

高塬沟壑区雨水集流效率研究

李怀有, 陈智汉, 闫 剑, 张西宁
(黄河水土保持西峰治理监督局, 甘肃 西峰 745000)

摘 要: 通过 6 个径流小区对自然荒坡和道路场院的模拟对比试验, 探索雨水集流场建设中的新材料、新工艺、新方法, 为雨水集流场建设提供技术支撑。在模拟自然荒坡的 3 个径流小区中, 无机防水剂 1# 和硅烷偶联剂对地表喷施处理后, 集流效率明显高于对照; 在模拟道路场院的 3 个径流小区中, 无机防水剂 4# + 5 kg/m² 水泥和硅烷偶联剂+ 5 kg/m² 水泥对地表土壤掺混处理后, 硅烷偶联剂+ 5 kg/m² 水泥集流效率明显高于对照。试验共筛选出了 3 种新材料, 可用于雨水集流场建设。次降雨量越大, 雨强越高, 集流效率越大; 反之则越小。降雨前地表湿度越大, 集流效率越大; 反之则越小。

关键词: 高塬沟壑区; 集流效率; 新材料; 荒坡; 庭院; 道路

中图分类号: S 273.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003)04-0096-03

Study on Rainwater Harvesting Efficiency
in Hilly-gully Region of Tableland

LI Huai-you, CHEN Zhi-han, YAN Jian, ZHANG Xi-ning
(Xifeng Supervision Station of Soil and Water Conservation, Xifeng 745000, Gansu, China)

Abstract: Through simulated experiment of 6 runoff plots of barren hill and road-yard, the new material , technology and method are explored to provide technique for establishing rainwater catchment. In the three runoff plots on simulated barren hill, the rainwater harvesting efficiency is higher after inorganic waterproof agent No. 1 and silane conpling agent has been sprayed on the ground; in the three runoff plots on simulated road-yard, after been mixed and treated with inorganic waterproof agent No. 4+ cement 5 kg/m² and silane conpling agent + cement 5 kg/m², the rainwater harvesting efficiency of the latter is higher than the contrast. Finally, three types of material are selected to apply to establishing rainwater catchment. The greater the rainfall and rainfall intensity is, the rainwater harvesting efficiency will be large ; the moisture of ground before rainfall is larger , as well as the rainwater harvesting efficiency.

Key words: hilly-gully region of tableland; rainwater harvest ing efficiency; new material; barren hill; yard; road

高塬沟壑区的水资源十分缺乏, 以资源性缺水 and 季节性缺水为主, 降雨多以暴雨形式集中发生在年内 6~9 月, 致使水土流失严重, 土壤肥力下降, 农业生产水平低下, 农民收入低而不稳, 生态环境恶化。若能充分有效地利用当地雨水资源, 不仅可以很大程度解决缺水问题, 而且可以有效减少暴雨径流灾害, 实现暴雨径流资源化, 防止水土流失。因此, 深入系统地研究当地雨水集蓄是很有现实意义的, 其成果将促进该区农业发展, 加速农民脱贫致富, 并有利于振兴该地区的社会经济, 改善生态环境, 经济效益、社会效益和生态效益是显著的。近 20 年来, 雨水集蓄研究成为一个热点, 出现了一大批成果^[1~6], 并已广泛应用于生产实践中, 取得了很

大的成效。该研究在以往研究的基础上, 开展集雨新材料的试验示范, 对于拓宽集雨面处理材料的种类具有十分重要的作用。

1 试验点概况

试验点位于黄河水土保持西峰治理监督局南小河沟试验场。海拔 1 300 m, 年均降水量 561.5 mm, 年有效降雨量 442 mm, 年蒸发量 1 527 mm, 为年降水量的 2.7 倍; 年平均气温 8.5℃, 平均无霜期 160 d。土壤为黄绵土, 土质为粉砂中壤土, 土壤容重 1.1~1.2 g/cm³, pH 值为 7.88, 土层深厚, 土质疏松。1999 年新建了 6 个径流小区, 小区长 10 m, 宽 4.

