

模拟降雨试验在云南坡耕地治理中的应用

文朝菊 (云南省水文水资源局, 云南昆明 650106)

摘要 引进了具有经济性、便捷性、可操作性、重现性等优点的模拟降雨试验系统, 在云南省坡耕地水土流失综合治理水土保持监测中进行实践和运用, 研究坡耕地土壤产汇流规律和侵蚀规律。根据人工模拟降雨试验产汇流情况, 统计张毕山、吉科等5个小流域坡地试验小区和坡改梯后梯地试验小区共59场次模拟降雨试验数据, 分析坡改梯水土流失综合治理效果。结果表明, 坡改梯后梯地土壤发挥了拦蓄雨量作用, 强化了降雨入渗, 提高了土壤含水量, 降低了暴雨地表径流形成, 土壤流失量和侵蚀强度得到了明显的缓减, 蓄水保土效果较为显著。

关键词 坡耕地治理; 模拟降雨试验; 径流小区; 水土流失; 土壤侵蚀; 云南省

中图分类号 S157 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)11-0055-05

Application of Simulated Rainfall Experiment in Yunnan Slope Farmland Management

WEN Chao-ju (Bureau of Hydrology and Water Resources in Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650106)

Abstract A simulated rainfall experiment system was introduced, which was economical, convenient, feasible and reproducible, and it was practiced and applied in soil and water conservation monitoring in Yunnan Province, law of runoff yield and concentration of slope farmland was studied. According to the artificial simulation of rainfall runoff, the statistical simulation data of rainfall experiment terrace and slope residential district a total of 59 performances of small watershed slope terracing after experiment, the effect of comprehensive treatment of soil and water loss was analyzed. The results showed the soil slope to terrace ridge after the ladder played a role of rainfall interception, strengthened rainfall infiltration, improved soil moisture, reduced surface runoff formation. Soil loss and erosion intensity were significantly reduced, and the effect of water storage and soil conservation was significant.

Key words Slope farmland management; Simulated rainfall experiment; Runoff plots; Soil and water loss; Soil erosion; Yunnan Province

坡耕地既是我国山区群众赖以生存的基本生产生活用地, 又是水土流失的重点区域。由于坡耕地粗放的生产方式、陡坡开荒等, 导致坡耕地水土流失不断加剧, 造成土地退化、土壤肥力下降、生态环境恶化等。同时, 坡耕地严重的水土流失, 不仅制约了当地人民群众生活水平的提高和经济社会的发展, 还严重影响国家耕地和粮食安全、下游江河湖库安全, 加剧了洪涝灾害。

云南省是一个集边疆、山区、贫困和民族聚集于一体的省份, 也是我国水土流失较严重的省份之一^[1-4]。据2008年云南省国土资源厅公布的土地利用现状成果, 云南省耕地面积607.21万hm², 其中坡耕地面积348.45万hm², 占全省耕地面积的57.39%^[5]。2010年全省水土流失面积13.4万km², 占全省总面积的35.00%; 年流失土壤5亿多t, 是全国年流失土壤总量的10%^[6]。在全省73个国家扶贫攻坚县中, 有60个属于水土流失严重县, 同时也是坡耕地分布最为广泛和少数民族聚居的地区。实施坡耕地水土流失综合治理, 有利于遏制水土流失, 对于云南省生态文明建设, 促进社会和谐, 改善生产条件, 保障粮食安全、生态安全、边疆安全, 实现全面建设小康社会目标意义重大^[7]。鉴于此, 为改变水土流失严重的偏僻地区群众生活方式落后、生产力水平低下的状况, 自2010年以来, 云南省在云县、红河、文山、昌宁、洱源、东川、宣威、水富、双柏、西盟等县(市、区)开展了12个小流域坡耕地水土流失综合治理试点工程, 并同步开展水土保持监测与评价工作。笔者在云南坡耕地治理中模拟降雨试验, 研究坡耕地土壤产汇流规律和侵蚀现象, 旨在为提高该

地区的生产力水平提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验方法 坡改梯水土流失综合治理试点工程项目区土壤侵蚀状况的监测主要采用地面观测及人工模拟降雨试验方法。根据各项目区的坡度组成情况, 按坡度实际情况布设径流小区, 分别以5~8°、8~15°、15~25°的坡度, 建设3m×20m径流小区, 每个流域不少于3个。布设时不仅要考虑周围环境, 还应注意外推到其他地区的可能性; 其次要考虑到极大、极小坡度和极端降水等状况。

受试验场地环境、天气情况和风力的影响, 实际落在小区内的降雨量会不同程度地小于模拟设计降雨量。因此, 在进行模拟降雨试验时, 可能产生2种情况, 即产流或不产流。若产流, 测定模拟降雨前土壤含水率, 记录降雨过程、产流开始和结束时间、产流量, 并按5min间隔取水样测定侵蚀量, 采用加权平均法计算平均含砂量, 据此分析模拟降雨产流和土壤侵蚀状况; 若未产流, 记录降雨过程, 采用称重法测定模拟降雨前后土壤含水率, 通过土壤含水率对比分析土壤墒情变化。

