

黄土高原坡面集水工程的抗旱造林技术研究\*

余新晓<sup>1</sup>,陈丽华<sup>1</sup>,张晓明<sup>1</sup>,杨锋伟<sup>1,2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083;  
2. 国家林业局 科学技术司,北京 100714)

**摘 要:**选取 4 种不同的坡面集水处理(有机硅、拍光、地衣和草坡)措施,探讨抗旱造林的坡面集水技术对降雨集水量、集水率的影响,以及坡面集水处理对林木生长的影响,旨在为黄土高原地区生态建设提供基础理论依据和具体的抗旱节水造林方案。结果显示,集水量和集水率最大的是有机硅处理面,而后依次是水泥处理面、地衣处理面、拍光处理面和荒草面,从生态角度考虑,地衣处理面最佳。拍光面和地衣面促进林木生长的效果远大于普通面、地衣面促进林木生长的作用大于拍光面的作用。选取 6 种造林密度条件下刺槐林地的水分利用效率、降水生产效率、蒸散水分生产效率和蒸腾水分生产效率进行对比分析,结果为随着刺槐造林密度的降低,其 4 种效率均得以提高。

**关键词:**坡面集水工程;抗旱造林技术;黄土高原

**中图分类号:**S728.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)01-0023-05

Study on Anti-arid Afforestation Technology Based  
on Slope Catchment Project in Loess Plateau

YU Xin-xiao<sup>1</sup>,CHEN Li-hua<sup>1</sup>,ZHANG Xiao-ming<sup>1</sup>,YANG Feng-wei<sup>1,2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation in Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Department of Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

**Abstract:** This paper selected 4 different slope catchment measures (organic silicon, bare and smooth, lichen and grass slope), and discussed the effect of slope catchment project on catchment rainfall amount and catchment rainfall efficiency, and on stand growth either. This paper aimed at offering the basic theoretic foundation for the Loess Plateau ecological construction and drought resistant and water saving forestation scheme. The results show that: the maximum of catchment rainfall amount and catchment rainfall efficiency is organic silicon surface, next order is concret surface, lichen surface, bare and smooth surface and grass slope surface; but, on the considering of ecological, bare and smooth surface is the best; bare and smooth surface and lichens surface can accelerate the forest growth than that of the common surface, and the lichen surface have more effect than the bare and smooth surface. This paper chose 4 efficiencies of *Robinia pseudoacacia* under 6 stand density including water use efficiency, rainfall production efficiency, evapotranspiration water production efficiency and transpiration water production efficiency. With the decreasing of stand density of *Robinia pseudoacacia*, all the four efficiencies have been improved.

**Key words:** slope catchment project; anti-arid afforestation technology; the Loess Plateau

1 引言

干旱问题是一个世界性难题,我国干旱半干旱地区面积约占全国土地面积的 52.5%,黄土高原干旱是普遍现象<sup>[1]</sup>,而该区恶劣生态环境改变的必由之路就是恢复植被。由于林业用地的复杂性,黄土高原地区引水灌溉几乎是不可能,因此天然降水便成为当地林业生产用水的惟一来源<sup>[2]</sup>。黄土区由于林木强烈的蒸发散和根系的吸水作用,深层土壤水分的供给作用逐渐消失,树木只能依靠当年降水生长,呈现生长量受降水量制约的局面。水因子已经严重限制了造林成活率和成活林木的生长,使抗旱节水造林的技术成为急需解决的问题<sup>[3-6]</sup>。

国内外抗旱节水集流技术研究主要从两个方面进行,即增加造林地水分的有效供给和降低无效耗水量,其中主要是以增加土壤水分有效供给的表层径流的收集为主,同时,通过不透水的天然地表层、改变土壤结构、土壤表层处理和地面覆盖等集水区<sup>[7-8]</sup>。集水系统的成功与否在很大程度上决定于雨水的收集效果。尽管所集径流量的大小在前提上取决于降雨量、降雨强度、土壤前期含水量及入渗能力,但集流率的大小还与集水区表面状况关系密切<sup>[8-9]</sup>。我国将集水技术用于农业生产的报道还不多见。在抗旱造林中多采用水平阶、水平沟、鱼鳞坑等简单的整地方式进行集水以提高造林成活率,但取得的效果并不显著。王斌瑞等在年降水量不

\* 收稿日期:2006-12-29

基金项目:林业科学技术研究项目(2003-045-L45)

作者简介:余新晓(1961-),男,教授,博士生导师,主要从事森林水文和水土保持研究。

足 400 mm 半干旱黄土丘陵地区采用径流林业配套措施,改善林木生长的土壤水分条件,使树木根系分布层内的来水量达到每年 1 000 mm 以上,造林成活率达 95 % 以上,加速了林木生长,使抗旱造林有了突破性的进展<sup>[10-11]</sup>。

