

黄土丘陵区油松人工林地土壤

水分特征的研究*

刘向东 吴钦孝 赵鸿雁

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所)

摘 要

本文作者研究了25~28年生人工油松(*Pinus tabulaeformis*)林地土壤水分在6m剖面上的分布状况、补偿能力、季节动态以及坡向、部位对土壤水分的影响和采伐迹地土壤水分的恢复能力。研究表明,人工油松林土壤水分含量很低,在整个剖面上通常变化在9%~11%之间,低于稳定湿度;在雨季末,林地土壤水分补偿深度为100~200cm;土壤水分季节动态,在强烈利用层十分活跃,变幅为13.5%~26.5%,在利用层变化较小,平均为10.0%~15.0%。油松人工林采伐迹地土壤水分恢复能力强,当年可恢复到2.8m,达稳定湿度以上,3年可恢复到4.0m,含水量达13.0%~18.0%。

关键词 人工油松林 土壤水分特征

STUDIES ON SOIL MOISTURE CHARACTERISTICS IN PLANTATION OF CHINESE PINE IN LOESS HILLY REGION

Liu Xiangdong Wu Qinxiao Zhao Hongyan

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under The Chinese
Academy of Sciences and The Ministry of Water Conservancy)

Abstract

The distribution of soil moisture, its compensation ability and dynamics in season in soil profile of 6m., as well as, the influence of the exposure and position of slope on soil moisture and its restoring ability in cut-over land were studied in plantation of *P. tabulaeformis* at the age of 25~28. The results of the studies indicated that the soil moisture content in the plantation varied usually from 9% to 11% in all profiles, that is lower than stable humidity. The compensation depth of soil moisture in the end of raining sea-

son reached 1~2m. The soil moisture content in the layer of intensive utilization fluctuated from 13.5% to 26.5%, in utilization layer, on an average, 10.0%~15.0%, and in the layer of adjustment for supplement it was mainly stable, the annual amplitude was only 9%~10%. The restoring ability of soil moisture in the cut-over land of *P. tabulaeformis* plantation was great, the soil moisture might be restored to the depth of 2.8m the same year and of 4.0m in 3 years, where the soil moisture content reached 13.0%~18.0%.

Key words plantation of *P. tabulaeformis* soil moisture characteristics

人工油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林是黄土丘陵半湿润区的主要人工林类型。它分布范围广, 保持水土能力强, 生产力较高, 除经营为水土保持林、水源涵养林外, 还可培养为用材林, 在治理和开发黄土高原中具有重要作用。但在黄土丘陵区营造油松林以后, 由于林木大量消耗土壤水分, 使林地土壤水分生态环境发生变化, 归纳起来有以下特点:

1 土壤含水量低

1988~1990年, 我们在宜川县铁龙湾林场富曲营林区对25年生人工油松林地的土壤水分进行定期观测, 现取早期土壤水分资料列表1。表中梁顶油松林(b)为初植时密度, 每公顷5100株, 其他两个林分于1983年进行过抚育间伐, 梁顶油松林(a)每公顷2400株, 半阴坡油松林每公顷2250株。由表可见, 在0~600cm内, 三类林分的土壤含水量均较低, 但各年有所不同。1988、1990年除浅层外, 三类林分通体变化在9%~11%之间, 且差异很小。由于1988年降水较丰富, 1989年在梁顶油松林(a)和半阴坡油松林土壤水分可补偿层的100~220cm土层含水量较高外, 其余各层以及梁顶油松林(b)地的整个剖面均变化在8%~11%之间。

早期土壤水分分布状况, 代表了林地土壤水分特征, 上述分析表明, 宜川县人工油松林地土壤水分, 除丰水年可能有一较高含水层外, 通常处于干燥水平, 土壤含水量约为田间持水量的50%。

2 不同坡向和不同部位的土壤水分差异较小

黄土丘陵区地形多变, 土壤水分生态环境受到坡向、部位的影响, 一般认为, 阴坡高于阳坡, 坡下部高于坡上部。但在林木消耗水分的影响下, 不同坡向, 不同部位的土壤水分变得比较微弱。试验区的油松林, 主要分布于沟沿线以上的东坡、北坡、西北坡。表2为解冻结束后和干旱期不同坡向、不同部位的土壤水分状况。从表中可见, 除表层外, 无论是在解冻以后, 还是在干旱时节, 差异较小。在融冻后, 0~80cm土层极差为4.1%~8.0%, 80~200cm土层仅差1.9%~2.5%, 其中山坡下部稍高, 与上部相比, 除表层外, 东坡相差0.1%~2.3%, 北坡相差0.8%~4.0%, 西北坡差0.1%~