1.2 试验小区的选址 试验小区的选址综合考虑了径流小区建设、场地、交通、水源、位置、仪器安装及方便看守等相关要求, 结合云南省坡耕地水土流失综合治理试点工程(2期)7个小流域的建设内容, 选择张毕山、马桑林洼、拖潭沟、吉科、罗湾5个小流域坡改梯项目区进行人工模拟降雨试验, 监测各小流域的土壤流失量和侵蚀强度, 分析研究坡耕地水土流失综合治理效果。云南省坡耕地水土流失综合治理试点工程(2期)项目区位置如图1所示。

1.3 试验径流小区建设及布局 由于野外模拟降雨试验要在前期土壤水分不饱和的状态下进行, 因此每次模拟降雨试

基金项目 云南省坡耕地水土流失综合治理工程水土保持监测与评价项目(2010y-01); 水利部公益性行业项目(201001058)。

作者简介 文朝菊(1966—), 女, 云南元谋人, 高级工程师, 从事水环境监测评价、水文水资源及水土保持监测研究。

收稿日期 2016-02-22

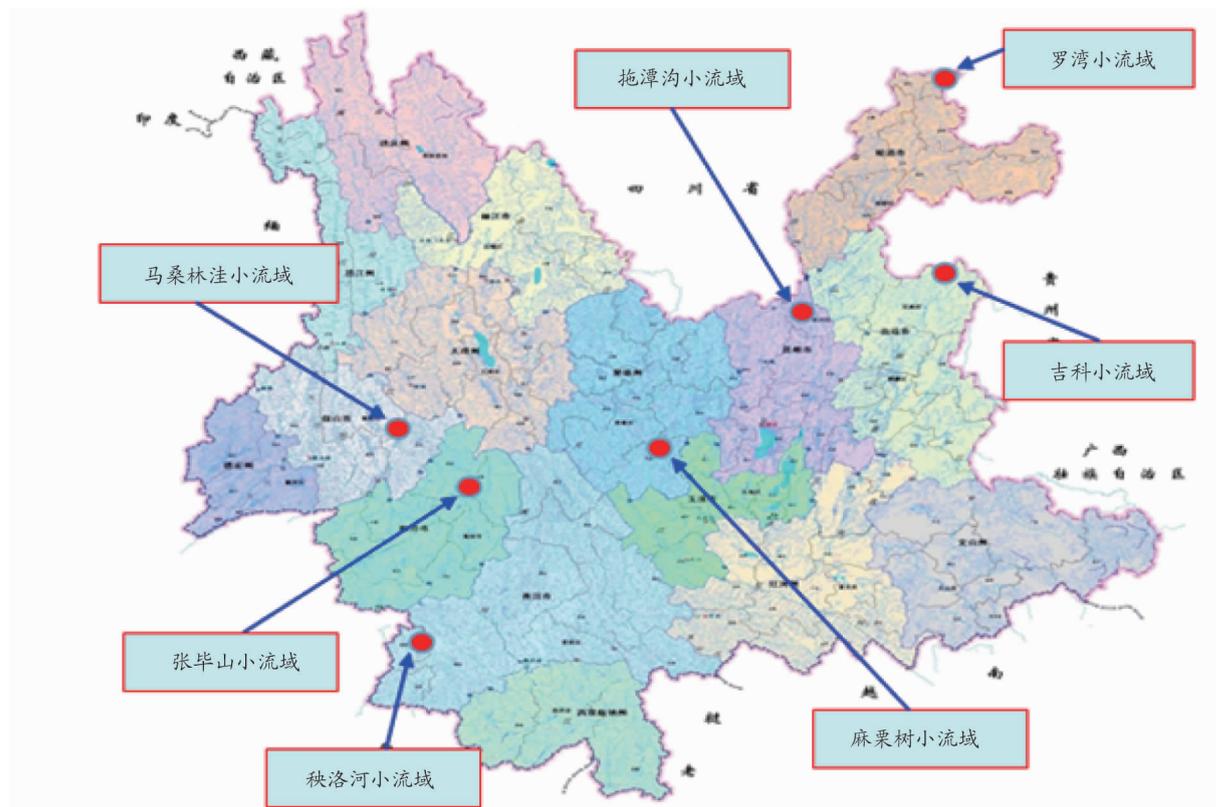


图1 云南省坡耕地治理工程(2期)7个小流域项目区位置示意

Fig.1 Location of 7 small watershed projects of slope land treatment project (2 stage) in Yunnan Province

验只能在同一径流小区进行1次降雨过程。为获取更多野外模拟降雨水土流失对比数据,根据自然坡度和土壤情况,每个项目区选择具有代表性的2个坡度(如 $5\sim 8^\circ$ 、 $8\sim 15^\circ$ 、 $15\sim 25^\circ$),每个坡度建设坡地和梯地2个对比径流小区。

