

黔中喀斯特山区坡耕地产流产沙对无籽刺梨种植响应

殷清慧^{1,2}, 谢世友^{1,3}

(1.西南大学地理科学学院,重庆 400715; 2.安顺学院,
贵州 安顺 561000; 3.西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400715)

摘要:产流产沙是坡耕地土壤侵蚀的主要形式,为探讨无籽刺梨对黔中喀斯特山区坡耕地土壤侵蚀治理效应,采用径流小区野外定位观测法和相关性分析法,分析了坡度 15°和 25°坡耕地共 6 个自然坡面径流小区 2016 年 6—9 月 15 次野外实测侵蚀性降雨产流产沙数据。结果表明:(1)在同坡度同降雨量同 I_{30} 下,无籽刺梨地较自然恢复地有显著保水保沙能力,无籽刺梨+自然荒草地模式优于无籽刺梨单种模式。(2)无籽刺梨种植模式减流减沙效果坡度 25°优于 15°,减沙效果优于减流效果。其中无籽刺梨+自然荒草地减流减沙效果最优,在小雨、中雨、大雨、暴雨 4 种雨型下,坡度 15°度时较自然恢复地分别平均减流 59.08%, 65.23%, 56.96%, 54.87%, 分别平均减沙 87.32%, 71.64%, 51.10%, 74.69%;坡度 25°度时分别平均减流 53.11%, 76.09%, 76.72%, 46.12%, 分别平均减沙 85.40%, 86.87%, 71.55%, 73.99%。(3)研究区产流产沙量与降雨参数(P 、 I_{30})高度相关且在 0.01 水平上显著,在不同雨型下无籽刺梨减流减沙均有明显效果,小雨、中雨时减流减沙效果最佳。研究证实了研究区无籽刺梨种植能抵御不同雨型的降雨侵蚀,可作为贵州省喀斯特山区生态修复的极优经济选种。

关键词:喀斯特; 无籽刺梨; 坡耕地; 产流产沙; 坡度

中图分类号:S157.1 文献标识码:A 文章编号:1009-2242(2022)05-0090-07
DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.05.013

Response of Runoff and Sediment Yield of Sloping Farmland to *Rosa sterilis*
S. D. ShiPlanting in Karst Mountainous Area of Central Guizhou

YIN Qinghui^{1,2}, XIE Shiyou^{1,3}

(1.School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715; 2.School of
Resource and Environment Project, Anshun University, Anshun, Guizhou 561000; 3.Key Laboratory of the
Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: Runoff and sediment yield is the main form of soil erosion in sloping farmland. In order to explore the soil and water conservation benefit of *Rosa sterilis* S. D. Shi on slope farmland in karst mountainous area of central Guizhou, using field location observation method in runoff plot and correlation analysis method, this study analyzed the field measured data of runoff and sediment under six natural runoff plots, which were natural restoration land (NRL), *R. sterilis* S. D. Shi land (RSSDSL), *R. sterilis* S. D. Shi + natural grass-land (RSSDSL+NGL), on 15°and 25° slope under 15 erosive rainfalls from June to September 2016. The results showed that:(1) Under the same slope, rainfall and maximum 30 min rainfall intensity(I_{30}), the RSSDSL had better water and sediment retention ability than NRL, and RSSDSL+NGL pattern was better than the single RSSDSL pattern.(2)The runoff and sediment reduction effect of *R. sterilis* S. D. Shi planting pattern with a slope of 25° was better than that of 15°, and the sediment reduction effect was better than runoff reduction. The RSSDSL+NGL had the best runoff and sediment reduction effect. Under the four rain types of light rain, moderate rain, heavy rain and rainstorm, when the slope was 15°, compared with NRL, the average runoff reduction of RSSDSL+NGL were 59.08%, 65.23%, 56.96% and 54.87%, respectively, and the average sediment reduction were 87.32%, 71.64%, 51.10% and 74.69%, respectively. While, when the

收稿日期:2022-02-23
资助项目:国家科技支撑计划项目(2011BAC09B01);贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 J 字(2013)13 号)
第一作者:殷清慧(1976—),女,博士,教授,硕士生导师,主要从事国土空间规划与区域土地利用、岩溶环境与生态修复研究。E-mail:qinghui108@sina.com
通信作者:谢世友(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事岩溶环境与生态修复研究。E-mail:xiesy@swu.edu.cn

slope was 25° , the average runoff of reduction were 53.11%, 76.09%, 76.72% and 46.12%, respectively, and the average sediment reduction were 85.40%, 86.87%, 71.55% and 73.99%, respectively. (3) Runoff and sediment yield in the study area was highly correlated with rainfall parameters (P , I_{30}) and was significant at the 0.01 level. *R. sterilis* S. D. Shi had obvious effect on runoff and sediment reduction under different rain types, and the best effect was achieved in light rain and moderate rain. In conclusion, *R. sterilis* S. D. Shi planting in the study area could effectively control the rainfall erosion of all rain types, and could be used as an excellent economic choice for ecological restoration in karst mountainous areas of Guizhou Province.

