

黄土区不同地类土壤容水量与渗水率的试验研究

费喜亮¹, 景凌云^{1,2}, 孙栋元^{3,4}

(1. 甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730020;

2. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000;

4. 中国科学院 新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 通过对研究区 12 种不同土地利用类型土壤容水量和渗水率的试验研究, 分析了相同土地利用和不同土地利用方式下土壤容水量和渗水率的差异。结果表明, 相同土地利用方式下, 农坡地土壤容水量差异约 1 倍, 差异较大; 旱梯田土壤容水量差异可达 35.23%, 差异明显; 荒坡地相差仅为 5.84%, 差异较小; 沟台地差异不明显。不同土地利用方式下, 土壤入渗性能差异显著。在连续入渗 180 min 时, YL(人工杨树林地)、HF(荒地整地后封管 1 a 自然草地)、NT(人工柠条林)、SJ(人工沙棘林)、YS(人工油松林)、ZK(针阔混交林)土壤容水量分别是 HP(荒地)的 108.19%, 173.43%, 157.76%, 192.28%, 93.64% 和 129.67%。沙棘林、柠条林等人工灌木林地的土壤容水量大于人工乔木林地。荒坡经过隔坡水平台整地封闭保护自然恢复植被 1 a 后, 土壤容水量高于多数乔、灌木林地, 是一种经济有效的水土保持措施。土壤容重是影响土壤容水量的主要土壤物理特性指标, 土壤容重越大, 土壤容水量越小。土壤含水率在 9.60%~19.02% 范围内对土壤容水量的影响不明显。

关键词: 土地利用; 土壤容水量; 土壤入渗率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0005-06

中图分类号: S152.7

Soil Infiltration Rate and Soil Moisture Content Under Different Land Use of Loess Region

FEI Xi-liang¹, JING Ling-yun^{1,2}, SUN Dong-yuan^{3,4}

(1. Gansu Institute of Soil and Water Conservation, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Institute of Environment and Multiple Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China; 4. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The paper focused on soil infiltration rate and soil moisture content under 12 different land uses in semiarid region of loess. The results showed that soil moisture content was about twice under the same land uses in the farmland-sloping, which was significant difference. The gap was about 35.23% in the drought terrace, 5.84% in the hillsides, no obvious difference was found in the ditch platform. Artificial vegetation played an obvious role in improving soil moisture content. When infiltration continued 180 minutes, contrast to uncultivated land the soil moisture content of Poplar plantation, enclosed grassland, *Caragana* plantation, Seabuckthorn plantation, *Plnus* plantation, mixed plantation was 108.19%, 173.43%, 157.76%, 192.28%, 93.64%, 129.67% respectively. Soil moisture content in the artificial shrub lands, such as seabuckthorn forests, caragana lin, was larger than artificial arboreal lands. The way of plough in hillsides was an effective measure in soil and water conservation. Soil bulk density acted as an active index affected soil moisture content, which soil bulk density was bigger, soil moisture content was smaller. Soil infiltration rate was 9.60%~19.02%, which would not affect soil moisture content.

Keywords: land use; soil moisture content; soil infiltration rate

收稿日期: 2011-06-02

修回日期: 2011-08-31

资助项目: 甘肃省水利科研课题“黄丘五区水土流失分布及主要特征研究”[甘水发(2010)228号]; 国家自然科学基金青年项目“准噶尔荒漠梭梭植物构型及其对水分的响应与适应研究”(30900180)

作者简介: 费喜亮(1955—), 男(汉族), 甘肃省定西市人, 高级工程师, 主要从事水土保持基础理论与水土保持规划等工作。E-mail: fxl550909@163.com。