¹ 收稿日期: 2003-04-17
基金项目: 黄河上中游管理局基金项目(项目编号: 990004)。
作者简介: 李怀有(1969-), 男, 汉族, 甘肃西峰, 工程师, 主要从事果园集雨节水灌溉方面的研究。

0 m,比降为 5%,常年保持小区无杂草状态。在其下部对应新建了 6 个集水池,用于收集径流小区产生的径流。

2 材料与方法

6 个径流小区集雨场的施工工艺为:

1# 小区:模拟自然荒坡,在小区坡度平整一致之后,采用拍光压实的方式,在地表喷施 1# 无机防水剂,喷施浓度为 1 4,喷施 3 次,使喷施均匀周到。

2# 小区:模拟自然荒坡,在小区坡度平整一致之后,采用拍光压实的方式,在地表喷施硅烷偶联剂,喷施浓度为 1 11,喷施 3 次,使喷施均匀周到。

3# 小区:模拟自然荒坡,在小区坡度平整一致之后,采用拍光压实的方式,在地表喷水,喷施 3 次,使喷施均匀周到。

4# 小区:模拟道路场院,在小区坡度平整一致之后,对地表 2~3 cm 土壤掺混水泥,水泥用量为 5.0 kg/m²,掺混均匀后,在地表喷施 4# 无机防水剂,喷施浓度为 1 10,喷施 3 次,使喷施均匀周到,利用平底锤进行人工夯实。

5# 小区:模拟道路场院,在小区坡度平整一致之后,对地表 2~3 cm 土壤掺混水泥,水泥用量为 5.0 kg/m²,掺混均匀后,在地表喷施甲基硅酸钠,喷施浓度为 1 8,喷施 3 次,使喷施均匀周到,利用平底锤进行人工夯实。

6# 小区:模拟道路场院,在小区坡度平整一致之后,对地表 2~3 cm 土壤掺混水泥,水泥用量为 5.0 kg/m²,掺混均匀后,在地表喷水,喷施 3 次,使喷施均匀周到,利用平底锤进行人工夯实。

3 结果与分析

3.1 各年度集流效率结果分析

根据 2000~2002 年的观测结果(表 1),荒坡的集流效率明显低于道路庭院的集流效率;1# 无机防水剂前期集流效率比对照小,但后期集流效率比对照明显大,平均值也比对

表 1 各年度集流效率结果

年度	1# 小区	2# 小区	3# 小区	4# 小区	5# 小区	6# 小区
2000	0.096	0.193	0.137	0.136	0.463	0.369
2001	0.220	0.314	0.199	0.266	0.342	0.320
2002	0.390	0.336	0.239	0.410	0.458	0.335
平均	0.235	0.281	0.192	0.271	0.421	0.341

照大;硅烷偶联剂的集流效率均比对照大,集流效果较好;4# 无机防水剂前两年集流效率比对照小,但后期集流效率比对照明显大,平均值比对照小;甲基硅酸钠的集流效率均比对照大,集流效果最好。根据试验结果,甲基硅酸钠和硅烷偶联剂的集流效率较高,可以用于雨水集流场中集流面的处理。

3.2 日降雨量不同时集流效率结果分析

根据多年的观测结果(表 2),在不同日降雨量时,荒坡的集流效率明显低于道路庭院的集流效率;1# 无机防水剂

日降雨量较小时,集流效率与对照相差不大,但日降雨量大于 40 mm/d 时,集流效率比对照明显大;硅烷偶联剂的集流效率在不同日降雨量时均比对照大,集流效果较好;4# 无机防水剂在不同日降雨量时,集流效率与对照相差不大,集流效果不明显;甲基硅酸钠在日降雨量小于 20 mm/d 时,集流效率与对照相差不大,但在日降雨量大于 20 mm/d 时,均明显比对照大,集流效果最好。根据试验结果,甲基硅酸钠和硅烷偶联剂的集流效率较高,适宜雨水集流场中集流面的处理。1# 无机防水剂也可用于雨水集流场中集流面的处理。