Keywords: karst; *Rosa sterilis* S. D. Shi; slope farmland; runoff and sediment yield; slope gradient

水土流失危害极大,严重的水土流失将导致石漠化大面积的发生^[1]。西南地区 $6^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 石漠化发生面积最大^[2],贵州省流失的泥沙 90% 来自于坡耕地^[3],坡耕地主要以坡地为主^[4]。降雨强度和坡度是影响坡面产流产沙的主要因素^[3,5],目前喀斯特山区水土流失治理措施上生物治理方式占很大比重^[6-8]。不同植被类型对坡地减流减沙作用差异明显^[9],经济林(杨梅、桃树、梨树、树莓)在贵州喀斯特地区减流减沙效果最优,减流率可达 52.5%~64.3%,减沙率可达 99.3%^[10],在坡度 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 及以上种植蓄水截流效果较好,能有效防治石漠化的产生^[11]。抗旱耐瘠薄、喜钙、石生、适用范围广的乡土植物是喀斯特地区经济林的极优选种^[12]。

无籽刺梨,别名“金刺梨”,属多年生落叶灌木,富含多种维生素和药用价值,具有石生性、耐旱抗瘠、根系发达的适生性,是贵州省的特有种。能在贫瘠的石山山地上茁壮成长,与野生刺梨相比,品质口感更好,产量更高。目前,无籽刺梨在贵州省得到广泛种植,并成为安顺市重点打造的特色农产业,近年无籽刺梨相关研究也开始关注到环境方面,但研究成果不多,主要集中在无籽刺梨对土壤环境、土壤质量的影响及评价等方面,已有研究^[13-14]表明,无籽刺梨随着种植年限的增加对土壤理化性质和生物影响明显,能促进土壤酶的活力,改善土壤的质量,可作为喀斯特区域中度、轻度和潜在石漠化生态修复的经济树种;前人^[13-14]研究中未涉及山地坡度因素研究,虽提出了无籽刺梨种植的生态价值及水土保持作用,但并未对此作深入定量的研究,在水土保持减流减沙方面也还未见相关报道。目前学界在坡面产流产沙试验研究方法也多以室内人工模拟降雨试验为主^[3,15],野外天然降雨坡面定位观测试验甚少。为此本文采用天然野外自然坡面径流小区定位观测法,通过对喀斯特山区坡耕地坡度 15° 和 25° 条件下无籽刺梨种植模式与次降雨产流产沙特征进行分析,为贵州喀斯特山区坡耕地生态高质量发展 and 树种选择提供理论支撑和借鉴。

1 研究区概况

研究区位于贵州省安顺市普定县龙场乡大桥村

($105^{\circ}41'04''\sim 105^{\circ}43'41''$ E, $26^{\circ}18'37''\sim 26^{\circ}19'57''$ N), 海拔 1 167~1 258 m,主要以岩溶山地和洼地为主。岩层构成为中生界三迭系下统永宁组第 1 段、第 2 段构成。永宁组第 1 段厚度为 363~482 m,石灰岩、泥灰岩、白云岩和砂质页岩为主。第 2 段厚度为 43~235 m,以白云岩为主,表层有角砾岩的分布。形成的土壤以石灰土为主,主要有黄壤,棕色石灰土,土壤土层薄,pH 为 6.2~7.3。年平均气温 15.1°C ,年平均日照时间 1 165 h,无霜期 301 天,年平均降水量 1 335 mm,主要集中在 5—9 月,而研究区土层极薄,厚处仅 40 cm。据熊康宁等^[16]不同石漠化等级的划分标准,研究区主要为轻度石漠化区。

2 材料与方法

2.1 降雨监测

应用雨量计 SM-1 进行降雨量实地测定和气象站测定数据校核。按照气象学雨量划分方法^[17],降雨类型分为:小雨($P<10\text{ mm}$)、中雨($10\text{ mm}<P<25\text{ mm}$)、大雨($25\text{ mm}<P<50\text{ mm}$)、暴雨($50\text{ mm}<P<100\text{ mm}$)和大暴雨($P\geq 100\text{ mm}$)5 个等级。本文数据采集时段为 2016 年 6 月 26 日至 8 月 28 日雨季期间次降雨参数数据[降雨量(P)和 30 min 最大降雨强度(I_{30})],监测期径流小区共产流 15 次。次降雨总量为 491.9 mm,小雨 2 场,中雨 7 场,大雨 3 场,暴雨 2 场,大暴雨 1 场;7 月份小雨 2 场,中雨 5 场;8 月份中雨 2 场,大雨 3 场,暴雨 2 场,大暴雨 1 场。

2.2 径流小区野外定位观测法

贵州省坡耕地以坡地为主,梯田比重小,其中 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 和 25° 以上的坡地面积分别占所在坡度范围坡耕地总面积的 80.92% 和 87.82%^[4]。为此本文选择研究的坡耕地是针对坡度为 15° 以上的坡地,土地贫瘠,跑水跑肥严重。试验区普定县龙场乡大桥村的无籽刺梨种植坡耕地,同一坡面同坡段分布有黄壤和棕色石灰土。本试验共布设了 6 个径流小区(表 1),采用 $2\text{ m}\times 5\text{ m}$ 规格(研究区坡耕地破碎,横坡土埂不规则,因土埂的阻隔,纵坡地块坡长小于 10 m,无籽刺梨为灌木, $2\text{ m}\times 5\text{ m}$ 规格径流小区已满足监测

产流产沙值的需求)。1 号和 4 号为对照小区,为“自然恢复地径流小区”,本文研究对象为坡耕地中的坡地,本小区设置可定量分析比较坡耕地自然撂荒或生态退耕与应用无籽刺梨进行生态修复之间产流产沙的差异。2 号和 5 号小区为无籽刺梨+自然荒草地,形成灌草混种模式,自然荒草地为自然生长植被,适生性强且可增强生态系统的稳定性,经实地调查,目前无籽刺梨主要种植水热条件较好的耕地上,为避免