半干旱黄土地区土壤的最大容水量和渗水率可直观反映土壤的主要水文过程和功能。它决定着土壤水的形成,影响着降水、地面水、土壤水和地下水的相互转化过程,也能直接据此测算或预测同类地区在一定频率的降雨条件下不同利用状况的土地可能产生的径流量及土壤侵蚀,是进行水土保持措施布设、水土保持工程设计和效益估算时应考虑的重要参数。Helalia^[1]对黏土、黏壤土、壤土进行了 50 个田间入渗试验,认为土壤质地与稳渗率的关系弱于结构因子与稳渗率的关系;Eigle 和 Moore^[2]的研究表明,土壤结皮对裸地入渗的影响大大超过其它因素的影响;Bodman 和 Colman^[3]认为在入渗初期,随着含水率的增加,土壤入渗速率减小,随着时间的延续,含水率对入渗的影响变小,最终可予忽略。我国在土壤入渗方面也做了大量的研究,其中贾志军等人^[4]对河北省坝上地区沙棘林土壤水文效应进行了研究;康绍忠^[5]对黄土高原沟壑区小流域土壤入渗分布规律进行了研究,探讨了不同地貌耕作措施、初始土壤含水率、积水深度等因素对土壤入渗性能的影响。然而,对水土流失严重的干旱半干旱黄土非林地区的相关研究较为缺乏,并且部分研究成果偏重理论性,对不同地类分时段土壤最大容水量及在暴雨条件下与土壤入渗量关系方面的研究尚未进行,研究这类问题对于水土流失区合理布设水土保持措施以及生态环境建设等方面都具有重要的理论和现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区孙家岔流域属黄河流域黄土高原黄土丘陵沟壑区,东经 104°20′38″—104°26′20″,北纬 35°50′30″—35°55′10″,海拔 2 200~2 269 m。据实测资料,该区年平均降水量 364.4 mm,蒸发量 1 669.3 mm。孙家岔流域梁峁坡面上广覆第四系上更新统马兰组黄土,土层深厚。依据测定分析,流域土壤砂粒(>0.05 mm)占 12%~16.2%,粉粒(0.05~0.005 mm)占 61.3%~69.3%,黏粒(<0.005 mm)占 14.5%~23%,均属于粉质壤土,而其中又以中粉质壤土居多。土壤粒径 d_{10} 在 0.001 2~0.002 6 mm 之间, d_{50} 在 0.016 8~0.023 9 mm 之间,土壤粒径不均匀系数在 11.6~20.3 之间。区内无天然林,荒坡植被盖度为 15%~45%。常见植物有长芒草(*Stipa bungeana* Trin),短花茅草(*S. breviflora* Griseb),冷蒿[*Artemisia frigida* (Hance) Keng],早熟禾(*Poa sphondylodes* Trin. ex Bunge),铁杆蒿(*A. sacrorun* Ledeb),百里香(*Thymus mongolius* Ronn),甘蒙锦

鸡儿(*Caragana opulens*),藏锦鸡儿(*C. spinifera* Kom)等。流域内无天然林,主要造林树种有榆树(*Ulmus pumila*),山杏树(*Prunus armeniaca* Linn. var. *ansu* Maxim),河北杨(*Populus hopefish* Hu et. Chow.),旱柳(*Salix matsudana* Koidz.),甘蒙柽柳,柠条(*Caragana korshinskii* Kom.),沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sivensis*),杞柳(*S. integra* Tsubn)。人工种草多为紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.),沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall),草木栖(*Melilotus*)和红豆草[*Onobrychis viciaefolia* scop(*sativa* Lam)]等。

1.2 试验材料

分别选取研究区有代表性的阳坡农地、阴坡农地、半阴半阳坡农地、阳坡旱梯田农地、阴坡旱梯田农地、农用沟台地、阳坡荒地、阴坡荒地、半阴半阳荒地、荒地整地后封管 1 a 自然草地、黄土公路、人行道路、人工杨树林、人工油松林、人工沙棘林、人工柠条林、针阔混交林等 17 个不同的样地进行实地观测。这 17 个样地分别代表了农坡地(NP)、旱梯田(HT)、沟台地(GT)、荒地(HP)、荒地整地后封管 1 a 自然草地(HF)、黄土公路(GL)、人行道路(RD)、人工杨树林(YL)、人工油松林(YS)、人工沙棘林(SJ)、人工柠条林(NT)、针阔混交林(ZK)共 12 种不同利用状况的土地,样地基本情况见表 1—2。