本研究选取自然草坡、拍光、拍光 + 喷涂有机硅、拍光 + 喷涂中性水泥、拍光 + 地衣等 5 种坡面处理方式,分析其对坡面产流量和产流率的影响,同时,研究不同处理方式下林木的生长状况,以总结坡面集水整地技术在黄土高原干旱半干旱地区抗旱造林中的重要作用。

2 研究区概况及研究方法

2.1 试验区概况

研究区为山西省吉县蔡家川流域,位于黄土高原西南部,地理坐标为北纬 35°53' - 36°21',东经 110°27' - 111°07'。年平均降水量为 579.5 mm,集中于 7 - 9 月,无霜期平均 170 d 左右,年平均气温 10℃。属于暖温带、半湿润地区,半湿生落叶阔叶林与森林草原地带。土壤类型为褐土,普遍呈碱性。流域中上游植被类型主要为白桦(*Betula platyphylloides*)、山杨(*Populus davidiana*)、丁香(*Syringa oblata*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana* Decne)等组成的天然次生林,中游为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等树种组成的人工林及天然草本植被,以及山杨(*Populus davidiana*)沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、绣线菊(*Spiraea thunbergii*)、黄刺玫(*Rosa Yanthin* Lndl)等组成的天然次生灌草植被。

2.2 研究方法

主要采用坡面对比研究法,即对 5 种不同处理的抗旱集水造林坡面所产生的水文效应进行对比分析,以及在不同坡面条件下,对林木生长状况的对比分析。

采用不同规格大小的固定径流试验场观测地表径流,径流试验场分为不同的坡度(12°和 15°),坡面处理分别为自然草坡、拍光、拍光 + 喷涂有机硅、拍光 + 喷涂中性水泥和拍光 + 地衣 5 种。运用自动观测设备测定每一场降雨下不同处理坡面的产流量、产流率、产流时间和 30 min 雨强,同时测定不同密度条件下,不同处理坡面上林木的生长状况,测定

其生物量的变化。

林木生长量采用林木生长前、中、后期的标准地每木检尺调查和年际解析木调查相结合的方法。叶面积采用美制 LF3000A 型叶面积仪进行实地测定。刺槐叶面积的测定方法是在标准木不同部位确定标准枝,在确定标准枝叶面积和叶重之比值后,由全枝叶重推算全株总叶面积。

3 结果与分析

3.1 坡面集水整地技术对产流量与产流率的影响

降落到地表的雨水主要通过下渗、地表径流和蒸发的方式进行分配。通过坡面处理,能够减少坡面入渗,增加坡面径流。最大可能地将雨水集中于所抚育林木的根部,以保证林木生长不受水分的限制,从而提高林木的存活率和生长率,减少或避免了小老头树的出现。

通过观测时段内不同降雨条件下同面积、同坡度(12°、15°)集水整地处理坡面所表现出的产流量(产流率)的显著差异,来对比分析不同处理面对径流量和产流率的影响。其中降雨特征分 4 种:所遇最大雨量(42.1 mm)、最小雨量(4.6 mm)和中等雨量(23.4 mm),最大历时降雨(660 min)、最小历时降雨(30 min)和中等历时降雨(420 min),最大平均雨强(2.1 mm/h)、最小平均雨强(0.02 mm/h)和中等平均雨强(1.7 mm/h)及 30 min 最大雨强(9.2 mm/h)、30 min 最小雨强(1.4 mm/h)和 30 min 中等雨强(5.0 mm/h)。

由图 1 可知,在 12°坡度条件下,有机硅处理面径流量最大,3 种类型降雨下的径流量分别为:198.7、22.5、70.8 kg,地衣处理面和拍光处理面随其后,荒草面径流量最小,分别为:83.5、1.0、37.5 kg;在最大、最小和中等历时降雨条件下,有机硅处理面的径流量仍最大,分别为:70.7、22.6、40.4 kg,地衣处理面、拍光处理面次之,最小为荒草面,分别为:8.8、1.0、1.0 kg;在最大、最小和中等平均雨强下,有机硅处理面径流量最大,分别为:73.9、34.3、40.9 kg,地衣处理面次之,拍光面居三,荒草面居四,分别为:10.6、4.6、7.7 kg;在 30 min 最大、最小和中等雨强条件下,有机硅处理面径流量最大,分别为:22.6、34.3、198.7 kg,地衣处理次之,拍光面第三,荒草面最小,分别为:1.0、4.6、83.6 kg。