其他草本植物抢肥,主要采用无籽刺梨单种模式,农户常使用除草剂清除地表草本植物,笔者对此并不认同,尤其是坡地上,采用无籽刺梨单种模式会使大面积土壤表层裸露,从而降低了地表的抗蚀能力,笔者采用无籽刺梨+自然荒草地试图从产流产沙监测水土保持视角诠释套种模式的生态功能;3 号和 6 号为无籽刺梨单种模式,与自然恢复地和无籽刺梨+自然荒草地进行对比,探讨无籽刺梨水土保持生态功能。

表 1 普定县龙场乡大桥村样点概况

小区编号	土壤类型	坡长/m	宽/m	坡度/(°)	类型	基岩	植被
1 号	棕色石灰土	5	2	15	自然恢复地	石灰岩	野生草本植物
2 号	棕色石灰土	5	2	15	无籽刺梨+自然荒草地	石灰岩	无籽刺梨+草本混种
3 号	棕色石灰土	5	2	15	无籽刺梨地	石灰岩	无籽刺梨
4 号	黄壤	5	2	25	自然恢复地	石灰岩	野生草本植物
5 号	黄壤	5	2	25	无籽刺梨+自然荒草地	石灰岩	无籽刺梨+草本混种
6 号	黄壤	5	2	25	无籽刺梨地	石灰岩	无籽刺梨

注:径流小区无籽刺梨种植年限均为 3 年,本文布设径流小区植被盖度均在 60%~70%,因此未考虑小区盖度影响因素。

坡面降雨土壤侵蚀采用径流小区法测定产流产沙量。次降雨结束后 6 h 内,采用水尺观测集流池水位,再换算为总产流量;产沙量采用取样测试法,用 1 000 mL 广口瓶将径流池中的水和泥沙搅拌均匀,并采集水样 1 000 mL^[18],带回实验室放置 24 h,待泥沙完全沉淀后倒掉上层液,将剩余泥沙样倒入铝盒内,放入 105 ℃烘箱中烘干 24 h 后用天平(精度 0.001 g)称重,再次放入烘箱烘干后再称重,直到泥沙质量恒定后记录数据,并计算径流量。推算集流池中的泥沙总量,计算公式为:

$$H=\frac{W}{10^3S}$$

(1)

$$M=\frac{M_s}{S}$$

(2)

式中: H 为坡面径流深(mm); W 为坡面产流总量(m^3); S 为径流小区面积(km^2); M 为产沙量(t/km^2); M_s 为

产沙总量(t)。

运用 SPSS 24.0 软件统计分析径流小区次降雨量(P)、最大 30 min 雨强(I_{30})、径流深、产沙量等指标,指标间进行相关性和显著性分析,径流小区间进行不同尺度的对比分析。

3 结果与分析

3.1 坡耕地坡面产流对侵蚀性降雨的响应

通过对样地产流量与降雨参数(P 、 I_{30})相关性进行分析,结果(表 2)表明,径流量与降雨参数呈极显著正相关($p<0.01$)。从坡度看,径流量与次降雨参数相关系数均表现为高度相关,相关系数最高值为 0.984,最低值为 0.872,相关程度为坡度 $15^\circ>$ 坡度 25° ;从植被种植模式上看,坡度 15° 时径流量与降雨量相关系数排序为无籽刺梨+自然荒草地 $>$ 无籽刺梨 $>$ 自然恢复地。

表 2 产流产沙与次降雨参数相关性

植被	降雨参数	相关系数(径流深)		相关系数(产沙量)	
		坡度 15°	坡度 25°	坡度 15°	坡度 25°
无籽刺梨+自然荒草地	P	0.984**	0.945**	0.961**	0.956**
	I_{30}	0.927**	0.872**	0.906**	0.891**
无籽刺梨地	P	0.981**	0.964**	0.960**	0.936**
	I_{30}	0.925**	0.900**	0.910**	0.862**
自然恢复地	P	0.973**	0.969**	0.385	0.963**
	I_{30}	0.911**	0.911**	0.345	0.901**

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

本文以降雨量大小及雨型进行排序,1,2 场为小雨,3~9 场为中雨,10~12 场为大雨,13,14 场为暴雨,15 场为大暴雨。由图 1 可知,总体上看,在相同降雨量和降雨强度下,径流深表现为自然恢复地 $>$ 无籽刺梨地 $>$ 无籽刺梨+自然荒草地;从不同雨型来

看,无籽刺梨地和无籽刺梨+自然荒草地模式在小雨型、中雨型差异不明显,而在大雨型、暴雨型和大暴雨型条件下各径流小区差异较明显,无籽刺梨+自然荒草地径流深显著低于无籽刺梨地和自然恢复地,产流量呈现最小,治理效果最好。