1.3 研究方法

1.3.1 样地土壤容重与含水量测定 土壤容重测定采用环刀法,土壤含水率测定采用烘干法,测定结果详见表 2。

1.3.2 土壤入渗观测 采用单环切取土柱注水法(下简称单环土柱法)观测土壤入渗状况。单直径为 13.60 cm,高 60 cm。试验观测步骤为:(1)选择能代表土地类型的地块作为样地,并在其中随机选取样点;(2)将单环刀口一端嵌入样地地面 38~58 cm 深;(3)将一定量的水注入露出地表的环刀内,同时计时,一次加入环刀内的水层高度限制在 30 mm 以内,以尽可能减小静水水头压力对土壤渗水的影响,待所加入水量完全渗入地表土壤后再加入相同量的水。在相应的一定时间段内加入的总水量为土壤下渗量,土壤容水量代表在一定时间段内土壤接收并保存的入渗量,入渗速率为相应时间段内入渗量 and 时间的比值。

2 结果与分析

2.1 相同地类不同试验地点的土壤容水量分析

根据试验结果,对于农坡地,同一样地各测点之间土壤容水量及渗水率具有明显的差别。NP₁ 样地

的 3 个测点中,测点 1 在 180 min 内的容水量是 157 mm,测点 3 是 270 mm,后者是前者的 1.72 倍,后者高出前者 71.97%;NP₂ 样地的 3 个测点中,测点 1 在 180 min 内的土壤容水量为 200 mm,测点 2 土壤容水量为 149 mm,前者是后者的 134.23%,前者高出后者 34.23%。同时,农坡地不同试验地点土壤容

水量与渗水率差异较大。NP₁,NP₂,NP₃ 在入渗 10 min 时容水量在 25~45 mm 之间,30 min 时土壤容水量在 50~101 mm 之间,60 min 时土壤容水量在 70~143 mm 之间,90 min 时在土壤容水量在 88~177 mm 之间,120 min 时土壤容水量在 95~212 mm 之间,180 min 时在 113~213 mm 之间。

表 1 试验样地基本情况

样地编号	土地利用状况	坡向	主要植物种	植被盖度	土壤类型
NP ₁	农坡马铃薯地	阳坡	马铃薯	40%	灰钙土轻壤
NP ₂	农坡地(已翻耕)	半阴坡	小麦茬	已经割裸露	灰钙土轻壤
NP ₃	农坡地	阴坡	马铃薯	40%	灰钙土轻壤
HT ₁	机修旱梯田农地	阴坡	小麦(已收割)	已经割裸露	灰钙土轻壤
HT ₂	人工旱梯田农地	阴坡	小麦(已收割)	已经割裸露	灰钙土轻壤
GT	沟台农地已翻耕	半阴坡	小麦(已收割)	已翻耕,裸露	灰钙土中壤
HP ₁	荒坡地	阴坡	短花针茅,长芒草,茵陈蒿	70%	灰钙土
HP ₂	荒坡地	阳坡	短花针茅,长芒草,茵陈蒿	30%~50%	灰钙土
HP ₃	荒坡地	半阳坡	短花针茅,长芒草,茵陈蒿	30%~40%	灰钙土
HF	整地封管 1 a 荒地	半阳坡	针茅,长芒草,茵陈蒿等	50%~70%	灰钙土
GL	黄土公路	阴坡	杨树(道路两侧植树)	70%	灰钙土
RD	林间人行道路	阴坡	油松,杨树	30%	灰钙土
YL	人工杨树林地	阴坡	杨树,冰草等	30%~40%	灰钙土
YS	人工油松林地	阴坡	油松,冰草等	70%~85%	灰钙土
SJ	人工沙棘林地	阴坡	沙棘,冰草等	>90%	灰钙土
NT	人工柠条林地	阴坡	柠条	>80%	灰钙土
ZK	人工混交林地	阴坡	杨树,落叶松	45%	灰钙土