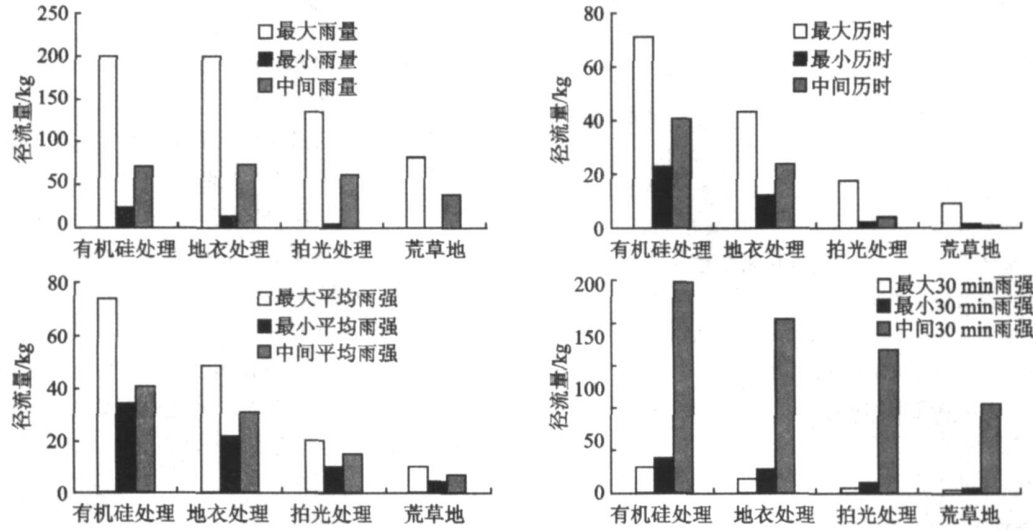


图 1 12°不同处理坡面在不同降雨条件下的径流量

在 15°坡度条件下,对有机硅处理面、水泥处理面和拍光处理面进行对比,其结果如下:在所遇最大、最小和中等雨量

3 种情况下,同面积、同坡度的 3 种坡面相差很大。其中有有机硅处理面径流量最大,分别为:194.8,23.0,72.3 kg,水泥处理面次之,第三是拍光处理面,分别为:151.6,2.6,61.6 kg;在最大、最小和中等历时降雨下,有机硅处理面的径流量仍为最大,水泥处理面次之,第三为拍光处理面;在最大、最小和中等平均雨强下,有机硅处理面径流量最大,分别为:67.6,37.5,41.7 kg,水泥处理面次之,拍光面居三,分别为:17.6,11.8,14.9 kg;在 30 min 最大、最小和中等雨强下,有机硅处理面径流量最大,分别为:194.8,23.0,37.5 kg,水泥