径流小区建设标准采用百年一遇最大24 h降雨径流设计。径流小区的布设与等高线垂直,在项目区建设长20 m(顺坡,投影长度) \times 宽3 m(与等高线平行),投影面积 60 m^2 的径流小区。同时,径流小区坡顶应预留2.0 m放置减压水箱,底部预留1.5 m用于集水口设置,两边预留1.0 m用于输水管道布设。为节约径流小区建设成本,方便记录产流过程,径流收集采用标有容积量刻度的大塑料桶缸。

1.4 模拟降雨试验降雨频率 人工模拟降雨试验降雨频率设计是根据5个小流域坡耕地治理项目区周边水文站、雨量站实测长系列短历时资料,采用频率计算方法确定暴雨强度及降雨过程,通过雨量站1 h短历时暴雨频率计算得到最大1 h降雨频率曲线,进行同倍比放大,得出百年一遇1 h模拟降雨试验设计降雨量。

1.5 人工模拟降雨系统 采用叠加喷洒式模拟降雨控制系统进行模拟降雨试验。在总降雨覆盖面积内,将覆盖面积分为 $0.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 的24个小块,每个小块对应1个降雨器,通过相邻降雨器的任意组合,达到在不同的降雨面积上进行降雨的目的。

降雨系统采用针管式降雨形式。其降雨器的降雨量与针管上所施加的水头成正比,且为线性关系,因此,当标定出水头与降雨强度的关系曲线后,通过调整水头可以得到所需

降雨强度。对于复杂的降雨雨型模拟,也可以通过自动调整水头变化过程。由于降雨雨滴是通过针头出流孔缓慢出流聚集后在针尖处形成水滴下落而形成的,因此,各针头产生的雨滴直径基本相同,可以认为是等直径雨滴,这与天然降雨的雨滴谱不相似,但是可以认为是天然降雨的某当量直径雨滴。由于针头位置固定,因此每个雨滴下落后的打击位置也基本固定,为了消除定点打击的问题,采用机械方式使针头位置在某一范围内不断地移动或者振动,其移动的频率可以在小范围内影响雨滴直径的大小。

叠加喷洒式模拟降雨控制系统由供水系统、电磁阀、控制器和控制用PC机组成,主要结构如图2所示。

2 结果与分析

2.1 试验频次及结果统计 2011年工程实施前,开展第1次模拟降雨试验;2012年工程竣工后进行第2次模拟降雨试验;2012—2013年各项目区竣工后第1次大春收割完成后开展第3次模拟降雨试验。试验前,在各小区土层剖面10、20、30 cm处分别采集土样测定土壤含水率,取平均值作为各小区土壤平均含水率;若模拟降雨试验过程不产流,试验后加测1次土壤含水率。

在张毕山、马桑林洼、拖潭沟、吉科、罗湾5个小流域进行59场次人工模拟降雨试验,监测结果见表1~4。有41场次人工模拟降雨度试验产流,占69.5%(表1、2);有18场次人工模拟降雨试验不产流,占30.5%(表3、4)。