表 2 试验样地土壤含水率与土壤容重测定

样地编号	土壤含水率/%			土壤容重/(g·cm ⁻³)		
	0—20 cm	20—40 cm	平均	0—20 cm	20—40 cm	平均
NP ₁	19.37	14.13	16.75	1.03	1.10	1.06
NP ₂	15.18	15.95	15.57	1.10	1.10	1.10
NP ₃	14.42	13.33	14.40	1.20	1.19	1.20
HT ₁	14.82	19.61	19.64	1.04	1.11	1.07
HT ₂	15.05	15.45	15.25	1.12	1.33	1.18
GT	12.15	11.71	14.80	1.12	1.23	1.18
HP ₁	17.18	20.87	19.02	1.11	0.96	1.04
HP ₂	10.60	8.60	9.60	1.16	1.19	1.17
HP ₃	10.25	10.40	10.32	1.10	1.10	1.10
HF	14.43	14.13	15.33	1.01	1.11	1.10
GL	14.66	12.95	13.81	1.55	1.54	1.55
RD	14.71	13.29	13.17	1.32	1.36	1.34
YL	16.30	15.80	16.05	1.01	1.03	1.02
YS	10.86	9.85	10.36	1.08	1.10	1.09
SJ	16.90	15.70	16.30	1.02	1.00	1.03
NT	15.98	14.59	15.29	1.03	1.10	1.06
ZK	10.85	14.03	12.44	1.05	1.07	1.06

注:样地编号代表的具体地类详见表 1。下同。

机修和人工旱梯田(HT₁,HT₂)不同试验地点土壤容水量与渗水率亦具有明显差异,在 180 min 入渗时间里,HT₁ 的土壤容水量为 142 mm,HT₂ 为 105

mm,前者为后者的 135.23%,高低相差 35.23%,差异明显。HP(荒坡地)3 个不同试验地点 180 min 土壤容水量分别为 121 mm(HP₁),128 mm(HP₂),128.5

mm(HP_3); HP_1 分别为 HP_2 和 HP_3 的 94.53% 和 94.16%, 最大相差仅为 5.84%, 差异较小。而 GT (沟台地) 在 366 min 入渗试验期间, 两个不同试验地点土壤容水量分别为 176.5 和 176.8 mm, 相差仅为 0.3 mm, 高低相差仅为 0.17%, 差异不明显。

综上所述, 对于农坡地, 同一地块内, 即使地块面积较小, 小到数十平方米, 各测点土壤容水量也有明显差异。而在不同地点或不同样地, 其容水量相差近 1 倍, 差异较大。NP (农坡地) 土壤容水量差异相差近 1 倍, 差异较大。HT (旱梯田) 高低相差可达 35.23%, 差异明显。HP (荒坡地) 相差最大仅为 5.84%, 差异较小。GT (沟台地) 差异不明显。

2.2 不同地类土壤容水量及渗水率分析

2.2.1 农耕地土壤容水量及渗水率

如表 3 所示, NP (农坡地)、HT (旱梯田)、GT (沟台地)、HP (荒坡地) 之间土壤容水量与渗水率具有明显差异。在入渗时间达到 10 min 时, 农耕坡地、旱作梯田、沟台地土

壤的容水量明显高于荒坡地。在入渗时间达到 30 min 时, 农耕坡地、旱作梯田、沟台地土壤的容水量同样高于荒坡, 但旱作梯田和沟台地的土壤渗水率已经低于荒坡。在入渗时间达到 60 min 时, 农耕坡地、旱作梯田、沟台地土壤容水量高于荒坡地。当入渗时间达到 140 min 时, 农耕坡地、旱作梯田、沟台地土壤的平均容水量分别为 135.9, 102.5, 101.6 mm, 平均土壤渗水率分别为 0.58, 0.54 和 0.43 mm/min, 而荒坡地平均土壤容水量为 101.8 mm, 平均土壤渗水率为 0.60 mm/min。当入渗时间达到 210 min 时, 只有农坡地土壤容水量高于荒坡地。试验结果表明, 在耕作用地中, 农业生产力相对较高的耕地土壤容水量和渗水率较低, 这主要是由于生产力相对较高的耕地在耕作时人畜践踏密度较大, 以致耕作层以下土壤的容重增大, 故其土壤渗水性能降低; 旱梯田及沟台地的土壤容水量和渗水率在入渗开始 30 min 内均高于荒坡, 其后便略低于荒坡。