2.7%; 在干旱期, 0~40cm土层极差为3.5%~4.6%, 40~200cm土层亦仅差1.9%~2.5%。

表 1 25年生油松人工林地不同部位和不同林分密度的土壤水分状况

土层深度 (cm)	梁 顶 油 松 林 (a)			梁 顶 油 松 林 (b)			半 阴 坡 油 松 林		
	1988年 5月22日	1989年 5月29日	1990年 5月18日	1988年 5月22日	1989年 5月29日	1990年 5月19日	1988年 5月19日	1989年 5月29日	1990年 5月18日
0~20	14.8	8.0	38.0	15.6	7.5	32.8	14.6	8.9	30.4
20~40	11.7	11.9	18.0	11.2	9.6	18.7	13.5	10.2	21.1
40~60	10.8	11.0	14.8	10.7	9.7	14.6	11.5	11.8	17.2
60~80	10.8	11.1	12.6	10.4	9.8	12.6	10.3	11.6	14.4
80~100	10.8	11.8	10.8	10.6	10.2	11.2	9.5	12.5	12.4
100~120	10.9	13.0	10.5	10.4	10.7	10.5	9.4	12.5	10.8
120~140	11.2	13.0	10.9	10.4	10.5	10.8	9.4	11.9	10.5
140~160	11.1	13.5	11.4	10.6	10.9	11.4	9.4	13.5	10.7
160~180	10.9	14.6	11.4	10.7	11.7	11.4	9.5	14.8	11.0
180~200	10.5	14.7	10.9	10.5	11.2	10.9	9.8	14.3	10.6
200~220	9.8	13.6	10.8	10.3	11.0	10.6	10.0	13.8	10.7
220~240	9.8	11.4	10.7	11.0	10.4	10.4	10.1	13.0	10.9
240~260	9.7	10.7	9.9	10.5	9.0	9.9	10.3	12.7	10.6
260~280	9.4	10.4	9.3	9.6	8.9	9.3	10.4	12.3	10.4
280~300	9.3	9.8	9.0	9.4	9.0	8.9	10.0	12.0	9.8
300~320	9.0	9.8	9.1	9.2	8.8	9.2	9.9	11.5	9.8
320~340	8.9	9.8	9.2	9.3	8.9	9.3	10.0	10.8	11.5
340~360	9.5	9.3	9.1	9.5	8.6	9.2	9.7	10.0	9.7
360~380	10.7	9.0	9.5	9.2	8.1	9.6	9.3	10.0	9.6
380~400	10.8	9.0	9.6	9.4	8.3	9.6	9.4	10.3	9.4
400~420	10.8			9.5			9.5		
420~440	10.0			9.8			9.6		
440~460	10.0			10.2			10.0		
460~480	9.6			10.8			10.1		
480~500	8.4			11.3			10.1		
500~520	8.1			10.6			10.6		
520~540	7.8			10.2			11.3		
540~560	7.9			9.4			12.0		
560~580	7.4			9.5			13.3		
580~600	6.9			9.0			13.6		