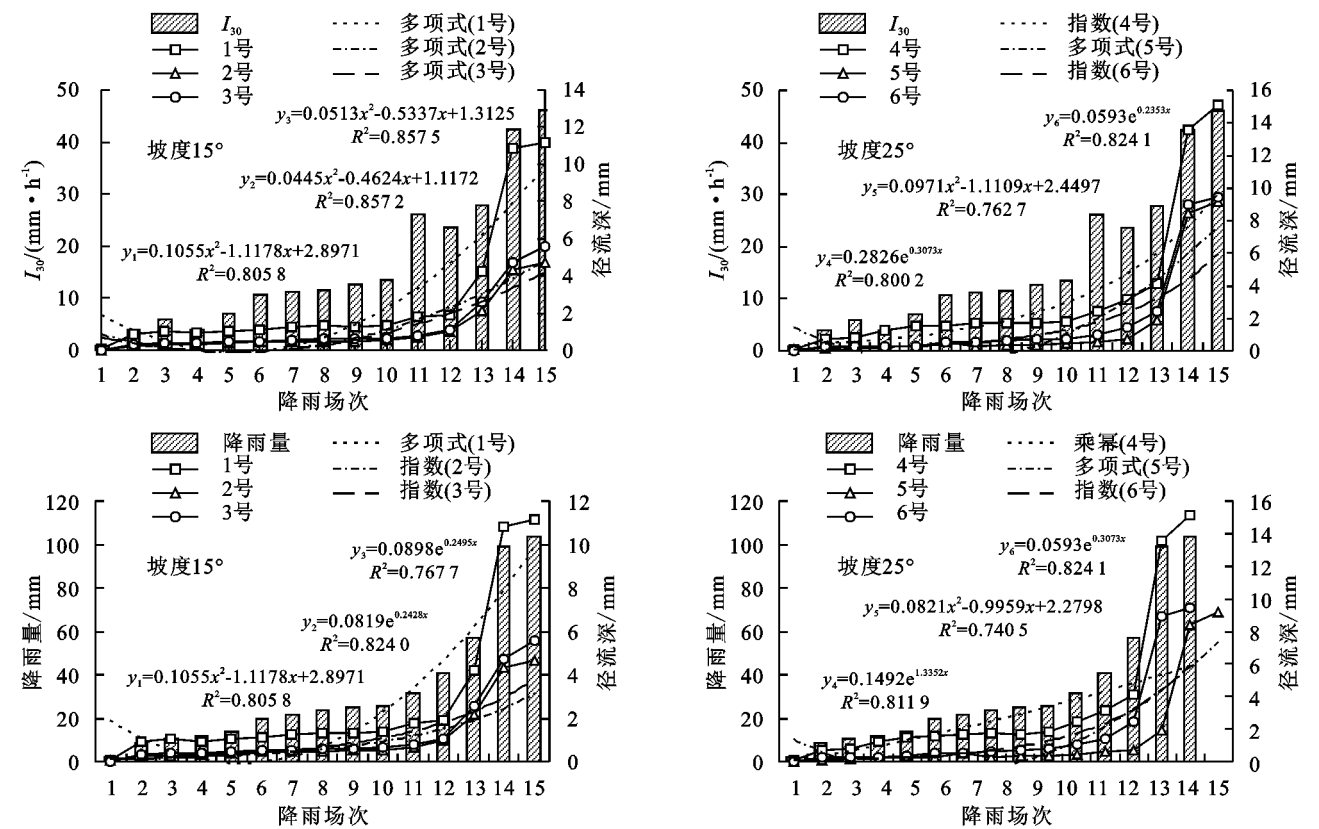


图1 坡面径流对坡面降雨侵蚀的响应

通过曲线拟合发现,径流深与降雨参数、 I_{30} 之间存在多项式、幕函数和指数正相关,坡度为15°时,呈多项式和幕函数关系;而坡度为25°时,呈指数和多项式相关。

3.2 坡耕地坡面产沙对侵蚀性降雨的响应

对径流小区产沙量与降雨参数(P 、 I_{30})相关性进行分析,结果(表2)显示,产沙量与 P 呈正相关,相关系数介于0.385~0.963;产沙量与 I_{30} 也呈正相关,相关系数介于0.345~0.910。从坡度看,产沙量与次降雨参数相关系数为显著相关,相关系数最高值为0.963,最低值为0.345,无籽刺梨+自然荒草地和无籽刺梨地相关程度为坡度15°>坡度25°;自然恢复地在坡度15°时相关性不强,坡度25°时表现为极显著相关,相关系数最大为0.963。

对各径流小区产沙量和降雨参数之间的关系进行曲线拟合(图2)发现,产沙量与 P 、 I_{30} 呈指数、幂函数和多项式相关性。

3.3 无籽刺梨不同配套种植模式对坡面产流产沙的治理作用

3.3.1 无籽刺梨不同配套种植模式减流作用 由表3可知,无籽刺梨+自然荒草地和无籽刺梨单种模式在同坡度和不同坡度下的减流作用均具有差异性。相同坡度无籽刺梨不同配套种植模式较自然恢复地减流效果明显,表现为无籽刺梨+自然荒草地>无籽刺梨地。小雨、中雨之间减流作用最好,随降雨量由大雨转变成暴雨时,其减流效果又逐渐减弱,由暴

雨转大暴雨时,减流作用又有所增加。从坡度来看,中雨、大雨条件下坡度25°减流作用较坡度15°明显,较自然恢复地,坡度15°时,无籽刺梨+自然荒草地、无籽刺梨地小雨条件下分别平均减流59.08%和64.65%;中雨条件下分别平均减流65.23%和57.11%;大雨条件下分别平均减流56.96%和50.83%;暴雨条件下分别平均减流54.87%和47.79%;坡度25°时,无籽刺梨+草地、无籽刺梨地小雨条件下分别平均减流53.11%和73.39%;中雨条件下分别平均减流76.09%和67.21%;大雨条件下分别平均减流76.72%和57.31%;暴雨条件下分别平均减流46.12%和37.76%。

3.3.2 无籽刺梨不同配套种植模式减沙作用 由表3可知,无籽刺梨不同配套种植模式减沙效果明显,总体上来看,以无籽刺梨+自然荒草地减沙效果最为理想。相同坡度减沙效果顺序为无籽刺梨+自然荒草地>无籽刺梨。不同坡度减沙的作用并不是随降雨量的增大呈直线上升趋势,有一定波动。小雨、中雨之间减沙作用最好,中雨至大雨之后减沙效果波动较大,呈先减后升再减的趋势。从坡度来看,无籽刺梨不同配套种植模式对坡耕地坡度25°减沙作用优于坡度15°,小雨、中雨时减沙作用稳定。较自然恢复地,坡度15°时,无籽刺梨+自然荒草地、无籽刺梨地小雨条件下分别平均减沙87.32%和83.21%;中雨条件下分别平均减沙71.64%和69.13%;大雨条件下分别平均减沙51.10%和52.80%;暴雨条件下分别