2.2 41场次人工模拟降雨试验产流情况 由表1、2可知,5个小流域坡改梯后均取得了不同程度的减流减蚀和保水保

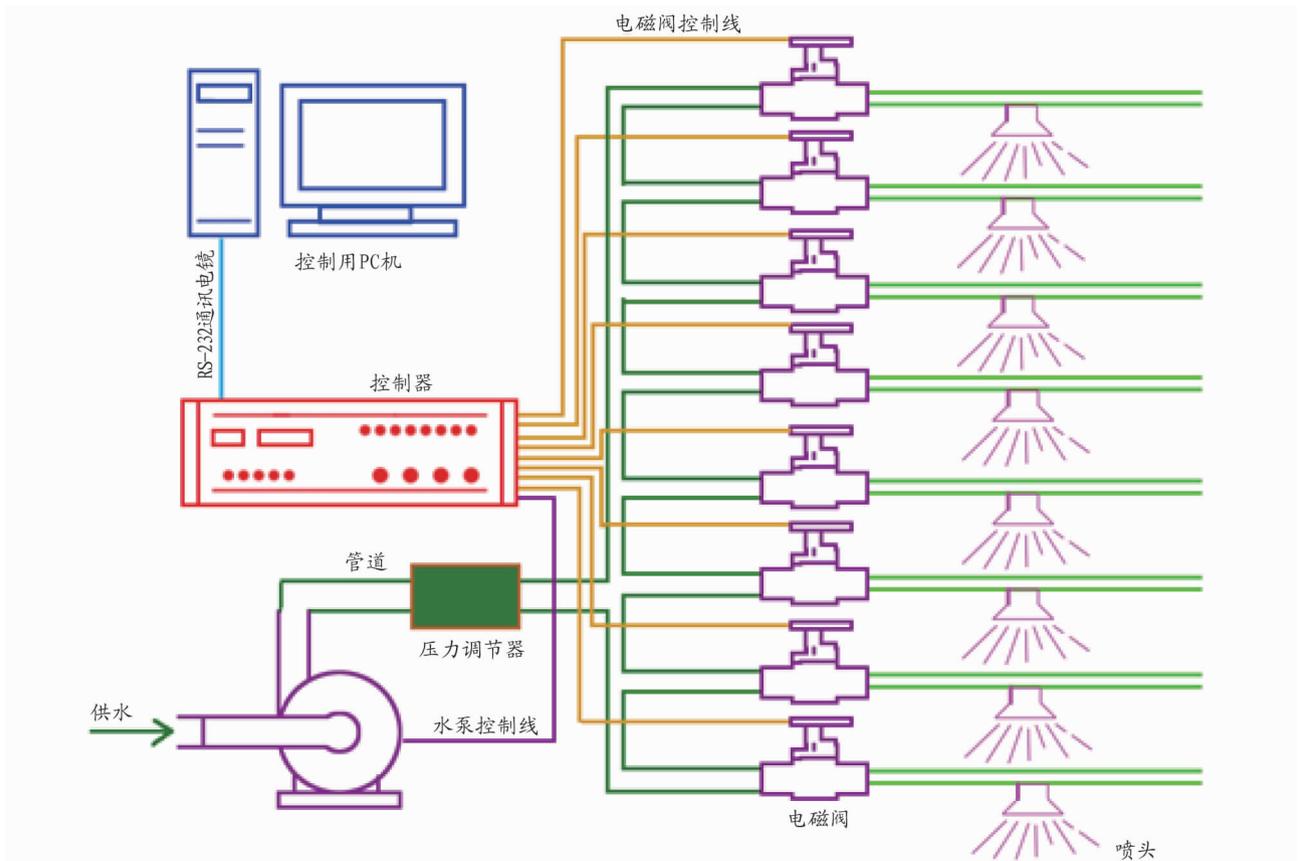


图2 叠加喷洒式模拟降雨控制系统结构

Fig.2 The simulation system of superimposed spraying simulated rainfall

土效益。从坡地小区 29 场次人工模拟降雨试验产流情况 (表 1) 来看, 试验前土壤含水率平均为 16.82%, 植被覆盖率平均为 53%, 实际平均降雨量为 57.9 mm, 平均径流系数为 0.231, 平均土壤侵蚀强度为 64.45 t/km²。从梯地小区 12 场次人工模拟降雨试验产流情况 (表 2) 来看, 试验前平均土壤含水率为 23.96%, 植被覆盖率平均为 58%, 实际平均降雨量为 54.9 mm, 平均径流系数为 0.092, 平均土壤侵蚀强度为 14.37 t/km²。总体来看, 梯地小区试验前土壤含水率和植被覆盖率比坡地小区高, 实际平均降雨量比坡地小区小, 但径流系数为坡地小区的 39.83%, 平均土壤侵蚀强度较坡地小区减小了 77.70%。

2.3 18 场次人工模拟降雨试验不产流情况 由表 3、4 可

知, 5 个小流域坡改梯后, 梯地植被截留量对土壤含水率影响较大。从坡地小区 9 场次人工模拟降雨试验不产流情况 (表 3) 来看, 试验前土壤含水率为 21.46%, 植被覆盖率为 21%, 实际平均降雨量为 51.8 mm, 试验后土壤含水率为 42.80%; 从梯地小区 9 场次人工模拟降雨试验不产流情况 (表 4) 来看, 试验前土壤含水率为 20.09%, 植被覆盖率为 42%, 实际平均降雨量为 49.4 mm, 试验后土壤含水率为 29.13%。总体来看, 梯地小区植被覆盖率是坡地小区的 2 倍, 试验前梯地小区土壤含水率和实际平均降雨量均比坡地小区略小, 但试验后土壤含水率为坡地小区的 68.06%, 这主要与梯地植被截流量的增加有关。

表 1 坡地小区 29 场次人工模拟降雨试验产流监测结果

Table 1 Runoff yield monitoring results of artificial rainfall simulation in slope plot of 29 screenings

小流域名称 Name of small watershed	序号 No.	坡度 (坡地) Slope	试验次数 Experiment times	试验时间 Experiment date	试验环境 Experimental environment			设计降雨量 Design rainfall mm	平均降雨量 Average rainfall mm	产流量 Runoff yield m ³	径流系数 Runoff coefficient	侵蚀量 Erosion amount kg	侵蚀强度 Erosion intensity t/km ²
					试验前土壤含水率 Soil moisture content before experiment %	植被覆盖率 Vegetation coverage %	天气情况 Weather condition						
张毕山 Zhangbishan	1	8.0	第 1 次	2011-01-26	21.58	0	晴, 微风	84.8	61.6	1.402	0.379	20.664	344.40
	2	8.0	第 2 次	2011-06-29	19.51	100	阴, 微风	84.8	52.2	2.145	0.685	13.436	223.93
	3	8.0	第 3 次	2011-12-22	12.16	70	晴, 微风	84.8	44.1	0.232	0.088	0.032	0.53