3 林地土壤水分的补偿能力小

黄土丘陵区地形破碎, 沟道切割很深, 林地无地下水补给, 降水是土壤水分唯一的补给形式。因此, 人工油松林地土壤水分补给状况主要取决于当年降水量, 林分密度和

表2 人工油松林不同坡向不同部分土壤水分状况

土 层 深 度 (cm)	上			中			下			梁顶 极差	
	东坡	北坡	西北坡	东坡	北坡	西北坡	东坡	北坡	西北坡		
0~20	26.7	27.9	22.3	22.1	20.5	29.3	23.2	29.3	30.1	22.6	8.0
20~40	19.3	17.9	18.2	19.0	18.4	21.4	19.4	19.9	19.2	17.8	3.6
40~60	16.0	15.0	15.2	17.7	14.3	18.4	17.6	19.3	17.6	14.7	5.0
60~80	12.3	12.2	12.6	15.9	12.3	15.2	14.6	16.3	15.3	12.2	4.1
80~100	11.8	11.2	11.7	12.9	11.9	12.8	12.8	12.0	12.7	11.0	1.9
4月8日 100~120	11.7	11.6	12.2	10.0	11.6	11.3	12.3	9.9	11.6	10.6	2.3
120~140	10.2	10.9	12.0	10.2	12.0	10.3	12.3	10.1	11.7	11.0	2.3
140~160	10.3	10.6	11.7	10.2	11.6	9.8	12.2		11.6	11.4	2.4
160~180	10.4	11.2	11.2	10.8	10.5	9.9	12.3		11.2	11.6	2.5
180~200	10.6	11.2	10.6	11.1	10.2	9.7	12.1		11.3	12.2	2.4
0~10	22.2	17.6	16.7	18.7	19.5	19.1	19.5	19.9	20.4	22.3	4.6
10~20	12.1	9.8	10.9	11.9	10.3	11.1	13.8	11.8	11.2	11.4	4.0
20~40	9.7	9.7	10.5	10.2	10.2	10.2	11.8	10.3	10.5	8.3	3.5
40~60	9.8	10.6	10.4	10.2	10.7	9.9	10.7	10.3	10.4	8.6	2.1
6月27日 60~80	10.1	10.6	10.4	10.4	10.6	9.9	11.2	10.3	10.4	9.1	2.1
80~100	10.2	10.5	10.8	10.3	10.3	9.9	11.3	10.4	10.3	9.3	2.0
100~120	10.1	10.3	11.0	9.8	9.9	9.5	11.3		10.5	9.4	1.9
120~140	10.3	10.2	10.7	9.8	9.5	9.4	11.4		10.8	9.8	2.0
140~160	10.4	10.2	10.4	10.5	9.9	9.3	11.8		10.6	9.7	2.5
160~180	9.9	10.6	10.3	11.4	9.9	9.1	12.3		10.9	10.2	3.2
180~200	10.3	11.0	9.9	12.2	9.5	9.8	12.3		11.5	11.0	2.5

坡位影响很小。现以早期（5月中下旬）和雨季末（10月中旬）的土壤水分含量来说明这个问题：

图1为26年生油松林地土壤水分在1988年的补偿状况。该年5~10月降水量498.4mm，是丰水年，林地土壤水分补偿能力较好，深达2.0m以上。其中半阴坡油松林和梁顶油松林a补偿深度为2.2m，平均含水量为19.2%~21.2%，比早期增9.2%和9.7%。翌年春旱，由于秋冬下雪和水分下移增湿，在2.6~2.8m内，含水量为12~16%，增加2%~4%；梁顶油松林b补偿深度为1.8m，平均含水量17.4%，比早期增加6.0%，翌年早春补偿至2.4m，含水量12%~15%，增加1%~4%。

图2为1989年的补偿状况，1989年5~10月降水量234.8mm，是少雨年，林地土壤水分基本未得到补偿，不仅如此，反而消耗了前一年的贮水，使0.8~2.2m土层含水量下降了2%~5%。

图3为1990年的补偿状况，该年5~10月降水量417.6mm，是平水年，林地土壤水分补偿仅1.0m。其中半阴坡油松林和梁顶油松林a为1.2m，平均含水量分别为16.1%和15.6%。比早期增加6.3%和5.8%，梁顶油松林b补偿深度约为0.8m，平均含水量为