表 3 不同土地利用下土壤容水量与渗水率

样地 编号	项目	入渗时段/min											
		10	30	50	60	80	90	100	120	140	160	180	210
NP	容水量/mm	38.10	66.30	84.60	92.20	106.80	112.10	118.10	130.10	135.90	154.00	165.50	179.30
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	2.60	1.20	0.88	0.77	0.73	0.58	0.60	0.60	0.58	0.58	0.58	0.46
HT	容水量/mm	28.50	48.70	56.40	60.90	69.50	73.20	81.00	92.00	102.50	111.00	119.50	132.50
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	1.22	0.60	0.40	0.45	0.43	0.37	0.78	0.58	0.54	0.43	0.43	0.43
GT	容水量/mm	24.50	41.10	54.40	60.70	73.00	78.90	84.10	93.10	101.60	109.60	117.20	124.80
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	1.36	0.77	0.67	0.63	0.60	0.59	0.52	0.45	0.43	0.40	0.38	0.38
HP	容水量/mm	17.20	33.30	48.30	54.80	67.70	73.10	78.80	89.70	101.80	113.60	125.70	138.30
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	1.02	0.80	0.69	0.60	0.64	0.54	0.57	0.58	0.60	0.59	0.60	0.44
HF	容水量/mm	35.00	73.00	90.00	113.00	139.00	148.50	158.00	174.00	189.00	202.00	218.00	236.00
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	2.80	1.30	1.30	1.30	1.10	0.95	0.95	0.80	0.75	0.65	0.80	0.60
GL	容水量/mm	7.00	8.90		10.50	11.40	12.00	12.70	13.70	15.50	17.20	18.80	19.70
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	0.60	0.06		0.07	0.02	0.06	0.07	0.03	0.09	0.09	0.08	0.03
RD	容水量/mm	12.50	20.50	29.50	32.50	38.80	42.00	45.40	52.40	57.70	62.50	66.90	75.00
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	0.40	0.60	0.30	0.30	0.32	0.32	0.34	0.35	0.27	0.24	0.22	0.27
YL	容水量/mm	40.30	61.90	73.20	80.50	90.80	95.80	101.30	110.50	118.80	127.00	136.30	146.20
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	2.70	0.82	0.52	0.73	0.51	0.50	0.55	0.44	0.42	0.41	0.47	0.33
YS	容水量/mm	23.60	39.50	53.10	59.50	70.30	75.70	81.20	91.40	99.70	107.90	117.70	128.20
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	2.77	0.76	0.62	0.64	0.54	0.54	0.55	0.46	0.42	0.41	0.49	0.35
SJ	容水量/mm	30.20	61.90	89.00	101.80	123.40	135.60	146.90	171.40	195.60	219.00	241.70	272.00
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	2.24	1.36	1.36	1.26	1.09	1.22	1.13	1.29	1.21	1.17	1.14	1.01
NT	容水量/mm	34.30	60.70	77.70	89.30	110.30	122.30	130.30	148.00	167.00	183.00	198.30	216.30
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	1.52	1.24	0.97	1.16	1.13	1.20	0.80	0.77	0.95	0.80	0.77	0.60
ZK	容水量/mm	23.00	48.60	64.80	73.00	89.70	98.80	104.90	118.90	130.00	146.00	163.00	183.00
	渗水率/(mm·min ⁻¹)	1.64	1.08	0.90	0.82	0.83	0.91	0.61	0.70	0.56	0.80	0.84	0.67