平均减沙 74.69% 和 67.30%。坡度 25° 时,在小雨条件下无籽刺梨+自然荒草地、无籽刺梨地分别较自然恢复地平均减沙 85.40% 和 81.18%;中雨条件下分别

较自然恢复地平均减沙 86.87% 和 81.49%;大雨条件下分别平均减沙 71.55% 和 66.47%;暴雨条件下分别平均减沙 73.99% 和 64.11%。

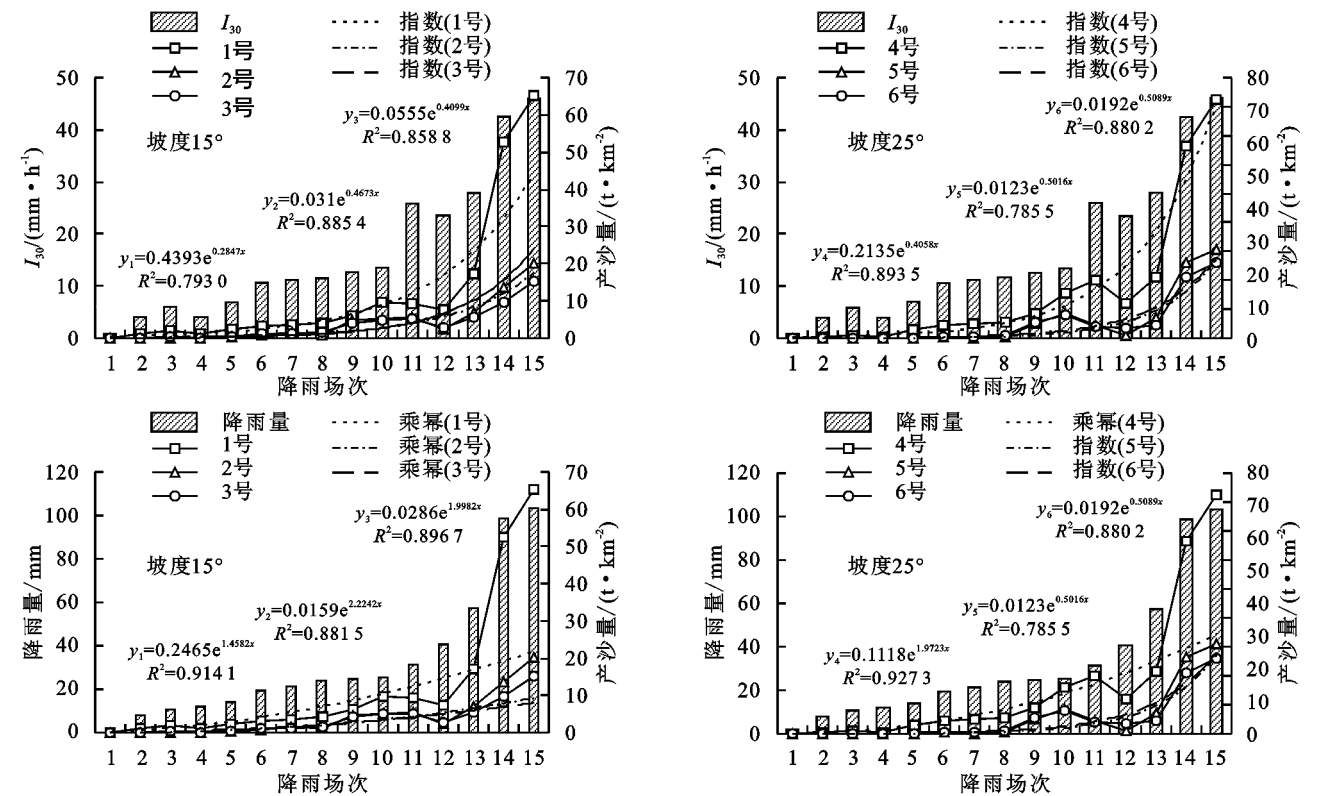


图 2 无籽刺梨不同种植模式与对照小区产沙关系
表 3 野外观测无籽刺梨不同种植模式减流减沙作用

雨型	降雨量/ mm	减流作用/%						减沙作用/%					
		坡度 15°			坡度 25°			坡度 15°			坡度 25°		
		无籽刺梨+ 自然荒草地	无籽刺梨	自然 恢复地	无籽刺梨+ 自然荒草地	无籽刺梨	自然 恢复地	无籽刺梨+ 自然荒草地	无籽刺梨	自然 恢复地	无籽刺梨+ 自然荒草地	无籽刺梨	自然 恢复地
小雨	1.9	46.05	63.28	/	33.33	83.27	/	83.67	80.67	/	76.47	72.55	/
	8.3	72.12	66.02	/	72.89	63.52	/	90.96	85.76	/	94.32	89.82	/
	10.8	71.23	60.23	/	66.21	61.69	/	92.81	80.11	/	91.55	88.03	/
	12.1	65.94	56.11	/	80.14	77.10	/	90.23	87.27	/	94.23	93.10	/
	13.7	65.17	57.62	/	81.67	78.95	/	89.38	82.76	/	96.47	92.47	/
中雨	19.4	61.24	55.93	/	66.87	64.22	/	76.00	66.12	/	91.37	84.12	/
	21.5	62.87	55.36	/	83.57	66.62	/	54.97	70.56	/	96.76	87.78	/
	23.9	68.99	60.77	/	77.43	64.75	/	75.78	64.01	/	94.39	85.41	/
	24.8	61.17	53.77	/	76.73	57.17	/	22.30	33.11	/	43.28	39.51	/
	25.4	60.06	53.34	/	76.67	58.73	/	45.85	48.05	/	46.23	48.53	/
大雨	31.5	62.69	54.70	/	76.51	57.43	/	39.95	45.98	/	78.42	80.38	/
	40.7	48.12	44.46	/	76.97	55.77	/	67.51	64.38	/	90.01	70.52	/
暴雨	57.3	49.38	39.21	/	54.28	41.37	/	67.65	60.27	/	79.62	67.73	/
	99.0	60.36	56.38	/	37.97	34.15	/	81.73	74.33	/	68.35	60.49	/
大暴雨	103.5	57.94	49.99	/	39.18	37.46	/	76.60	69.11	/	68.25	62.52	/