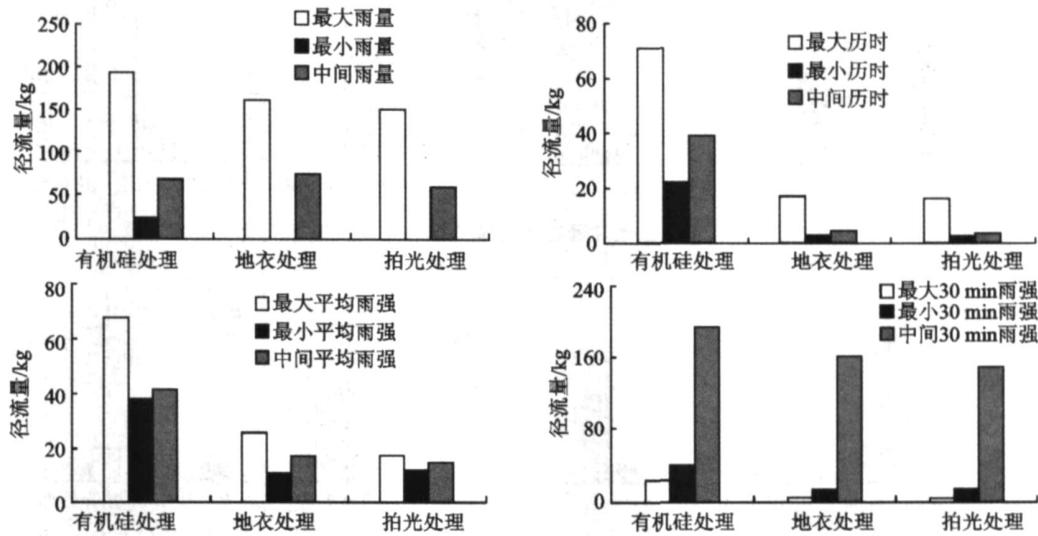


图 2 15 不同处理坡面在不同降雨条件下的径流量

同样,见图 3 和图 4,分析比较了不同降雨条件下,12 和 15 有机硅处理面、地衣处理面、拍光处理面和荒草面的降雨产流率,显然 12 坡面条件下,在各雨量降雨、各历时降雨、各平均雨强降雨等条件下,有机硅处理面产流率最大,其次为地衣处理面,第三为拍光处理面,荒草面产流率最小;15 坡面条件下,在各雨量降雨、各历时降雨、各平均雨强降雨等条件下,对有机硅处理面、水泥处理面和拍光处理面的产流率进行对比,发现有有机硅处理面产流率仍为最大,水泥面第二,拍光处理面居第三。

3.2 不同集水整地处理坡面的产流模型

根据径流试验场径流观测结果,采用 2004 年和 2005 年 75 场降水过程中产生的 44 场径流过程数据,对有机硅、拍光、地衣和草坡对照 4 种不同处理,应用多变量双重筛选回归分析,建立以下产流模型。

- (1) 有机硅处理坡面产流模型:  
$$Y_1 = - 55703.73 + 6328.74x_1 + 3011.773x_4 + 5931.951x_6$$

(1)
- (2) 拍光压实处理坡面产流模型:  
$$Y_1 = 8898.961 + 7833.845x_1 - 150.7316x_2 - 8299.231x_3$$

(2)
- (3) 拍光 + 地衣处理坡面处理模型:  
$$Y_1 = - 5934.667 + 10058.352x_1 + 1733.191x_4$$

(3)
- (4) 自然草坡对照坡面产流模型:  
$$Y_1 = - 25182.03 + 2589.5x_1 + 4174.577x_4$$

(4)
- 式中:  $Y_1$  ——径流量 (ml);  $x_1$  ——降雨量 (mm);  $x_2$  ——降雨历时 (min);  $x_3$  ——平均雨强 (mm/h);  $x_4$  ——最大 30 min 雨

处理次之,拍光面第三(图 2)。  
从图 1 和图 2 可看出,几乎在任何降雨条件下,有机硅处理面的径流量均为最大,其次是地衣处理面,第三为拍光处理面,最后为荒草面;水泥处理面的产流效果在有机硅处理面之后,在拍光处理面之前。在实际生产中,有机硅处理面存在一定问题,有机硅为化学物质,随着年限的增加,其增加地表径流的功能会随之下降;然而地衣处理方式可以弥补这一缺陷,因为地衣为不断生长的生物,只要管理措施得当,一般不会出现功能退化问题。

强 (mm/0.5 h);  $x_5$  ——径流小区坡度;  $x_6$  ——径流小区面积 ( $m^2$ );  $x_7$  ——径流小区土壤前期含水量 (%) ;

其关系表明,降水量和最大 30 min 降水强度是最主要的影响因子,该结果与黄土地区的其它观测结果是一致的。前期土壤含水量的数据,采用了定时观测数据,其不易准确反映降雨前的实际情况,另一方面由于黄土地区土壤包气带变化较为复杂,所以在筛选回归运算中没有反映出该因子的影响。各试验小区的坡度为 12 ~ 18°,筛选回归运算结果表明,该坡度范围内影响径流发生的土壤地形因子主要决定于土壤表面的防渗处理技术。

3.3 抗旱集水整地处理对林木生长的影响

本研究在不同密度条件 (3 m × 3 m 和 3 m × 4 m) 下,对比了拍光面和有机硅处理面对苹果林水分利用效率、降水生产率、蒸腾水分生产率和蒸散水分生产效率的影响,同时在相同密度条件下,以普通面为参照,对比了拍光面和地衣面对单株刺槐和刺槐林分生物量年递增量的影响;另外研究不同密度 (1.5 m × 2 m, 1.5 m × 3 m, 1.5 m × 5 m, 1.5 m × 6 m, 1.5 m × 7 m, 1.5 m × 8 m) 对刺槐分利用效率、降水生产率、蒸腾水分生产率和蒸散水分生产效率的影响。

所谓林木水分利用效率是反映林木蒸腾作用在整个林地生态系统水分循环中所处的地位,可表示为林木蒸腾量占林木根际层所获总水量的百分比,即:

$$WUE_p = \frac{T}{R} \times 100\%$$

(5)