接下表

续表 1

小流域名称 Name of small watershed	序号 No.	坡度 (坡地) Slope °	试验次数 Experiment times	试验日期 Experiment date	试验环境 Experimental environment			设计降雨量 Design rainfall mm	平均降雨量 Average rainfall mm	产流量 Runoff yield m ³	径流系数 Runoff coefficient	侵蚀量 Erosion amount kg	侵蚀强度 Erosion intensity t/km ²
					试验前土壤含水量率 Soil moisture content before experiment %	植被盖度 Vegetation coverage %	天气情况 Weather condition						
	4	8.0	第4次	2012-09-10	9.04	100	阴,微风	84.8	59.9	0.087	0.024	0.117	1.95
	5	14.3	第2次	2011-06-30	20.45	100	阴,微风	84.8	58.5	1.513	0.431	28.741	479.02
	6	14.3	第3次	2011-12-23	11.41	70	晴,微风	84.8	60.5	0.643	0.177	0.204	3.40
	7	14.3	第4次	2012-09-10	10.59	100	阴,微风	84.8	50.9	0.009	0.003	0.005	0.08
	8	15.0	第1次	2011-01-27	16.05	0	晴,微风	84.8	61.5	0.017	0.005	0.131	2.18
	9	15.0	第2次	2011-06-30	20.65	100	阴,微风	84.8	42.4	0.629	0.247	10.396	173.27
	10	15.0	第4次	2012-09-11	10.74	100	阴,微风	84.8	61.1	0.022	0.007	1.646	27.43
马桑林洼 Masanglinwa	11	10.5	第1次	2011-06-27	21.65	10	阴,无风	72.4	53.4	0.330	0.103	1.040	17.33
拖潭沟 Tuotangou	12	10.5	第3次	2012-09-07	23.94	85	晴,微风	72.4	52.6	0.037	0.012	0.130	2.17
	13	10.0	第2次	2012-09-20	29.05	90	晴,微风	61.2	12.1	0.213	0.293	0.833	13.88
	14	10.0	第3次	2013-01-17	35.08	0	晴,微风	61.2	62.0	0.277	0.074	0.501	8.35
吉科 Jike	15	2.0	第1次	2012-02-29	3.92	0	阴,微风	69.2	84.7	0.006	0.012	0.037	0.62
	16	2.0	第2次	2012-08-31	16.39	20	阴,微风	69.2	47.8	0.909	0.317	1.370	22.83
	17	2.0	第3次	2013-01-13	20.55	10	阴,微风	69.2	56.7	0.010	0.003	0.139	2.32
	18	11.8	第1次	2012-03-01	5.68	0	阴,微风	69.2	63.7	0.200	0.052	0.951	15.85
	19	11.8	第2次	2012-08-31	27.67	20	阴,微风	69.2	61.2	0.985	0.268	2.92	48.67
	20	11.8	第3次	2013-01-13	20.22	10	阴,微风	69.2	53.2	0.058	0.018	1.050	17.50
罗湾 Luowan	21	7.0	第1次	2012-02-12	17.08	0	阴,微风	86.8	53.0	1.140	0.447	4.096	68.27
	22	7.0	第2次	2013-01-10	12.92	100	晴,微风	86.8	71.4	2.241	0.527	0.821	13.68
	23	7.0	第3次	2013-08-30	13.58	100	阴,微风	86.8	59.8	2.105	0.587	0.335	5.58
	24	13.0	第1次	2012-02-12	16.55	0	阴,微风	86.8	74.7	1.979	0.443	13.400	223.33
	25	13.0	第2次	2013-01-10	13.57	80	晴,微风	86.8	76.3	2.683	0.586	0.884	14.73
	26	13.0	第3次	2013-08-29	14.06	100	阴,微风	86.8	59.7	1.382	0.386	0.711	11.85
	27	18.0	第1次	2012-02-13	16.39	0	阴,微风	86.8	76.6	0.815	0.177	7.030	117.17
	28	18.0	第2次	2013-01-10	13.81	80	晴,微风	86.8	55.5	0.257	0.077	0.087	1.45
	29	18.0	第3次	2013-08-30	13.53	100	阴,微风	86.8	52.2	0.927	0.296	0.425	7.08
平均 Average					16.82	53		79.7	57.9	0.802	0.231	3.867	64.45

表 2 梯地小区 12 场次人工模拟降雨试验产流监测结果

Table 2 Runoff yield monitoring results of artificial rainfall simulation in terrace plot of 12 screenings