注:/表示对照小区不计算减沙作用。

4 讨论

坡耕地坡面产流产沙与降雨量、降雨强度 I_{30} 相关系数呈显著相关。反映出该区降雨量和最大 30

min 雨强是坡面径流形成的主导因素,与前人^[19-20]研究结果相一致。坡耕地产流产沙随降雨量、降雨强度的增大而增大,但并未呈现直线上升,有一定的波动,

尤其是暴雨和大暴雨的影响极大,大暴雨产流产沙量最大,这与前人^[9,21]研究相一致。由表 4 可知,研究区监测期大雨、暴雨和大暴雨虽不多但侵蚀力极强,尤其是后 2 种雨型。在暴雨、大暴雨条件下自然恢复地、无籽刺梨+自然荒草地和无籽刺梨地平均径流深

分别占其总平均径流深的 63.13%,70.96%,74.92%,平均产沙量分别占其总平均产沙量的 70.27%,69.75%,65.96%。由此可见,黔中山区坡耕地水土保持工作必须重点关注大雨、暴雨和大暴雨这 3 种雨型的侵蚀,尤其是后 2 种雨型。

表 4 径流小区平均产流产沙

雨型	降雨量/ mm	I_{30} / mm	平均径流深/mm			平均产沙量/(t·km ⁻²)		
			自然 恢复地	无籽 刺梨地	无籽刺梨+ 自然荒草地	自然 恢复地	无籽 刺梨地	无籽刺梨+ 自然荒草地
小雨	1.9	0.8	0.09	0.02	0.05	0.15	0.03	0.03
	8.3	4.0	0.81	0.29	0.22	0.98	0.13	0.08
	10.8	6.0	0.91	0.36	0.28	1.32	0.23	0.10
	12.1	4.0	1.10	0.35	0.28	0.92	0.10	0.08
	13.7	7.0	1.27	0.38	0.32	2.85	0.33	0.19
中雨	19.4	10.6	1.34	0.53	0.48	3.87	0.91	0.59
	21.5	11.2	1.46	0.56	0.37	4.15	0.81	0.86
	23.9	11.6	1.64	0.61	0.44	4.75	1.13	0.65
	24.8	12.6	1.48	0.66	0.44	7.48	4.72	4.89
	25.4	13.5	1.60	0.70	0.49	12.66	6.54	6.83
大雨	31.5	26.0	2.11	0.92	0.62	14.61	4.47	4.94
	40.7	23.6	2.53	1.23	0.86	9.75	3.11	1.83
暴雨	57.3	27.9	4.18	2.49	2.01	19.32	6.88	4.97
	99.0	42.5	12.21	6.84	6.36	59.61	19.91	15.34
大暴雨	103.5	46.0	13.13	7.51	6.94	73.76	25.49	20.70

研究区在减流减沙作用中坡度 25°较坡度 15°效果明显,其原因可能与土壤和植被相关。坡度 15°的 1,2,3 号径流小区土壤为棕色石灰土,含砂量高,土粒较粗,土壤表层孔隙度较大,未形成明显的结皮现象,当降雨时,降水随着土壤孔隙很快入渗,所以相对于 4,5,6 号小区来说,土壤限制条件差异不太明显;而坡度 25°的 4,5,6 号径流小区土壤为黄壤,土壤较黏重性,土粒细,土壤孔隙度较小,当降雨时,尤其是暴雨、大暴雨,降水还未及时下渗就形成了径流量,通过在暴雨、大暴雨后小区降雨渗入深度检查,4 号径流小区雨水下渗深度小于 20 cm,主要原因:一方面,黄壤黏重,孔隙度小,降雨难以下渗;另一方面,自然恢复地植被为草本,其根系主要在 0—20 cm 深度范围内,限制了根系对雨水的引流,因此产流产沙量最大;5,6 号小区下渗深度可达母质层或岩层,深达 40 cm,这与无籽刺梨发达的根系相关,无籽刺梨为浅根植物,根系主要分布在 0—40 cm 的土层中,根系改变了黄壤的通透性,当降雨时,雨水随着根系伸展的方向入渗,因而无籽刺梨种植小区蓄水保水较好,与 4 号小区对比具有明显差异。