表 2 日降雨量不同时集流效率结果

日降雨量/ (mm·d ⁻¹)	1# 小区	2# 小区	3# 小区	4# 小区	5# 小区	6# 小区
< 10.0	0.14	0.22	0.14	0.17	0.17	0.24
10.0~20.0	0.19	0.24	0.17	0.21	0.27	0.27
20.0~30.0	0.23	0.24	0.19	0.30	0.43	0.37
30.0~40.0	0.25	0.30	0.20	0.34	0.46	0.38
40.0~50.0	0.42	0.44	0.25	0.41	0.53	0.46
> 50.0	0.45	0.46	0.28	0.48	0.68	0.48

3.3 几次典型降雨集流效率结果分析

根据 3 次典型降雨的试验结果(表 3),前两次降雨大小基本一样,但是,第一次降雨与前次降雨间隔为 1 d,第二次降雨与前次降雨间隔为 16 d,也就是第一次降雨比第二次降雨集雨面的土壤含水率大,同时,1h 最大降雨量达到 39.8 mm,远远大于第二次降雨 1 h 5.0 mm 的最大降雨量,集流效率明显比第二次大,一般大 1.8~11.5 倍。第一次降雨与第三次降雨相比,虽然第三次降雨量较大,并且前次降雨量也大,达到 36.2 mm,降雨间隔为 3 d,但是,1 h 最大降雨量只有 5.9 mm,远远小于第一次 1 h 最大降雨量 39.8 mm,因此,集流效率明显比第三次大,一般大 1.7~2.8 倍。1 h 最大降雨量对集流效率的影响远远大于地表湿度对集流效率的影响,同时,在同等条件下,次降雨量越大,新材料对集流效率的提高也越大,在日降雨量小于 20 mm 时,新材料对集流效率的提高就不明显,但是,对照有关试验,坡度在小雨量时对集流效率的影响比较明显,坡度越大,集流效率也越大,反之,则集流效率越小。从 3 次降雨观测结果看,4 种新材料均有提高集流效率的作用,平均提高 12.7%~69.3%。

3.4 水质监测结果分析

根据庆阳地区环境监测站在 2002 年 7 月对 6 个小区收集的雨水采样分析,共分析了 19 项指标,主要有:阴离子洗涤剂、六价铬、总硬度、砷、氰化物、氯化物、pH、色度、总铜、总镉、总铅、总锌、氟化物、挥发酚、溶解性固体、硫酸盐、硝酸盐(氮)、细菌总数和粪大肠菌群。其中,只有色度和细菌总数超标(表 4)。1# 小区和 3# 小区色度超标。1#~5# 小区细菌总数均超标,其中,3# 小区和 4# 小区细菌总数严重超标。根据水质监测结果,6# 小区水质最好,2# 小区和 5# 小区水质较好,1# 小区水质次之,3# 小区水质最差。

表 3 几次典型降雨集流效率结果

序号	降雨时间	降雨量 / mm	1 h 最大降 雨/ mm	前次降雨 间隔/ d	前次降 雨量/ mm	1#	2#	3#	4#	5#	6#
1	2002– 07– 25	47. 1	39. 8	1	9. 1	0. 875	0. 801	0. 605	0. 846	0. 892	0. 769
2	2000– 10– 10	44. 7	5. 0	16	8. 3	0. 076	0. 271	0. 059	0. 434	0. 463	0. 420
3	2001– 09– 22	71. 3	5. 9	3	36. 2	0. 362	0. 416	0. 216	0. 451	0. 521	0. 348
	平均	54. 4				0. 438	0. 496	0. 293	0. 577	0. 625	0. 512

表 4 雨水监测指标超标结果

小区	1# 小区	2# 小区	3# 小区	4# 小区	5# 小区	6# 小区	评价 标准
色度	20	15	20	15	15	15	< 15
细菌总数/ (个· ml ⁻¹)	256	132	1800	1030	214	96	100

3.5 集雨面处理投入结果分析

根据集雨面处理投入的结果(表 5),在新材料处理的小区修建费中,主要投入是材料费,占修建费 88. 2% ~ 95.