式中:  $T$  ——林木蒸腾量 (mm);  $R$  ——林地有效降水量 (mm)。

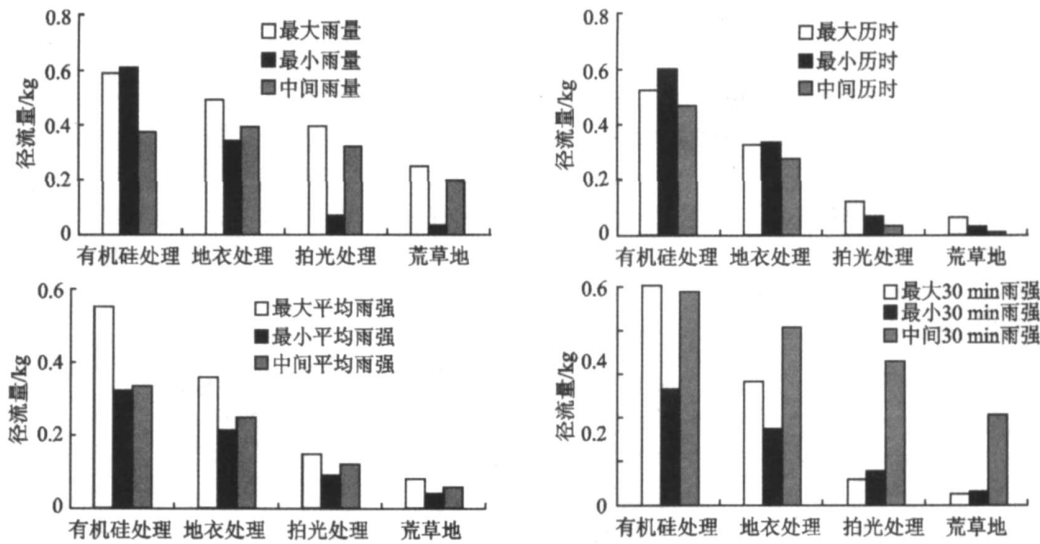


图 3 12°不同处理坡面在不同降雨条件下的产流率变化

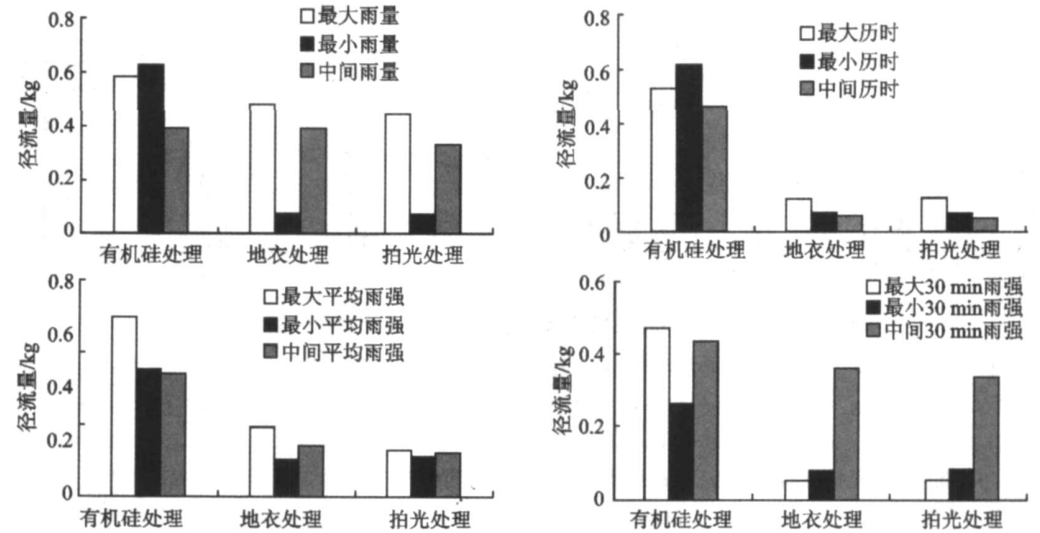


图 4 15°不同处理坡面在不同降雨条件下的产流率变化

植物水分生产效率是植物消耗单位水量生产出的同化物质或干物质质量,即:

$$WPE = Y / WU \tag{6}$$

式中:Y——产量,WU——用水量。

根据植物所消耗水量的归类,其又可分为:降水生产效率( $WPE_{dp}$ )、灌溉水生产效率、蒸腾水分生产效率( $WPE_{dT}$ )和蒸散水分生产效率( $WPE_{dE}$ )。该研究中采用降水生产效率、蒸腾水分生产效率和蒸散水分生产效率为指标。