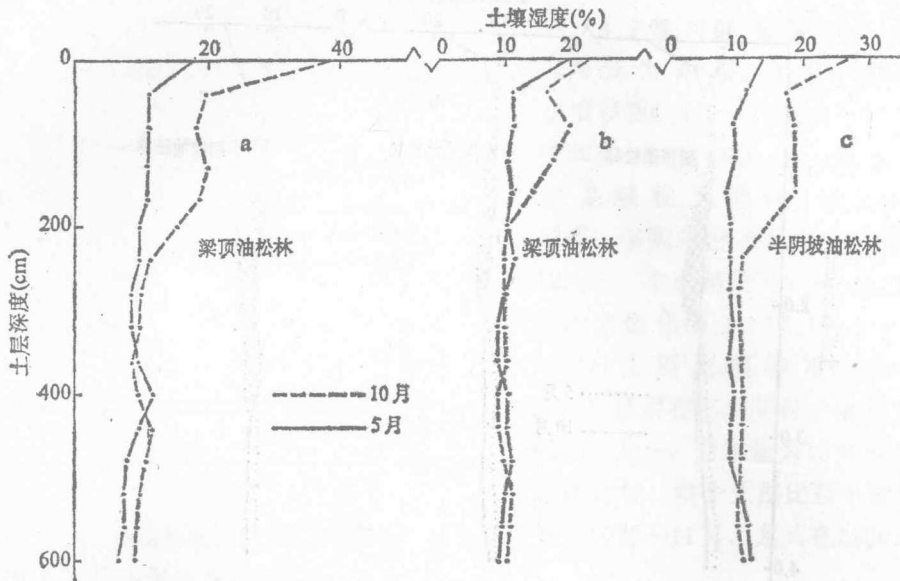


图1 26年油松林地土壤水分补偿状况(1988年)

13.6%，较早期增加3.0%。

梁顶油松林a和梁顶油松林b为两种不同密度的林分，由图1、2、3可见，它们的补偿能力差异很小，仅20cm。

半阴坡油松林和梁顶油松林a为密度近似的林分，它们的补偿能力差异甚微。

上述分析表明，黄土丘陵区半湿润区人工油松林地土壤水分在丰水年的最大补偿深度为2.6~2.8m，除使林木消耗外，翌年旱季后略有剩余；在平水年补偿深度仅1.0m，但在次年旱季又被消耗掉；在欠水年，基本得不到补偿，当年降水可能还不能满足，需消耗前一年的贮水，或利用深层贮水；在3.0m以下的土层，无论是平水年还是丰水年，都不能得到补偿。杨文治认为，“在黄土丘陵区这种被乔灌木强烈干燥的土层既已形成，其土壤湿度是难以得到补偿恢复的。”他虽然论述的是黄土丘陵半干旱区，由于黄土高原气候干旱，降水年变幅大，干旱年份经常出现。当这种情况到来时，林木只有吸收利用深层贮水来满足强大的蒸腾蒸散需要，这种情况反复出现，将一步一步地加强深层贮水量下降，使其向着干燥方向发展。目前宜川人工油松林地土壤水分在6~8m时，仍然保持较低水平(9%~11%)。

根据上述分析，可以把人工油松林土壤水分补偿程度分为三层：第一层为土壤水分补偿层0~100cm)，除干旱年份外，该层的水分补偿较好，水分含量可达稳定湿度至田间持水量。第二层为土壤水分可补偿层(100~280cm)，该层土壤水分在丰水年得以补充，由于降水量丰富，其水分含量接近田间持水量。第三层为土壤水分难补偿层(>280cm)，该层土壤水分难以得到补充，全年基本保持稳定状态。

4 林地土壤水分垂直分布与季节动态明显

该区林地土壤无地下水补给，降水是土壤水分补给的唯一形式，受降水量的影响，林地土壤水分的季节动态在剖面上有所分异。韩仕峰等把裸地土壤水分垂直分布自上而下分为速变层、活跃层、次活跃层、相对稳定层，李凯荣等根据刺槐林对水分的利用，分