小流域名称 Name of small watershed	序号 No.	坡度 (坡地) Slope °	试验次数 Experiment times	试验日期 Experiment date	试验环境 Experimental environment			设计降雨量 Design rainfall mm	平均降雨量 Average rainfall mm	产流量 Runoff yield m ³	径流系数 Runoff coefficient	侵蚀量 Erosion amount kg	侵蚀强度 Erosion intensity t/km ²
					试验前土壤含水量率 Soil moisture content before experiment %	植被盖度 Vegetation coverage %	天气情况 Weather condition						
张毕山 Zhangbishan	1	14.3	第2次	2011-07-01	17.46	20	阴,微风	84.8	61.9	1.146	0.309	1.954	32.57
马桑林洼 Masanglinwa	2	7.8	第4次	2012-09-06	27.54	70	晴,微风	72.4	46.7	0.182	0.065	0.012	0.20
	3	9.8	第2次	2011-06-26	22.52	0	晴,微风	72.4	58.2	0.090	0.026	0.620	10.33
	4	9.8	第4次	2012-09-07	29.05	95	晴,微风	72.4	45.4	0.030	0.011	0.002	0.03
	5	15.5	第4次	2012-09-08	25.45	60	晴,无风	72.4	57.2	0.066	0.019	0.008	0.13
拖潭沟 Tuotangou	6	8.0	第2次	2012-09-20	25.49	90	晴,微风	61.2	43.6	0.102	0.039	0.695	11.58
	7	10.0	第2次	2012-09-18	24.95	90	晴,微风	61.2	53.3	0.013	0.004	0.014	0.23
	8	15.0	第2次	2012-09-20	33.46	90	晴,微风	61.2	50.2	0.419	0.139	3.733	62.22
	9	15.0	第3次	2013-01-17	37.73	0	晴,微风	61.2	53.7	0.005	0.002	0.004	0.07
罗湾 Luowan	10	13.0	第1次	2012-02-11	16.73	0	阴,微风	86.8	64.5	0.703	0.182	2.996	49.93
	11	13.0	第2次	2013-01-09	13.14	80	晴,微风	86.8	63.7	0.481	0.126	0.208	3.47
	12	13.0	第3次	2013-08-28	13.95	100	阴,微风	86.8	60.3	0.390	0.108	0.101	1.68
平均 Average					23.96	58		73.3	54.9	0.302	0.092	0.862	14.37

表 3 坡地小区 9 场次人工模拟降雨试验不产流监测结果

Table 3 Non-runoff yield monitoring results of artificial rainfall simulation in slope plot of 9 screenings

小流域名称 Name of small watershed	序号 No.	坡度 (坡地) Slope °	试验次数 Experiment times	试验日期 Experiment date	植被盖度 Vegetation coverage %	天气情况 Weather condition	设计降雨量 Design rainfall mm	平均降雨量 Average rainfall mm	试验前土壤含水率 Soil moisture content before experiment %	试验后土壤含水率 Soil moisture content after experiment // %
张毕山 Zhangbishan	1	14.3	第 1 次	2011-01-26	0	晴,微风	84.8	31.6	15.03	22.05
马桑林洼 Masanglinwa	2	15.0	第 3 次	2011-12-23	70	晴,微风	84.8	43.3	10.41	21.52
	3	7.8	第 1 次	2011-01-22	10	晴,微风	72.4	24.1	20.25	40.92
	4	9.8	第 1 次	2011-01-24	10	晴,无风	72.4	36.9	19.59	22.32
	5	10.5	第 2 次	2011-12-20	85	晴,微风	72.4	50.7	17.67	23.36
	6	15.5	第 1 次	2011-01-23	10	晴,微风	72.4	18.0	29.12	46.23
拖潭沟 Tuotangou	7	8.0	第 1 次	2012-02-02	0	晴,微风	61.2	90.4	25.17	55.74
	8	10.0	第 1 次	2012-02-03	0	晴,微风	61.2	59.2	27.94	75.94
	9	15.0	第 1 次	2012-02-04	0	晴,微风	61.2	112.0	27.96	77.16
平均 Average					21		71.4	51.8	21.46	42.80

表 4 梯地小区 9 场次人工模拟降雨试验不产流监测结果

Table 4 Non-runoff yield monitoring results of artificial rainfall simulation in terrace plot of 9 screenings

小流域名称 Name of small watershed	序号 No.	坡度 (坡地) Slope °	试验次数 Experiment times	试验日期 Experiment date	植被盖度 Vegetation coverage %	天气情况 Weather condition	设计降雨量 Design rainfall mm	平均降雨量 Average rainfall mm	试验前土壤含水率 Soil moisture content before experiment %	试验后土壤含水率 Soil moisture content after experiment // %
张毕山 Zhangbishan	1	14.3	第 3 次	2011-12-24	70	晴,微风	84.8	58.5	8.09	20.11
马桑林洼 Masanglinwa	2	14.3	第 4 次	2012-09-11	100	阴,微风	84.8	54.1	8.48	19.57
	3	7.8	第 2 次	2011-06-25	0	晴,微风	72.4	45.8	21.18	32.09
	4	7.8	第 3 次	2011-12-19	60	晴,微风	72.4	34.4	17.26	26.32
	5	9.8	第 3 次	2011-12-20	70	晴,微风	72.4	50.7	17.86	31.07
	6	15.5	第 2 次	2011-06-27	0	晴,微风	72.4	54.9	22.12	24.75
	7	15.5	第 3 次	2011-12-21	75	晴,无风	72.4	35.7	17.39	21.69
拖潭沟 Tuotangou	8	8.0	第 3 次	2013-01-17	0	晴,微风	61.2	50.8	27.92	40.93
	9	10.0	第 3 次	2013-01-17	0	晴,微风	61.2	60.0	40.49	45.67
平均 Average					42		72.7	49.4	20.09	29.13