注: NP 项数值为 NP_1 , NP_2 , NP_3 的平均值。

2.2.2 不同地类土壤容水量和渗水率分析

以荒坡土壤为对照, 将不同植被土壤容水量和荒坡土壤容水

量进行比较。分析表 3 可以看出, 人工植被改善土壤入渗性能的作用明显, 其中 HF 是经过隔坡水平台整

地的荒坡,原坡度 24°,原植被盖度 30%~40%,植物种主要有长芒草、短花针茅、冷蒿、早熟禾等,整地坡台比为 1:1,台面宽 1 m。经过 1 a 的封禁保护和自然恢复后,植被盖度达到了 50%~70%。在 10,30,90,120,180,210 min 的入渗时段内,其土壤含水量分别是 35,73,113,174,218,236 mm,分别为荒坡地土壤含水量的 203.49%,219.22%,206.20%,193.98%,173.43%和 170.64%,表明其改善土壤入渗的效果显著。所以仅就增强土壤的入渗性能方面,对荒坡施行人工水平平台整地同样是一种经济而有效的水土保持措施。结果表明,人工沙棘林、人工柠条林等灌木林地的土壤含水量大于乔木林地,而经过水平平台方式整地又封闭管理、试验经过 1 a 植被自然恢复的荒坡土壤含水量又高于多数乔、灌木林地。所以,对于荒坡面积较大,水土流失严重而社会经济条件又暂不能全面治理的半干旱黄土丘陵沟壑区山区,对坡地进行水平平台整地后施行封闭管理,亦不失为一种经济有效的水土保持措施。

2.2.3 GL(黄土公路)和 RD(山区人行道)的土壤含水量和渗水率 试验结果表明,在入渗 10 min 时,样地 GL 和 RD 的土壤含水量分别为 7.0 和 12.5 mm,是荒坡土壤含水量的 40.70%和 72.67%;入渗时间达到 30 min 时,土壤含水量分别为 8.9 和 20.5 mm,是荒坡的 26.73%和 60.96%;入渗时间达到 60 min 时,土壤含水量分别为 10.5 和 32.5 mm,是荒坡的

19.16%和 59.31%;120 min 时,分别为 13.7 和 52.4 mm,是荒坡的 15.27%和 58.42%;入渗 180 min 时,土壤含水量分别为 18.8 和 66.9 mm,是荒坡的 14.96%和 53.22%;210 min 时,分别为 19.7 和 75.0 mm,是荒坡的 14.24%和 54.23%。由此可见,黄土公路和山区人行道的土壤含水量远小于荒坡,因此应充分考虑防止因产生径流所造成的水土流失危害,亦可将其作为收集降雨径流的基地。

2.3 影响土壤含水量和渗水率的主要因素分析

根据实测数据比对分析,认为乘幂函数更适合反映土壤含水量和渗水率的变化,并得出土壤含水量与时间、土壤渗水率与时间关系的函数表达式(表 4)。从表 3 和表 5 可以看出,对于同一种利用状况土地,其土壤容重的大小和土壤含水量的大小表现出了较好的相关性。NP₁, NP₂, NP₃ 的土壤容重分别为 1.06, 1.10, 1.19 g/cm³,其入渗时间达到 180 min 时的土壤含水量分别为 213.5, 170.0 和 113.0 mm,表明土壤容重越大,土壤含水量越小;旱梯田 HT₁ 和 HT₂ 样地土壤容重分别为 1.07 和 1.18 g/cm³,其相对入渗时间达到 180 min 时的土壤含水量分别为 142 和 105 mm,同样表明土壤容重大,则土壤含水量小;黄土公路土壤容重最大,土壤含水量最小。由表 5 所列实测资料看,在土壤含水率为 9.60%~19.02% 范围内,土壤含水率对土壤含水量的影响不明显。所以土壤容重是影响土壤含水量的主要物理特性指标。

