 冬季总降雨场次最少, 主要发生 I 型降雨。

由图 7-c 可知: 以 12 h 为间隔, 统计对应时段内的降雨次数, 其中降雨历时 ≤ 24 h 的占 75%, ≤ 36 h 的占 88.24%, ≤ 48 h 的占 94.86%, ≤ 60 h 的占 97.07%。进一步统计各雨型的历时特征: I 型和 II 型降雨主要存在于 24 h 以内, 在 0~12 h 内, I 型降雨占该区间总降雨场次的 57.14%, II 型降雨占该雨型总降雨场次的 75%; 在 >12~24 h 区间内, I 型降雨占该区间降雨场次的 85%, IV 型降雨开始出现, 此后, 随着降雨

历时的增加, IV型降雨出现的频次随之下降;也就是说,在>24~84 h的降雨过程, IV型占 67.65%,其余 32.35%为 I型与 III型之和,而 I型在该时段内仅出现在>24~36 h内, III型降雨仅在>36~48和>48~60 h这 2个区间内出现。

如图 7-d、e所示的不同雨型对于水土流失的影响可知: III型降雨虽然场次最少,但水土流失量却远高于其他 3种降雨,与前文的研究一致, III型降雨对产流量影响大于产沙量; IV型降雨对水土流失影响最小,内部各场次降雨差异性最小; I型和 II型介于二者之间, II型降雨对于产流量的影响较大. 红芋地的水土流失量最大,桑树地次之,茶树地最小. 因此,建议安徽大别山区的经济植被以茶树和桑树为主,尽量减少红芋种植。

3 结论

本文研究了安徽大别山区降雨整体分布状态及不同植被类型下径流小区的水土流失特征,结果表明:

1)夏季降雨侵蚀力占整个观测期的 74.29%,远远高于其他季节,对研究区土壤侵蚀产生重大影响,在进行土壤侵蚀状况的改良和土地资源的保护时,应当着力于夏季强降雨阶段,4和7月为水土流失高峰期. 2013—2018年水土流失量变化趋势均表现为先迅速下降,后趋于稳定,到2018年出现上升。

2)综合来看,各降雨因子对于水土流失贡献度由大到小依次为 P 、 R 、 I_{30} 、 T 、 I_{60} 、 I . 产沙量和产流量也具有显著正相关,控制产流量能有效降低产沙量. 整体而言,茶树产流量与降雨因子的相关系数最大,平均为 0.543,其次是桑树的 0.541 和红芋的 0.534,产沙量变化规律恰好相反。

3)灌木和乔木中,对于产流量影响最大的是 R ,对于草本植被的红芋,对产流量影响最大的是 P . 产沙量的拟合中, P 是各植被类型中最重要的影响因素。

4)中雨和大雨各月均有分布,年际变率最大,大暴雨场次少,但造成的水土流失情况最严重. I型降雨是安徽大别山区主要的降雨类型,年内变率最大,呈现正偏态分布, III型降雨场次最少,但水土流失量远远高于其他 3种降雨类型, IV型降雨对水土流失影响最小. 不同雨型下植被水土流失量由大到小依次为红芋、桑树、茶树。

4 参考文献

[1] 徐宪立, 马克明, 傅伯杰, 等. 植被与水土流失关系研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3137
[2] 李盟, 方瑞, 乐峰, 等. 基于RS和GIS的江苏省水土流失重

点预防区和治理区定量监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 228
[3] 孙从建, 侯慧新, 陈伟, 等. 典型黄土塬区不同植物措施水土保持效应分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1405
[4] 王怡菲, 姚顺波, 邓元杰. 渭河流域水土流失治理效率的时空格局演化与影响因素[J]. 地理科学, 2019, 39(5): 836
[5] 陈妙金, 汪小钦, 吴思颖. 基于随机森林算法的水土流失影响因子重要性分析[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(4): 209
[6] MENGESHA Z, MOHAMMED S. MOHAMMEDYASIN, D S, et al Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia[J]. Geoderma Regional, 2018, 12: 83
[7] KWANELE P, NJOYA S N. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: a review[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2019, 7(1): 27
[8] 吴芳, 朱源, 许丁雪, 等. 渭河流域土壤侵蚀空间特征及其优先治理区确定[J]. 生态学报, 2019, 39(13): 4761
[9] 卢刚. 基于CSLE模型的天山北坡西白杨沟流域土壤侵蚀定量评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 124
[10] 方天纵, 秦朋遥, 王黎明, 等. 高时空分辨率植被覆盖获取方法及其在土壤侵蚀监测中的应用[J]. 生态学报, 2019, 39(15): 5679
[11] 马星, 郑江坤, 王文武, 等. 不同雨型下紫色土区坡耕地产流产沙特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 20
[12] 鲍玉海, 丛佩娟, 冯伟, 等. 西南紫色土区水土流失综合治理技术体系[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 143
[13] 史志华, 杨洁, 李忠武, 等. 南方红壤低山丘陵区水土流失综合治理[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 6
[14] 石海霞, 梁音, 朱绪超, 等. 南方红壤区水土流失治理成效的多尺度趋势分析[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(3): 66
[15] 王葆, 程金花, 王文凯, 等. 北京北部褐土区2种典型植物措施减流减沙效应[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 56
[16] 周晗, 严俊霞, 李洪建, 等. 晋西黄土区坡耕地不同下垫面水土流失对侵蚀性降雨的响应[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 7
[17] 戴全厚, 严友进. 西南喀斯特石漠化与水土流失研究进展[J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 1
[18] 李瑞, 张弛, 顾再柯, 等. 贵州喀斯特区典型小流域坡面土壤侵蚀与主要影响因素的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 1
[19] 张晓玲, 周结斌. 安徽省大别山地区生态补偿现状、问题和建议[J]. 治淮, 2016(12): 47
[20] 史志刚. 皖西大别山区水土流失特征及其综合防治研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 39
[21] 李小辉, 贾本有, 范子武, 等. 典型作物对水土流失影响的小区试验研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(2): 95
[22] 张卫. 皖西大别山区不同土地利用类型的土壤抗侵蚀