3 结论

(1) 该试验结果表明,坡耕地治理后减流减蚀效益显著,但由于各小流域基础条件不同,5 个小流域项目区坡改梯水土流失综合治理减流减蚀效益存在较大差异。总体来说,坡改梯后梯地土壤发挥了应有的拦蓄效益,强化了降雨入渗,纳蓄雨量,地表入渗量增大,降低了暴雨地表径流形成,有效减轻下游防洪减灾压力;坡改梯后梯地蓄水、保土、保肥、缓洪等效果明显;坡改梯水路配套建设和规划连片种植后,植被覆盖率增加,泥沙流失量减小,减流减蚀效益显著。

(2) 从 5 个小流域项目区共进行的 59 次人工模拟降雨试验可知,坡改梯水土流失治理有显著的减流减蚀和保水保土效益。从 29 场次坡地小区和 12 次梯地小区人工模拟降雨试验产流结果可以看出,梯地小区前期土壤含水率和植被覆盖率比坡地小区高,实际平均降雨量比坡地小区小,但径流系数为坡地小区的 39.83%,平均土壤侵蚀强度较坡地小区减小 77.70%。由此可见,坡改梯后保水保土及减流减蚀效益显著。

(3) 坡度与土壤侵蚀强度的关系受植被覆盖度和实际降雨量的影响。坡度越小,植被覆盖度越大,减流减蚀效果越

好。然而,在植被覆盖度相等的情况下,坡度小的坡地如果实际降雨量大,也会出现比大坡度坡地更强的土壤侵蚀情况。

(4) 植被截流量对土壤含水率影响较大。从 9 次坡地小区和 9 次梯地小区人工模拟降雨试验不产流结果可以看出,梯地小区植被覆盖率是坡地小区的 2 倍,试验前梯地小区土壤含水率和实际平均降雨量均比坡地小区略小,但试验后土壤含水率为坡地小区的 68.06%,表明植被截流量增加。

(5) 从监测手段来看,该研究创新了坡耕地水土保持监测新方法,具有试验性和开创性。首次引进模拟降雨系统实地运用于云南坡耕地水土保持监测中,不仅探索和研究了坡耕地治理前后土壤产汇流规律和侵蚀规律,还实现了由过去的目估丈量监测到用试验数据分析土壤侵蚀状况的转变。

(6) 云南省坡改梯治理水保监测项目采用人工模拟降雨试验方法具有经济性、便捷性、可控性、重现性等优点。但实验结果表明,模拟降雨系统在野外环境下还存在一定的局限性和不足。

3 结论与讨论

高产高效施肥是科学施肥的方向和目标,因地制宜开发与作物专用缓/控释肥料是实现科学施肥目标的重要措施^[16]。稳定氮肥是通过添加脲酶抑制剂/硝化抑制剂制成的一类环境友好缓释肥料,具有广阔的市场前景。陈序根等^[17]研究表明,施用添加脲酶/硝化抑制剂的缓释肥料显著提高番茄产量,较番茄专用肥增产 23.2% 和 29.8%。赵自超等^[18]研究脲酶和硝化抑制剂对冬小麦-夏玉米轮作体系产量的影响,结果表明,单独和配合施用抑制剂均提高周年作物产量,增幅 2.0%~6.4%,以配合施用效果最佳。该研究结果表明,施用稳定氮肥黄山贡菊产量优于或相当于普通氮肥,等氮增产 6.9%,减氮 20% 不减产,这与前人研究结果相符。

该试验结果表明,与普通氮肥相比,稳定氮肥等氮施用显著提高黄山贡菊吸氮量、氮肥表观利用率及农学效率。原因可能在于稳定氮肥添加了脲酶和硝化抑制剂,养分释放速度较为平缓,一定程度上避免施肥前期养分供过于求造成的氮素浪费,进而有效提高了氮肥吸收量和利用率。而普通氮肥缺乏抑制剂,施入土壤养分易挥发、淋失或通过其他途径损失,导致氮素吸收量和氮肥利用率降低。

黄山贡菊作为一种附加值极高的经济作物越来越受到国内外消费者的青睐,当地农民为了追求高产一味地增加肥料投入,过量施肥现象屡见不鲜,导致肥料大量损失且在土壤富集,增加了农民的生产投入成本。该研究结果表明,等氮施用稳定氮肥虽然小幅度增加了肥料成本,但贡菊产量提高足以弥补肥料成本增长,较普通氮肥收益增加 6.5%。这说明等氮施用稳定氮肥较普通氮肥有效提高黄山贡菊收益,能达到节本增效的目标。

100% N 量稳定氮肥较普通氮肥黄山贡菊增产 6.9%,氮肥表观利用率显著提高 6.08 个百分点,农学效率显著提高 0.35 kg/kg,收益增加 6.5%。80% N 量稳定氮肥产量、氮肥