降水生产效率是一定地区当年的单位降水所生产的生物产量,表现出对降水的有效利用状况或开发程度。

蒸腾水分生产效率和蒸散水分生产效率是消耗单位数量水分的实际生产能力,是具体水分生产力水平的反映。

相应地林分群体水平的水分生产效率

$$WPE_{fP} = Y_f / P \tag{7}$$

$$WPE_{fE} = Y_f / EP \tag{8}$$

$$WPE_{fT} = Y_f / T \tag{9}$$

式中: $WPE_{fP}$ 、 $WPE_{fE}$ 和 $WPE_{fT}$ ——林分的降水生产效率、林分蒸散水分生产效率和林分蒸腾水分生产效率 [ $\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ]; $P$ 、 $ET$ 和 $T$ ——有效降水量、林分平均蒸散耗水量和平均林分蒸腾量( $\text{mm}$ )。

由表 1 可见,在不同密度条件(3 m × 3 m 和 3 m × 4 m)下,观测了拍光和喷洒有机硅处理面下苹果林生长状况,计算了苹果林的水分利用效率、降水生产率、蒸腾水分生产率和蒸散水分生产效率。其中,拍光面条件下,密度 3 m × 3 m 和 3 m × 4 m 的苹果林水分利用效率分别为 48.1%,57.1%,有机硅面条件下,分别为:56.7%,59.8%;拍光面的苹果林降水水分生产率分别为:27.7%,28.6%,有机硅面分别为 31.3%,35.5%;拍光面的苹果林蒸腾水分生产率分别为 57.7%,50.1%,有机硅面分别为 55.3%,59.4%;拍光面的苹果林蒸散水分生产效率分别为 26.6%,27.1%,有机硅面分别 29.5%,33.5%。不同林分密度下,有机硅面的苹果水分生产利用效率、降水水分生产效率、蒸腾水分生产效率和蒸散水分生产效率几乎都大于拍光面条件下的结果。

另外选取一个普通面为参照,对比分析地衣处理面和拍光面条件对单株刺槐生物量年递增量的影响;同时,对比分析其对刺槐林分生物量年递增的影响。见表 2,与参照面相比,拍光面和地衣面促进林木生长的效果远远大于普通面。第一年,拍光面条件下单株生物量的年递增量为:5.8 kg/(株 · a),林分生物量的年递增量为:5 778 kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );地衣面分别为:5.8 kg/(株 · a),5 812 kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );对

照面分别为:3.1 kg/(株·a),3 126 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。第二年,拍光面分别:4.4 kg/(株·a),4 363 kg/(hm<sup>2</sup>·a);地衣面分别为:5.1 kg/(株·a),5 061 kg/(hm<sup>2</sup>·a);对照面分别为:2 kg/(株·a),1 999 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。结果显示,地衣面促进林木生长的作用大于拍光面的作用。

水是黄土高原干旱半干旱地区林业建设的限制性因子,造林密度决定了单株林木的水分营养面积。抗旱集水造林的整地中,集水面的面积视为林木的单株水分面积。不仅坡面处理方式影响林木的生长,同时,造林密度也强烈影响着林木的生长状况。如图 5,6 种密度(1.5 m×2 m,1.5 m×3 m,1.5 m×5 m,1.5 m×6 m,1.5 m×7 m,1.5 m×8 m)条件下刺槐林地的水分利用效率、降水生产效率、蒸散水分生产效率率和蒸腾水分生产效率,几乎随着刺槐造林密度的降

低,其 4 种效率均得以提高。

表 1 不同处理面苹果林生长的影响

处理	密度 m ×m	kg/(mm·hm <sup>2</sup> ·a)			
		水分利用效率	降水生产	蒸散水分	蒸腾水分
		$WUE_R$	$WPE_{dp}$	$WPE_{dE}$	$WPE_{dT}$
拍光面	3 ×3	48.09	27.73	26.56	57.67
有机硅处理面		56.67	31.27	29.46	55.28
拍光面	3 ×4	57.06	28.60	27.18	50.12
有机硅处理面		59.77	35.49	33.51	59.38

表 2 不同处理面对刺槐单株和林分生长的影响

时间	试验处理	密度 m ×m	平均胸径/ cm	平均树高/ m	单株生物量/ (kg·株 <sup>-1</sup> )	林分总生物量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	单株生物量	林分生物量
							年递增/ (kg·株 <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	年递增/ (kg·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
2004 年	拍光面	2 ×5	8.2	7.1	21.9	21902.0	5.8	5778.0
	地衣面	2 ×5	8.7	7.2	25.4	25426.3	5.8	5812.0
	对照面	2 ×5	7.1	6.9	10.8	10840.4	3.1	3125.6
2005 年	拍光面	2 ×5	8.5	7.2	26.8	26788.6	4.4	4363.0
	地衣面	2 ×5	8.8	7.2	32.4	32388.2	5.1	5061.2
	对照面	2 ×5	7.3	6.9	14.5	14505.5	2.0	1998.7