- 性: 以安徽省岳西县为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 38
- [23] 赵明松, 李德成, 程先富, 等. 皖西大别山区土壤侵蚀空间分布特征及与地形的关系[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 65
- [24] 朱强, 陈秀万, 樊启祥, 等. 基于TRMM的降雨侵蚀力计算方法[J]. 中国科学: 技术科学, 2011, 41(11): 1483
- [25] 付滢, 郑江坤, 任雨之, 等. 降雨与植被变化对川中丘陵区典型小流域侵蚀产沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(4): 67
- [26] HUFF F A. Time distribution of rainfall in heavy storms[J]. Water Resources Research, 1967, 3(4): 1007
- [27] 李赛. 鲁中山地天然降雨对径流小区产流产沙的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016
- [28] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 基于GIS和USLE的宁乡市土壤侵蚀定量评价[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(12): 149
- [29] 马波, 由政, 吴发启, 等. 种植大豆条件下土壤结皮对坡耕地径流和侵蚀产沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(3): 16
- [30] 郭雒敏, 李晓丽, 王文, 等. 坡度对紫红色砒砂岩击溅侵蚀的影响[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(1): 1
- [31] DIYABALANAGE S, SAMARAKOON K K, ADIKARI S B, et al. Impact of soil and water conservation measures on soil erosion rate and sediment yields in a tropical watershed in the Central Highlands of Sri Lanka[J]. Applied Geography, 2017, 79: 103
- [32] 孔锋, 方建, 吕丽莉, 等. 1961—2015年中国不同强度降雨的变化趋势和波动特征[J]. 热带地理, 2017, 37(4): 473
- [33] 殷水清, 王杨, 谢云, 等. 中国降雨过程时程分型特征[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 617
- [34] GHASSABI Z, KAMALI G A, MESHKATEE A H, et al. Time distribution of heavy rainfall events in south west of Iran[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2016, 145: 53

Natural rainfall affects soil erosion of typical vegetation in Dabie Mountains, Anhui Province

JIANG Wen^{1,2)} HU Yuqian^{1,2)} WANG Junhong³⁾ SUN Peng^{1,2)†} ZHANG Qiang^{4,5)}
HUANG Na¹⁾ ZHANG Xin¹⁾ WANG Wenying¹⁾

(1) School of geography and tourism, Anhui Normal University, 241002, Wuhu, Anhui, China;

2) Key Laboratory of Earth Surface Processes and Regional Response in the Yangtze-Huai River Basin, Anhui Province, Anhui Normal University, 241002, Wuhu, Anhui, China; 3) Huoshan soil and Water Conservation Experimental Station, 237266, Huoshan, Anhui, China;

4) Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

5) Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Effects of different land uses/covers on soil and water loss processes under different rainfall patterns have great significance to guide vegetation construction and soil and water loss control. Responses of soil and water yield characteristics to rainfall patterns and crop types (tea, red taro, mulberry) were studied by rainfall simulation under three runoff plots at Huoshan soil and water conservation station in Dabie Mountain from 2013 to 2018. The months of April and July were found to be the peak periods of soil erosion. From 2013 to 2018, soil and water loss showed a trend of rapid decline, followed by stability, and finally an increase in 2018. The order of contribution of each rainfall factor to soil erosion was found to be $P > R > I_{30} > t > I_{60} > I$. Rainfall was the most important factor affecting sediment yield. Rainfall erosion had the greatest effect on tree and shrub runoff. Moderate and heavy rains were found to show the highest inter-annual variability. Very heavy rains were infrequent but caused the most serious soil erosion. The main rainfall pattern in Dabie Mountains, Anhui province was Type I. Type III rainfall was the least frequent, but with soil and water loss much higher than the other three rainfall patterns. Type IV showed the least impact on soil and water loss.

Keywords water and soil loss; natural rainfall; vegetation types; rainfall patterns; Dabie Mountain of Anhui Province

【责任编辑: 刘先勤】