利用率和收益与普通氮肥相当。综合产量、利用率及收益,在该试验条件下,100% N 量稳定氮肥施用于黄山贡菊上效果最佳。

参考文献

- [1] 陆卫明,王亦民,章庆华,等. 黄山贡菊产业状况及发展对策[J]. 中国园艺文摘,2014(6):56-58,77.
- [2] 孔娟娟,周守标,奚功芳,等. 2 种施药方式对黄山贡菊生长、生理特性及硒积累的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(4):310-316.
- [3] 王文军,郭熙盛. 氮、磷、钾、锌、硼肥配施对黄山贡菊产量和品质的影响[J]. 土壤通报,2009,40(2):306-309.
- [4] 毕淑峰,尤倩倩,张铃杰. 黄山贡菊挥发物化学成分及体外抗氧化活性研究[J]. 黄山学院学报,2014,16(3):72-75.
- [5] 姜文青,张亚中,金斌. HPLC 法同时测定黄山贡菊和七月菊中的 4 种化学成分[J]. 中成药,2015,37(10):2211-2215.
- [6] 周旋,吴良欢,戴锋. 新型磷酸酰胺脲酶抑制剂对不同质地土壤尿素转化的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(12):4003-4012.
- [7] 邢卫,陈利军,陈振华,等. NBPT 与 DMPP 不同剂量组合对尿素氮转化的影响[J]. 土壤通报,2008,39(4):896-899.
- [8] 董燕,王正银. 尿素在土壤中的转化与植物利用效率[J]. 磷肥与氮肥,2005,20(2):76-78.
- [9] 曹银珠,赵同科,刘树庆,等. 脲酶/硝化抑制剂双控过程中硝化抑制尿素分解效应[J]. 水土保持学报,2015,29(4):143-147,200.
- [10] TRENKEL M E. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture [M]. Paris, France: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010:13.
- [11] 隗英华,陈利军,武志杰,等. 脲酶/硝化抑制剂在土壤 N 转化过程中的作用[J]. 土壤通报,2007,38(4):773-780.
- [12] 周旋,吴良欢,戴锋. 生化抑制剂组合对黄泥田土壤尿素态氮转化的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(5):95-100,123.
- [13] 李敏,叶舒娅,刘枫,等. 稳定氮肥用量和施用方式对水稻产量和氮肥效率的影响[J]. 农业资源与环境学报,2015,32(6):559-564.
- [14] 李敏,叶舒娅,刘枫,等. 稳定氮肥用量对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 农业资源与环境学报,2014,31(4):323-327.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [16] 张建军,党冀,樊廷录,等. 控释尿素基施及普通尿素分期施对旱地冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 核农学报,2014,28(5):912-918.
- [17] 陈序根,徐卫红,王崇力,等. 脲酶硝化双抑制剂缓释肥提高番茄产量及 NPK 养分吸收[J]. 农业工程学报,2015,31(21):168-176.
- [18] 赵自超,韩笑,石岳峰,等. 硝化和脲酶抑制剂对华北冬小麦-夏玉米轮作固碳减排效果评价[J]. 农业工程学报,2016,32(6):254-262.

(上接第 59 页)

4 建议

(1) 人工模拟降雨装置在实验室内可取得较为理想的降雨成果,但在野外试验受地形、风速、风向、气流、降雨高度等因素的影响较大,加上受径流小区面积的限制,虽然试验是按百年一遇的设计标准进行模拟降雨,但部分降雨还是随风飘落到小区外,落到径流小区地面降雨量相对减少,面平均降雨强度因此降低,使得模拟降雨实测的面平均雨量小于设计降雨量,偏差幅度为 25.10%~32.00%,未达到设计降雨要求。根据 59 场次人工模拟降雨获得的实践经验,建议今后在野外使用人工模拟降雨系统时尽量选在无风或轻微风的情况下进行,径流小区建设由 3 m×20 m 改为 5 m×20 m,并适当降低人工模拟降雨设计高度等。在该研究中,已通过改良设计降雨高度 6 m 降为 4 m 进行野外模拟降雨试验,获得相对较好的监测结果。该降雨高度 4 m 可借鉴运用于类似项目的水土保持监测。

(2) 针对坡耕地水土流失综合治理工程实施过程中仍存在的核心技术、重大措施及实用技术等问题,提出在认真总结和创新水土流失综合治理监测技术的基础上,有目的、有计划、有针对性地研究不同治理措施、不同治理模式、不同管理方法,使坡改梯后生态、经济、社会效益协调、健康、快速地发展。

参考文献

- [1] 余志明. 坡改梯在水土流失治理项目建设实践中存在的问题与建议[J]. 中国水土保持科学,2008,6(S1):178-179.
- [2] 王鸿飞,杨台虹,刘立春. 坡耕地治理的技术措施及效益分析[J]. 水土保持与防洪,2003,9(3):214-215.
- [3] 云南省政府系统决策咨询课题研究组. 云南省坡耕地高效水土保持对策研究[J]. 水利发展研究,2013(1):34-38.
- [4] 朱晓柯. 云南省坡耕地现状与防治策略[J]. 中国水土保持,2008(4):11-13.
- [5] 赵成,顾小华,姜宏雷,等. 云南省坡耕地现状及水土流失综合治理探索[J]. 中国水土保持,2015(4):11-12.
- [6] 和俊. 云南省坡耕地水土流失综合治理的探索与实践[J]. 中国水土保持,2011(2):11-13.
- [7] 刘丙友,荣建东,周彦明. 水土流失对“三农”建设的障碍作用及解决途径[J]. 水土保持应用技术,2006(3):53-54.