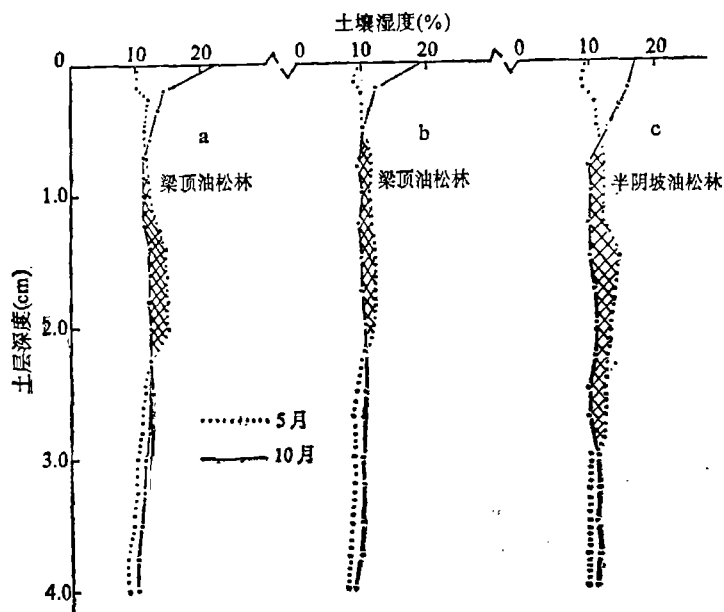


图2 27年生油松林地土壤水分补偿状况(1989年)

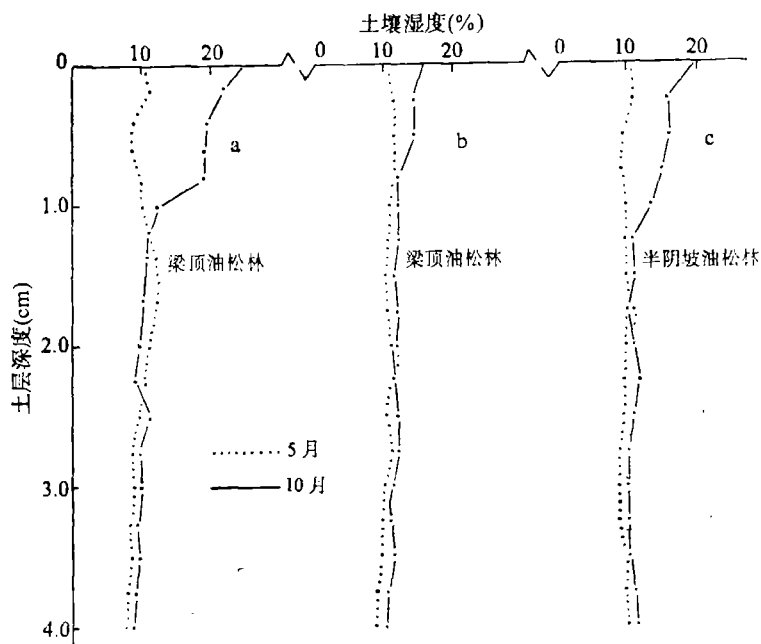


图3 28年生油松林地土壤水分补偿状况(1990年)

为微弱利用层、利用层、补充调节层和微弱调节层。根据油松林地土壤水分垂直分布季节动态和根系分布特点,将人工油松林地土壤水分分为:

4.1 强烈利用层 该层深0~40cm,土壤容重 $0.85 \sim 1.17 \text{g/cm}^3$,总孔隙度58%~66%, $\leq 1.0 \text{mm}$ 的根系占该级根系的75%,土壤蒸发和根系吸收均很活跃,干旱时表层土壤水分可达凋萎湿度以下,降水后又常达田间持水量以上。全层平均含水量季节波动

幅度为13.5~26.5% (图4)。

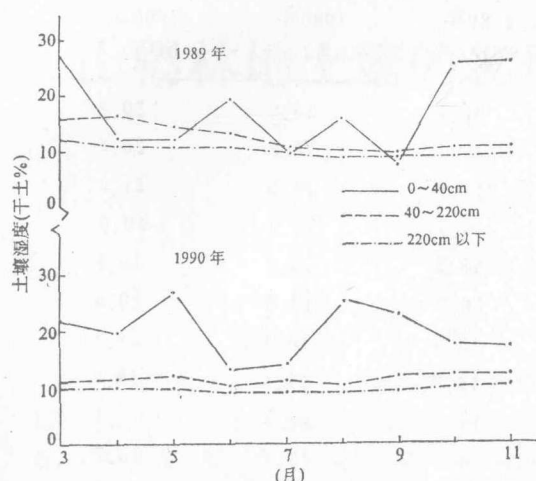


图4 人工油松林地土壤水分季节动态

下, 土壤水分基本保持在10%左右。

5 采伐迹地土壤水分的恢复能力较强

在黄土丘陵区, 林地土壤水分长期处于亏缺状态, 引起人们的关注。因为, 林地贮水量减少, 采伐后迹地能否立即造林, 是需要研究的课题。1988年, 我们对25年生人工油松林进行了采伐试验, 并观测了三年土壤水分, 现摘录部分资料列表3。