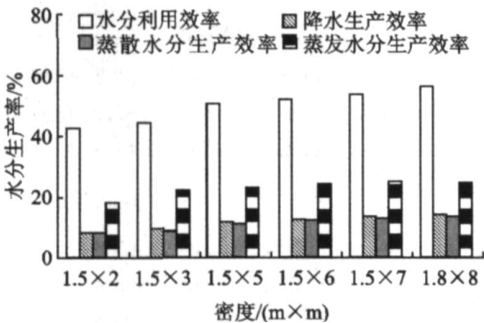


图 5 2004 年不同密度下刺槐水分生产率

4 结 论

(1)通过对比研究,得出 5 种不同坡面处理方式对集水水量和集水率的影响,在 12 和 15 两个不同坡度条件下,集水水量和集水率最大的是有机硅处理面,而后依次是水泥处理面、地衣处理面、拍光处理面和荒草面;从生态角度考虑,地衣处理面最佳,因为水泥处理和有机硅处理对土壤环境均有一定的影响,特别是水泥处理。

(3)根据径流试验场径流观测结果,对 4 种处理面(有机硅、拍光、地衣和草坡),应用多变量双重筛选回归分析,建立了产流模型,由模型表明,在 12~18 范围内影响径流发生的土壤地形因子主要决定于土壤表面的防渗处理技术。

(4)对比了拍光面和有机硅处理面对林木生长的影响,不同林分密度下,有机硅面的苹果林地水分生产利用效率、降水水分生产效率、蒸腾水分生产效率和蒸散水分生产效率几乎都大于拍光面条件下的结果。以普通面为参照,对比了拍光面和地衣面对林木生长的影响,与参照面相比,拍光面和地衣面促进林木生长的效果远远大于普通面,地衣面促进林木生长的作用大于拍光面的作用。

(5)造林密度显著影响林木的生长状况,6 种密度条件

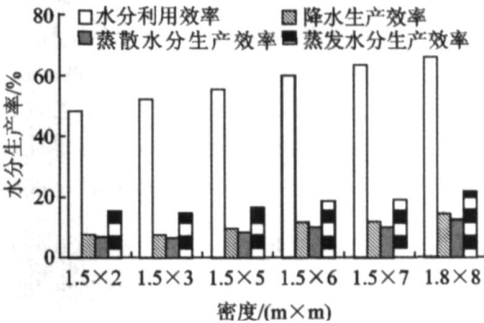


图 6 2005 年不同密度下刺槐水分生产率

下刺槐林地的水分利用效率、降水生产效率、蒸散水分生产效率和蒸腾水分生产效率,几乎随着刺槐造林密度的降低,其 4 种效率均得以提高。

参考文献:

[1] 蔡守华.论我国农业干旱特点[J].中国灾害,1996,3(6):25-27.

[2] 任福民,史久恩.我国干旱半干旱区降水的特征分析[J].应用气象学报,1995,4(6):501-504.

[3] 贺康宁,田阳,史常青,等.黄土半干旱区集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J].林业科学,2003,39(1):10-16.

[4] 李吉跃.太行山主要造林树种耐旱特性的研究( ):耐旱生产力[J].北京林业大学学报,1991,13(增刊):266-279.

[5] 王斌瑞.晋西黄土高原主要树种凋萎湿度的研究[J].北京林业大学学报,1988,10(4):17-23.

[6] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994:122-147.

棘和以中华卷柏为主要群落的老荒坡土壤侵蚀量最小,沟蚀量为  $0.10\text{ kg/m}^2$ ,刺槐和沙棘由于其地表存在大量的枯枝落叶,对降水起拦截作用,增加了土壤表层降水入渗,减少了地表径流,从而使得样方侵蚀量很小。而柠条等人工林地表面枯枝落叶量少,加之坡度、坡位等因素,从而导致样地侵蚀量较刺槐和沙棘大;以白羊草、铁杆蒿和芨芨草为优势种的群落土壤侵蚀量差异不大,农耕地土壤侵蚀量较大,土壤侵蚀量最大的依然是以猪毛蒿为优势种的群落,其土壤侵蚀量达到了  $7.51\text{ kg/m}^2$ ,是沙棘和刺槐土壤侵蚀量的 71 倍。从样地沟蚀量来看,人工刺槐、沙棘群落抗侵蚀性能最强,以猪毛蒿为优势种的群落抗侵蚀性能仍旧是最弱的,其它群落抗蚀性能依旧居中。