相同降雨量、降雨强度下无籽刺梨种植模式减流减沙效果优于自然恢复地。无籽刺梨+自然荒草地

的减流减沙效果最优,主要原因是:(1)无籽刺梨是根系发达的浅根植物,根系生长旺盛,主要盘踞在土壤表层 0—40 cm 深度范围内,根系有较强的蓄水和抗旱能力,另其落叶停留在地表能形成丰富的腐殖质,从而增加土壤的抗侵蚀能力。同时其根系分泌物可改善土壤的理化性质,能促进土壤酶的活力,从而改善土壤的质量^[13-14],提升抗蚀能力。(2)随着种植年限的增加,无籽刺梨的土壤培肥作用不断增强,土壤质量综合指数也会逐渐提高^[14]。本文选择的均为 3 年生树,树冠已伸展开,根系已发育壮大,已具有蓄水保肥的能力。(3)经济林+草地的措施可有效缓解缺水问题^[12],同时有利于增强土壤结构稳定性和减少水土流失^[15],自然荒草地侵蚀产沙量极少,起着重要的固沙作用^[22]。无籽刺梨+自然荒草地种植模式可进一步提高土壤表层植被的盖度。无籽刺梨为多年生落叶灌木,枝叶生长旺盛,虽非阔叶林树种,小叶更适应区域缺水干旱的自然环境,当降雨时,其树冠茂盛的枝叶起到了截流的作用,减缓了雨滴对地表的侵蚀力;而自然荒草地可再一次减缓从树冠滴落雨水的侵蚀,因此“灌草”模式形成了立体空间的截流屏障,有效减缓了对土壤的侵蚀。无籽刺梨单作模式较与自然荒草地配套种植产流产沙高是因为人为剔除土

壤表层植被,土壤表层失去了草地的截流屏障,降雨从无籽刺梨树叶直接打在土壤上,加重了土壤的溅蚀,从而加大了水土流失^[23]。可见,无籽刺梨+草地配套种植模式优于单作模式。自然恢复地蓄水保水弱于无籽刺梨原因:自然恢复地植被主要是草本。从地表空间上看,无较高植物对降雨进行截流;从地表以下看,其根系没有无籽刺梨发达且根径较细,多数植被根系伸展范围均在 0—15 cm 以内,对 20 cm 深度以下土壤影响能力较弱,草被虽具有蓄水保肥能力,但在治理水土流失上远不及灌木无籽刺梨。

研究表明,无籽刺梨在黔中喀斯特区坡耕地上种植具有很好的水土保持效果,据其生态适生性可在贵州省坡耕地、石漠化区域进行广泛种植。已有研究^[9]证实,坡改梯可有效减少产沙量,鉴于贵州省坡耕地面积较大,涉及面广,有条件的区域可实施坡改梯进行无籽刺梨的种植,能进一步减少水土流失。目前无籽刺梨作为区域特色农产业,已形成了成熟的产业加工链条,仅安顺市就拥有 12 家无籽刺梨深加工企业,已形成了规模化生产,无籽刺梨的种植具有广阔的前景。本研究中无籽刺梨均已生长 3 年,在无籽刺梨幼苗期(1~2 年),因其树冠冠幅和树高还未形成明显的顶端优势,在这期间适合无籽刺梨单作模式,以提升植株对养分的摄入。3 年以上植株形成了明显的顶端优势,可实施无籽刺梨+自然荒草地种植模式,定期修剪过高的草本植物,形成良好的土地生态系统,以实现坡耕地的生态和经济的最大综合利用效益。本文采用的是自然荒草地,在具体实施时也可改用人工草地配套种植,草地不仅蓄水保肥效果好,而且还可为畜牧业提供饲料^[24]。贵州省属生态脆弱区,山地地形复杂,土层据岩溶山地微地貌微地形具有差异性^[5],在生态修复中可据山地立体空间特征,选用山地石生性强的桃树、梅树、李树等与无籽刺梨配套种植,构建“乔灌草”种植模式,加强土地生态系统的稳定性,实现山地坡耕地生态、社会、经济协同发展^[25]。

5 结论

(1)降雨量和降雨强度是研究区域坡耕地坡面径流和产沙形成的主导因素之一。进行曲线拟合发现,径流深、产沙量与降雨参数(P 、 I_{30})高度正相关($p < 0.01$),径流深、产沙量和降雨参呈指数、幂函数、多项式的相关性。

(2)无籽刺梨种植地减流减沙特征:小雨、中雨之间减流作用最好,大雨、暴雨、大暴雨 3 种雨型土壤侵蚀最为严重,尤其是后 2 种雨型,侵蚀力极强,必须重点关注。

(3)无籽刺梨不同配套种植模式在不同坡度条件下坡面减流减沙具有差异,减流减沙效果坡度 25°优于坡度 15°,减沙效果优于减流效果,且不同雨型条件下呈现明显差异。总体上看,无籽刺梨+自然荒草地减流减沙效果最优。坡度 15°度时较自然恢复地,无籽刺梨+自然荒草地在小雨、中雨、大雨、暴雨 4 种雨型下分别平均减流 59.08%,65.23%,56.96%,54.87%,分别平均减沙 87.32%,71.64%,51.10%,74.69%;坡度 25°度时较自然恢复地,无籽刺梨地+自然荒草地在小雨、中雨、大雨、暴雨 4 种雨型下分别平均减流 53.11%,76.09%,76.72%,46.12%,分别平均减沙 85.40%,86.87%,71.55%,73.99%。

(4)研究区无籽刺梨对各种雨型均有很好的水土保持治理效果,可作为贵州省喀斯特山区石漠化区域生态修复的极优经济选种。

参考文献:

- [1] 张兴奇,顾礼彬,张科利,等.坡度对黔西北地区坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):18-22,72.
- [2] 罗旭玲,王世杰,白晓永,等.西南喀斯特地区石漠化时空演变过程分析[J].生态学报,2021,41(2):680-693.
- [3] 甘艺贤,戴全厚,伏文兵,等.基于模拟降雨试验的喀斯特坡耕地土壤侵蚀特征[J].应用生态学报,2016,27(9):2754-2760.
- [4] 谢俊奇,唐程杰,李宪文,等.中国坡耕地[M].北京:中国大地出版社,2005.
- [5] 殷清慧,谢世友,蔡先立.喀斯特石漠化皆伐迹地不同微地形和小生境下的土壤侵蚀差异[J].水土保持通报,2019,39(4):44-47,53.
- [6] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-888.
- [7] Tong X W, Wang K L, Yue Y M. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the karst regions of Southwest China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017, 54: 105-113.
- [8] Qi X K, Wang K L, Zhang C H. Effectiveness of ecological restoration projects in a karst region of southwest China assessed using vegetation succession mapping [J]. Ecological Engineering, 2013, 54: 245-253.
- [9] 黄凯,李瑞,李勇,等.贵州省黔南区不同侵蚀性雨型条件下生物措施对坡面产流产沙的响应[J].水土保持学报,2020,34(6):14-21.
- [10] 蒋荣,张兴奇,张科利,等.喀斯特地区不同林草植被的减流减沙作用[J].水土保持通报,2013,33(1):18-22.
- [11] 袁江,李瑞,舒栋才,等.基于 SWAT 模型的喀斯特流域产流特征对石漠化治理措施的响应[J].水土保持学报,2021,35(6):151-160.

关系[J].水土保持通报,2001,21(4):25-29.

[9] 马璠.作物植被对坡耕地土壤侵蚀的影响研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009.

[10] 马波.大豆对坡面土壤侵蚀的影响研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2008.

[11] 唐寅.紫色丘陵区坡耕地土壤侵蚀特征及植被覆盖与管理因子研究[D].重庆:西南大学,2012.

[12] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等.植物根系与土壤抗冲性[J].水土保持学报,1993,7(3):11-18.

[13] 农淦.黄土小麦根系对坡地土壤防蚀作用研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.

[14] 杨晓芬.坡耕地玉米作物根系对土壤侵蚀的影响研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[15] 朱显谟,田积莹.强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J].水土保持学报,1993,7(3):1-10.

[16] Gyssels G, Poesen J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003,28(4):371-384.

[17] 肖继兵,孙占祥,蒋春光,等.辽西地区农耕坡地土壤侵蚀影响因素及相关关系[J].水土保持学报,2015,29(5):13-19.

[18] Wischmeier W H. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning [J]. Agriculture Handbook,1978,537:17-18.

[19] 王夏,胡新,孙忠富,等.不同播期和播量对小麦群体性状和产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(21):170-176.

[20] 张宝琦.生物结皮覆盖对坡面产流产沙过程的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2021.

[21] 吴蕾,穆兴民,高鹏,等.黄土高原地区植被盖度对产流产沙的影响[J].水土保持研究,2019,26(6):133-138,144.

[22] 郑海金.赣北红壤坡面水土保持措施保水减沙作用研究[D].北京:北京林业大学,2012.

[23] 肖继兵,孙占祥,刘志,等.降雨侵蚀因子和植被类型及覆盖度对坡耕地土壤侵蚀的影响[J].农业工程学报,2017,33(22):159-166.

(上接第 96 页)

[12] 王克林,岳跃民,陈洪松,等.喀斯特石漠化综合治理及其区域恢复效应[J].生态学报,2019,39(20):7432-7440.

[13] 杨皓,范明毅,李婕羚,等.喀斯特山区无籽刺梨种植基地土壤酶活性与肥力因子的关系[J].山地学报,2016,34(1):28-37.

[14] 杨皓,李婕羚,范明毅,等.贵州无籽刺梨基地土壤及树体特征对种植年限的响应[J].土壤通报,2016,47(4):797-804.

[15] 陈静,陈海,朱大运,等.石漠化地区林草复合治理对土壤团聚体稳定性和可蚀性的影响[J].水土保持研究,2020,27(4):1-7.

[16] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.

[17] 盘礼东,李瑞,黎庆贵,等.黔西喀斯特区秸秆覆盖对坡耕地产流产沙特征的响应[J].水土保持学报,2021,35(1):9-16.

[18] 纪启芳,张兴奇,张科利,等.贵州省喀斯特地区坡面产流产沙特征[J].水土保持研究,2012,19(4):1-5.

[19] Zhang Q, Zhao L S, Wang J Y, et al.Spatiotemporal variability and simulation of tillaged loess microtopography in water erosion [J].Journal of Soil and Water Conservation,2014,69(4):343-351.

[20] 杜波,唐丽霞,潘佑静,等.喀斯特小流域坡面与流域降雨产流产沙特征[J].水土保持研究,2017,24(1):1-6.

[21] 王涵,刘琦,任标,等.典型喀斯特石漠化地区降雨产流产沙特征[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(3):6-12.

[22] 温永福,高鹏,穆兴民,等.野外模拟降雨条件下径流小区产流产沙试验研究[J].水土保持研究,2018,25(1):23-29.

[23] 曹媛,孙鹏,姚蕊,等.不同雨强条件下工程措施对坡地产流产沙影响[J].水土保持学报,2020,34(6):1-7.

[24] 孙泉忠,刘瑞禄,陈菊艳,等.贵州省石漠化综合治理人工种草对土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):67-72,77.

[25] 张琳卿,覃莉,刘忠仙,等.黔中喀斯特地区坡面种植措施对土壤水分及产流产沙的影响[J].水土保持通报,2021,41(3):15-21,30.