由表可见, 25年生半阴坡油松林, 在伐前整个剖面上(6.0m)含水量较低, 一般变化为9%~11%之间。采伐当年的9月, 土壤水分得到良好恢复, 深达2.8m, 含水量为14.4%~21.0%, 达田间稳定湿度以上。在2.8~4.0m内, 也有所增湿, 但很小, 与伐前比, 仅增加1.3%~2.0%。1989年解冻以上, 土壤水分继续下移增湿, 在2.6~4.7m土层, 湿度为12.0%~18.3%, 较伐前增加1.0%~6.3%。该年气候干旱, 降水量少(5~12月为242.1mm), 由于土壤蒸发和迹地新生长的植物(覆盖度90%)蒸腾消耗了大量水分, 使0~4.0m土层的水分减少, 但在4.0~4.6m内稍有增加。1990年是平水年, 0~2.0m土层内的水分又得以恢复, 由于水分继续下移, 使4.2~5.0m土层含量达12.0%左右, 较伐前增加1.9%~3.0%。

上述分析表明, 人工油松林采伐迹地在0~2.8m土层以内, 恢复能力强, 其土壤含水量可达稳定湿度至田间持水量。在2.8~4.2m土层间, 恢复能力较强, 其方式为水分下移增湿, 含水量为12.0%~18.3%, 也达稳定湿度以上。在4.2~5.0m土层间, 土壤水分恢复能力较弱, 水分下移增湿的速度不易察觉, 三年仅增加1.9%~3.0%。该层若要恢复到田间持水量水平, 看来需要一个漫长的过程。

6 小 结

6.1 黄土丘陵半湿润区人工油松林地土壤水分含量较低。在6.0m剖面上, 除前一年为丰水年外, 通体变化在9%~11%之间, 低于田间稳定湿度, 处于亏缺状态。

6.2 不同坡向、不同部位林地的土壤水分差异很小, 尤其在1.0m以下, 仅差2.0%

4.2 利用层 该层深40~600cm, 又可分为两层: ①40~220cm土层土壤容重1.17~1.23g/cm³, 总孔隙度50%~58%, ≤1.0mm根系占23%。根系吸收是消耗土壤水分的主要形式, 多数年份土壤水分可补偿到120cm, 丰水年份可补偿到220cm, 含水量变化10.1~12.1%。②220~600cm土层土壤容重1.23~1.31g/cm³, 该层在丰水年份土壤水分可补偿到2.8cm, 含水量为12%~15%, 除此之外, 整个土层比较干燥, 含水量为10%~11%, 尤其在280cm以

表 3 25年生人工油松林采伐迹地土壤水分的恢复过程

土层深度 (cm)	1988年 5月19日	1988年 9月28日	1989年 3月25日	1989年 10月14日	1990年 10月17日
0~20	14.6	26.3	34.4	15.0	20.8
20~40	13.5	19.6	29.5	15.2	20.4
40~60	11.5	18.5	21.1	13.5	21.3
60~80	10.3	19.2	19.3	13.0	20.0
80~100	9.5	19.8	18.5	13.7	19.2
100~120	9.4	20.3	18.7	14.8	20.3
120~140	9.4	20.8	18.5	15.4	19.7
140~160	9.4	21.0	18.6	15.4	18.0
160~180	9.5	21.1	18.8	15.5	17.1
180~200	9.8	20.4	18.4	16.4	16.7
200~220	10.0	19.2	18.4	16.6	14.3
220~240	10.1	18.4	18.5	16.4	14.5
240~260	10.3	17.3	18.2	16.2	14.8
260~280	10.4	14.4	18.3	16.5	14.9
280~300	10.1	12.2	18.3	16.9	15.9
300~320	10.6	11.6	17.8	17.0	15.2
320~340	10.0	11.7	17.3	16.6	14.1
340~360	9.7	11.9	16.4	15.7	14.3
360~380	9.3	11.6	14.6	14.5	13.8
380~400	9.4	11.4	13.2	14.1	13.0
400~420	9.5	11.2	12.0	13.1	12.5
420~440	9.6	10.9	10.5	11.7	12.2
440~460	10.1	10.9	10.8	11.5	12.0
460~480	10.2	11.1	11.5	11.4	12.0
480~500	10.1	11.0	11.1	11.3	12.0
500~520	10.5	10.8	10.9	11.4	11.8
520~540	11.3	11.0	11.0	11.8	12.0
540~560	12.0	11.2	11.8	12.1	12.7
560~580	13.3	11.3	13.0	12.5	13.1
580~600	13.7	11.6	13.7	18.5	14.7