表 4 土壤含水量、渗水率与时间的关系式及稳定、最大入渗率

土地利用状况	土壤含水量(y)与时间(t)			土壤渗水率(y)与时间(t)			入渗率/(mm·min ⁻¹)	
	关系式	时间取值范围	R ²	关系式	时间取值范围	R ²	最大	稳定
NP	$y=11.605 0t^{0.507 3}$	$t \in [5, 210]$	0.998 4	$y=8.613 2t^{-0.568 2}$	$t \in [5, 210]$	0.935 8	6.10	0.30
HT	$y=9.420 0t^{0.472 3}$	$t \in [2, 180]$	0.988 6	$y=5.677 6t^{-0.550 3}$	$t \in [2, 180]$	0.791 8	5.80	0.40
GT	$y=8.028 6t^{0.516 4}$	$t \in [2, 366]$	0.991 1	$y=6.937 4t^{-0.554 6}$	$t \in [2, 366]$	0.956 8	6.80	0.30
HP	$y=3.878 9t^{0.653 1}$	$t \in [2, 175]$	0.994 7	$y=2.856 1t^{-0.347 0}$	$t \in [2, 175]$	0.856 1	3.20	0.50
HF	$y=7.187 7t^{0.668 3}$	$t \in [2, 180]$	0.996 4	$y=7.990 9t^{-0.483 3}$	$t \in [2, 180]$	0.879 8	5.00	0.50
GL	$y=2.538 8t^{0.367 7}$	$t \in [5, 242]$	0.953 3	$y=2.068 5t^{-0.750 3}$	$t \in [5, 242]$	0.792 1	0.60	0.03
RD	$y=3.251 3t^{0.572 0}$	$t \in [5, 242]$	0.982 4	$y=1.906 9t^{-0.411 5}$	$t \in [5, 242]$	0.653 6	1.80	0.25
YL	$y=14.243 0t^{0.428 7}$	$t \in [5, 190]$	0.995 4	$y=10.140 0t^{-0.664 0}$	$t \in [5, 190]$	0.884 3	4.80	0.30
YS	$y=4.437 6t^{0.634 0}$	$t \in [5, 180]$	0.982 8	$y=4.721 9t^{-0.483 3}$	$t \in [5, 180]$	0.858 2	2.50	0.20
SJ	$y=5.834 9t^{0.703 9}$	$t \in [3, 182]$	0.997 7	$y=4.224 8t^{-0.281 2}$	$t \in [3, 182]$	0.729 4	5.10	0.40
NT	$y=8.732 4t^{0.587 2}$	$t \in [5, 190]$	0.984 9	$y=7.157 7t^{-0.507 2}$	$t \in [5, 190]$	0.838 8	5.90	0.60
ZK	$y=5.095 6t^{0.659 3}$	$t \in [3, 270]$	0.998 9	$y=3.880 2t^{-0.353 7}$	$t \in [3, 270]$	0.850 9	3.50	0.38

表 5 0—40 cm 土壤容重、土壤含水率、180 min 土壤含水量统计

样地编号	GL	NP ₁	NP ₂	NP ₃	HT ₁	HT ₂	HP ₁	HP ₂	HP ₃	YL	NT	ZK
容重/(g·cm ⁻³)	1.55	1.06	1.10	1.20	1.07	1.18	1.04	1.17	1.10	1.02	1.06	1.06
含水率/%	13.81	16.75	15.57	14.40	19.64	15.25	19.02	9.60	10.32	16.05	15.29	12.44
含水量/mm	18.8	213.5	170.0	113.0	142.0	105.0	121.0	128.0	128.5	136.3	198.3	163.0

3 结论

(1) 在相同的土地利用方式下,由于试验地点的不同,NP(农坡地)土壤容水量相差近 1 倍,差异较大;HT(旱梯田)容水量相差可达 35.23%,差异明显;HP(荒坡地)相差最大仅为 5.84%,差异较小;GT(沟台地)在 366 min 的入渗试验时间里,高低相差仅为 0.17%,差异不明显。