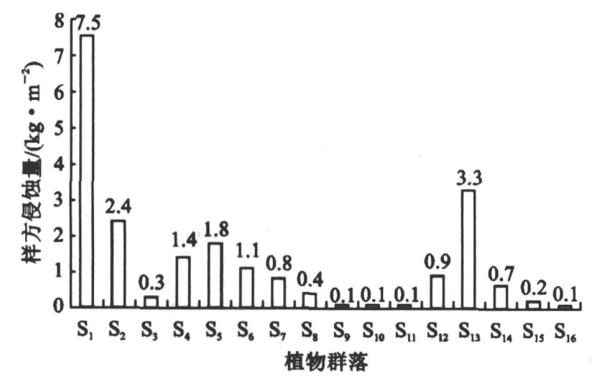


图 5 不同植物群落样地土壤侵蚀量

4 结 论

- (1)从土壤有机质含量指标讲,老荒坡和狼牙刺群落抗侵蚀能力最强,其次是刺槐、沙棘等人工林地,以猪毛蒿为优势种的群落和农耕地抗侵蚀能力最弱。
  - (2)从土壤团聚度、分散率和分散系数看,刺槐和黄刺玫群落抗侵蚀性能最强,农耕地和以猪毛蒿为优势种的群落抗侵蚀性能最差,人工林地和其它退耕还草地抗蚀性能居中。
  - (3)从土壤生物结皮看,抗蚀性以芨芨草为优势种的群落>以铁杆蒿为优势种的群落>以猪毛蒿为优势种的群落。
  - (4)从土壤侵蚀量来看,刺槐和沙棘群落抗侵蚀性能最强,以猪毛蒿为优势种的群落抗侵蚀性能最弱。
- 从以上结果可以看出,植物群落抗侵蚀能力大小排序为:老荒坡,狼牙刺>刺槐,黄刺玫,沙棘>柠条>白羊草,芨

蒿>铁杆蒿>猪毛蒿,农耕地。退耕还草还林地以狼牙刺群落、人工沙棘群落和白羊草群落抗侵蚀性能最好,有效地减少了水土流失,其它群落抗蚀性能居中,猪毛蒿群落抗侵蚀性能最弱,容易产生水土流失,应注意加强防治措施,否则一旦水土流失加剧,将给治理带来较大困难。老荒坡抗蚀性能较强,农耕地抗蚀能力有待提高,生产上应注意精耕细作,增施有机肥,逐步改善土壤结构,增强土壤抗侵蚀能力。

参考文献:

[1] 曲格平. 保护水土资源,改善生态环境,造福子孙后代[J]. 中国水土保持,1996(8):4-5.

[2] 朱波,陈实,游祥,等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建[J]. 土壤学报,2002,39(5):743-749.

[3] 程积民,万惠娥,王静. 黄土丘陵区山桃灌木林地土壤水分过程与调控恢复[J]. 土壤学报,2003,40(5):691-696.

[4] 丁文峰,李占斌. 土壤抗蚀性的研究动态[J]. 水土保持科技情报,2001(1):36-39.

[5] 高旺盛,董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价:以安塞县为例[J]. 自然资源学报,2003,18(2):182-188.

[6] 李代琼,姜峻,梁一民,等. 安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J]. 水土保持研究,1996,3(2):66-74.

[7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978:34-88.

[8] 郑粉莉,高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安:陕西人民出版社,2000:49-67.

[9] 姜培坤,钱新标,余树全,等. 千岛湖地区天然次生林地植落物与土壤状况的调查分析[J]. 浙江林学院学报,1999,16(3):260-264.

[10] 李新荣,张景光,王新平,等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究[J]. 植物学报,2004,42(9):965-970.

[11] 邵玉琴,赵吉. 库布齐固定沙丘土壤微生物数量与土壤生态因子的研究[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,1997,28(5):715-719.

(上接第 27 页)

[7] 刘文宏,赵安成,张西宁. 黄土高原沟壑区集水造林整地形式试验研究[J]. 中国水土保持,2006(10):62-64.

[8] Wang Baitian, Tian Jinghui, Zhang Fure. Design methrod of rainwater harvesting system for afforestation in Loess Plateau[J]. Forestry Studies in China,2002,4(1):29-34.

[9] 王斌瑞. 土内保墒措施在黄土高原对油松生长的影响[J]. 干旱区研究,2000,1(17):12-16.

[10] 王斌瑞,王百田. 黄土高原径流林业[J]. 北京:中国林业出版社,1996:17-31.

[11] 沈芳,贺康宁,张光灿. 黄土半干旱区集水造林地刺槐的林木生产力和水分生产潜力[J]. 水土保持学报,2002,1(5):58-60.