左右。

6.3 人工油松林地土壤水分的短期补偿可达1.0m,其含水量可达20%,接近田间持水量。更深层土壤水分的补偿有赖于丰富的降水,当年可补偿到2.2m,由于水分下移,解冻以后,可达2.6m。根据林地土壤水分补偿程度,可以把人工油松林地土壤剖面分为:补偿层(0~1.0m)、可补偿层(1.0~2.8m)、难补偿层(2.8~4.0m)。

(下转第109页)

产生少量径流 ($138\text{t}/\text{km}^2$), 而其它有植被的小区 (含农地) 均没有产生径流, 说明植被能将更多的降雨入渗到土壤中, 从而减少或避免径流的发生。

3 小 结

3.1 降雨是引起水土流失的直接因子, 水土流失与侵蚀性降雨量、30min内最大雨强及前期降雨量有紧密的正相关性。雨强是影响径流速率的主导因子, 雨量是影响径流量的关键。

3.2 五种植被类型的土壤冲刷量顺序为裸地>农地>荒草地>沙打旺地>沙棘地; 径流量顺序为裸地>农地>荒草地>沙棘地>沙打旺地。三龄沙打旺草地与三龄沙棘林地比较, 沙打旺草地入渗能力强, 沙棘林地拦沙效益明显。

3.3 从土壤水分净增值可以看出, 植被具有增强土壤入渗的能力, 从而减少或避免水土流失。裸地入渗速度慢是增加水土流失的重要原因。

3.4 坡面水土流失是一个复杂的自然过程。它涉及土壤理化性质、降雨特性、坡度变化, 植被种类及生长年限等诸多因素。要系统、全面、深刻地揭示坡面水土流失规律和机理, 需要多试点、多专业合作进行长期的大量研究工作。近年来从事这方面研究的专家、学者不少, 他们的研究都不同程度地起着相互补充和完善作用, 希望本文也有类似的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 陈永宗. 黄土高原的水土流失及其治理, 《水土保持通报》, 1981年第1期
- [2] 贾志伟等. 降雨特征与水土流失关系的研究, 《黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究》, 天则出版社, 1990年
- [3] 侯喜禄、曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究, 《水土保持通报》, 1990年第2期
(上接第78页)

6.4 人工油松林地的土壤水分在季节动态上有分异。0~40cm土层变化很剧烈, 受降水影响, 变化幅度为13.5%~26.5%; 在40~220cm间, 变化较小, 全层平均为10.1~15.1%; 在220cm以下, 基本处于稳定状态, 变化在9%~10%。根据土壤水分含量状况和根系在剖面上的分布规律, 可以把油松人工林地土壤水分的分布分为: 强烈利用层(0~40cm)、利用层(40~600cm)。

6.5 人工油松林采伐地土壤水分恢复能力强, 采伐当年可恢复到2.8m, 含水量达稳定湿度至田间持水量(14.4%~21.1%)。随后, 由于水分下移增湿, 可恢复到4.0m, 含水量可达田间稳定湿度(13.0%~18.0%)。在4.0m以下, 恢复能力较弱, 三年仅增加1.9%~3.0%, 看来, 该层土壤水分恢复到田间持水量水平还需一个漫长的过程。

参 考 文 献

- [1] 李玉山等. 黄土高原土壤水分性质及其分区, 《中国科学院西北水土保持研究所集刊》, 1985年第2期
- [2] 杨文治等. 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境, 《中国科学院西北水土保持研究所集刊》, 1985年第2期
- [3] 李凯荣等. 黄土塬区刺槐林地水分条件与生产力研究, 《水土保持通报》, 1990年第6期
- [4] 刘增文等. 《人工油松林腾蒸耗水及林地水分动态特征的研究》, 《水土保持通报》, 1990年第6期