(2) 荒坡经过隔坡水平台整地封闭保护自然恢复植被 1 a 后,土壤容水量高于多数乔、灌木林地。所以,对于荒坡面积较大,水土流失严重而又暂不能实现快速全面治理的半干旱黄土丘陵沟壑区,这种方法不失为一种经济有效的水土保持措施。

(3) 人工植被改善土壤入渗性能的作用明显,人工沙棘林、人工柠条林等灌木林地的土壤容水量大于乔木林地。因此,在半干旱黄土丘陵沟壑区水土保持治理中应该更加重视发展灌木林。

(4) 人行道土壤容水量和渗水率较之荒坡小很多,而黄土公路土壤容水量和渗水率最小。所以道路占地一方面要防止降雨径流的冲刷,另一方面也可用作径流利用的基地。

(5) 土壤含水率在 9.60%~19.02% 的范围内时对土壤容水量的影响不明显。土壤容重越大,土壤容水量越小,故土壤容重是影响土壤容水量的主要土壤物理特性指标。

(6) 影响土壤渗水的因素众多而复杂,受人为因素和自然因素的共同作用。用单环土柱法试验土壤容水量和渗水率,一是暂未考虑雨滴对地面的击溅作用。二是试验操作难免对地表有松动性扰动,而对地表不同程度的松动性扰动又往往较平常更有利于水

分渗入土壤而会使所测取土壤容水量和渗水率相对于在自然降水条件下所产生的数据偏大。环刀与土壤的接触面对水体下渗有无影响或者有多大影响也是需要考虑的因素。三是对同一种土地利用方式下引起土壤容水量和渗水率的差异(如不同植物盖度、坡向)尚需进一步试验研究。

[参 考 文 献]

- [1] Helalia A M. The relation between soil infiltration and effective porosity in different soils[J], Agricultural Water Management, 1993, 24(8): 39-47.
- [2] Egle J D, Moore I D. Effect of rainfall energy on infiltration into a bare soil[J]. Transactions of the ASAE, 1983, 26(6): 189-199.
- [3] Bodman G B, Colman E A. Moisture and energy condition during down and entry of water into soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1944, 8(2): 166-182.
- [4] 贾志军,王富,甄宝艳,等. 坝上地区沙棘林土壤水文效应研究[J]. 河北林业科技, 2009, 2(1): 1-2.
- [5] 刘贤赵,康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [6] 于志民,余新晓. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 45-55.
- [7] 王应期,费喜亮. 孙家岔水土流失特征与水土保持措施减流减沙效益分析[C]// 黄河中游水土保持小流域综合治理试验示范点孙家岔流域鉴定验收会议资料汇编, 1990: 104-128.
- [8] 金正明,张建. 甘肃中部干旱、半干旱区灌木资源调查及主要水保灌木研究[R]. 河南 郑州: 黄河水利委员会, 1992.
- [9] 费喜亮,金正明. 水土流失与水土保持防护体系建设[J]. 人民黄河, 1990(3): 59-62.
- [10] 牟信刚,陈为峰,史衍玺,等. 不同措施在防治山地果园水土流失及面源污染中的应用研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(12): 916-919, 924.
- [11] 水建国,柳俊,廖根清,等. 不同自然植被管理措施对红壤丘陵果园水土流失的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 42-46.
- [12] 王晓龙,李辉信,胡峰,等. 红壤小流域不同土地利用方式下土壤 N, P 流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 31-34.
- [13] 张展羽,左长清,刘玉含,等. 水土保持综合措施对红壤坡地养分流失作用过程研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 41-45.
- [14] 张国华,张展羽,王倪进,等. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(5): 19-22.
- [15] 郑子成,吴发启,何淑勤. 耕作措施对产流作用的研究[J]. 土壤, 2004, 36(3): 327-330.
- [16] 王健,吴发启,孟秦倩. 农业耕作措施蓄水保土效益试验研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 39-41.
- [17] 徐香兰,张科利,徐宪立,等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 13-15.
- [18] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 471-489.

(上接第 4 页)