表 5 集雨面处理投入结果元/ m²

小区	1# 小区	2# 小区	3# 小区	4# 小区	5# 小区	6# 小区
材料投入	1# 无机防水剂 5 kg	硅烷偶联剂 3 kg	/	4# 无机防水剂 5 kg、水泥 200kg	甲基硅酸钠 4 kg、水泥 200 kg	/
材料费	2. 00	0. 75	0. 00	3. 23	2. 70	0. 00
人工费	0. 10	0. 10	0. 05	0. 20	0. 20	0. 10
修建费	2. 10	0. 85	0. 05	3. 43	2. 90	0. 10
维护费	0. 15	0. 15	0. 20	0. 30	0. 25	0. 40

注: 修建费= 材料费+ 人工费。

4 试验结论

(1) 荒坡的集流效率明显低于道路庭院的集流效率; 甲基硅酸钠的集流效率均比对照大, 集流效果最好, 硅烷偶联剂的集流效果较好。

(2) 1# 无机防水剂在日降雨量大于 40 mm/d 时, 集流效率比对照明显大; 硅烷偶联剂的集流效率在不同日降雨量时均比对照大, 集流效果较好; 4# 无机防水剂集流效率与对照相差不大, 集流效果不明显; 甲基硅酸钠在日降雨量大于 20 mm/d 时, 均明显比对照大, 集流效果最好。

(3) 1 h 最大降雨量对集流效率的影响远远大于地表湿度对集流效率的影响, 同时, 在同等条件下, 次降雨量越大, 新材料对集流效率的提高也越大, 从 3 次降雨观测结果看, 4

2%, 用工量较少, 只是平整、拍光压实或夯实集雨面, 喷施或掺混新材料, 人工费很少, 占修建费 4. 8% ~ 11. 8%。由于 4 # 和 5# 小区加入了水泥, 其中水泥的材料费已经达 1. 60 元/ m², 所以造成 4# 和 5# 小区材料费较大。维护费主要包括除草和集雨面维修费, 用新材料处理的小区杂草较少, 维护费较低。同类型小区的维护费基本一致, 所以, 集雨面的投入主要是材料费。根据投入分析, 在模拟荒坡集雨场试验中, 2# 小区的修建费和维护费最低, 效果最好; 在模拟道路庭院集雨场试验中, 5# 小区的修建费和维护费最低, 效果较好。

种新材料均有提高集流效率的作用, 平均提高 12. 7% ~ 69. 3%。

(4) 根据分析 19 项指标的结果, 只有色度和细菌总数超标。1# 小区和 3# 小区色度超标。1# ~ 5# 小区细菌总数均超标, 3# 小区和 4# 小区细菌总数严重超标。因此, 6# 小区水质最好, 2# 小区和 5# 小区水质较好, 1# 小区水质次之, 3# 小区水质最差。

(5) 在模拟荒坡集雨场试验中, 2# 小区的修建费和维护费最低, 效果最好; 在模拟道路庭院集雨场试验中, 5# 小区的修建费和维护费最低, 效果较好。根据试验结果, 甲基硅酸钠和硅烷偶联剂的集流效率较高, 适宜雨水集流场中集流面的处理。1# 无机防水剂也可用于雨水集流场中集流面的处理。

参考文献:

[1] 甘肃省水利厅. 甘肃省雨水集蓄利用工程技术标准[S]. 1997.
[2] SL267– 2001. 雨水集蓄利用工程技术规范[S]. 2001.
[3] 赵松岭, 李峰瑞, 高世铭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.
[4] 李怀有, 赵安成, 郭永乐. 黄土高塬沟壑区集雨节水灌溉技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社.
[5] 张祖新, 龚时宏, 王晓玲, 等. 雨水集蓄工程技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
[6] 穆兴民, 徐学选, 陈霁巍, 等. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.