

西安地区丰水年有林地土壤水分恢复效应研究

李瑜琴¹, 赵景波^{1,2}

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;
2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘要: 通过对西安南郊平水年与丰水年秋季有林地土壤含水量的测定, 研究了地下 0~6 m 之间土壤含水量的变化与土壤水分恢复问题。研究结果表明, 正常年西安地区人工林 2~4 m 土壤含水量为 9%~10%, 发育了明显的土壤干层, 表明土壤干层在黄土高原分布具有普遍性; 丰水年西安南郊人工林下 2~4 m 的土壤含水量在 18%~24% 之间, 高出正常年份这一层位含水量的 8%~14%, 土壤干层已经消失; 丰水年 4~6 m 的土壤含水量也明显升高。分析得出, 在降水丰富的年份, 土壤水分得到恢复, 而且恢复的深度可达 5 m, 恢复的速度也较快。

关键词: 土壤含水量; 丰水年; 水分恢复效应; 西安地区

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0101-06

在黄土高原被认为可以造林的地区, 幼龄期人工林生长基本正常, 持续到约 10 a 之后就会出现生长不良的状况, 这主要是由于土壤干层的出现造成的^[1~5]。土壤干层对植树造林的影响已受到人们的高度重视, 但是土壤干层中的水分能否恢复是缺乏研究和需要查明的问题, 恢复的水平如何更未得到解决。这一问题研究不仅具有重要理论意义, 而且对于干层的防治也很有实际意义。本文通过对西安地区有林地丰水年与平水年土壤含水量及其变化的研究, 讨论了土壤水分恢复的可能性和条件。

1 研究区概况与研究方法

西安地处关中平原中部, 介于 E107°40'~109°49', N33°42'~43°44' 之间, 平均海拔高度为 412 m。该区属暖温带半湿润季风气候, 多年平均气温为 13.0℃, 多年平均降水量为 580 mm, 降水主要集中在 7~9 三个月^[6~8], 年平均湿度为 69.6%。2003 年西安地区降水量达 883.2 mm, 明显高于多年平均降水量, 属于丰水年。采样时间分别为 2003 年春季(4 月)和秋季(9 月、10 月)。由于 2002 年西安地区年降水量为 406.2 mm, 属于偏枯的平水年, 加之春季降水较少, 因此, 2003 年 4 月之前所测定的含水量可视为平水年含水量, 而 9 月底和 10 月份含水量则视为丰水年含水量。

由于南郊为西安市的文化区, 土壤污染较少, 故研究地点选在西安南郊吴家坟和曲江池村附近, 研究剖面均位于开阔的渭河二级阶地上, 地表为褐土。该阶地潜水平埋深达 30~50 m^[9], 很难为植物吸收利

用, 大气降水是植物获取水分的主要来源。植被分别选取泡桐(*Firmiana simplex*)、法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)和苹果林(*Malus pumila* Mill.)三种。苹果林树龄为 15 a, 树高 5 m, 胸径约 15 cm 左右, 株行距为 1.5 m 左右; 泡桐林树高约 30 m, 胸径 30 cm, 株行距 2 m; 法国梧桐树高约 30 m, 胸径 50 cm, 株行距 3 m。采样时无降水, 天气晴朗。

样品利用轻型人力钻采取, 钻孔深度为 6.0 m, 采样间距为 10 cm。每个树种取两个剖面作平行对比。土壤含水量的测定采用烘干称重法。烘干温度达 105℃, 烘干时间为 10 h, 烘干前后的土样重均用 1/10000 精度的电子天平称量。土壤含水量计算公式:

$$P = (W_1 - W_2) / W_2 \times 100\%$$

其中: P 为所测样品的土壤含水量; W_1 为烘干前土壤样品重量; W_2 为烘干后土壤样品重量。

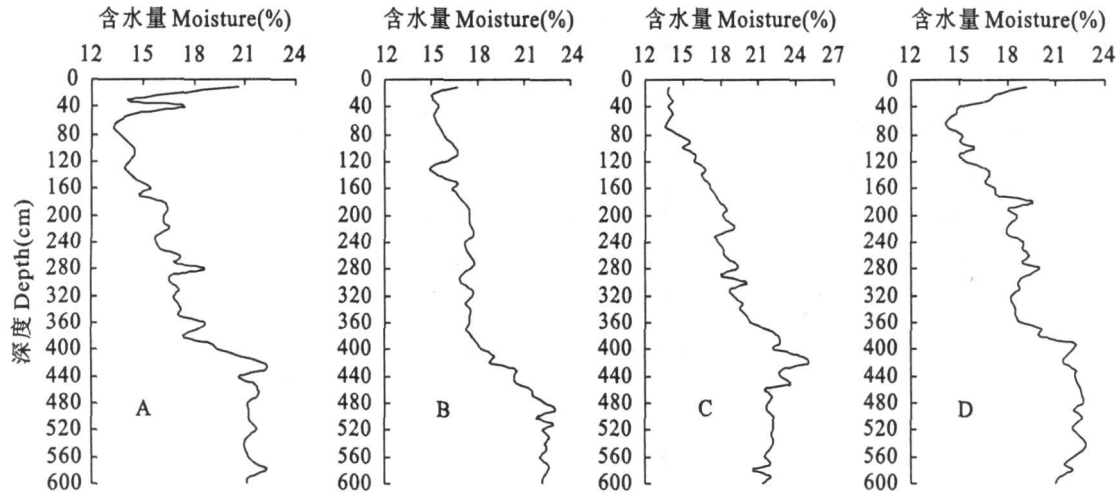
2 结果与分析

2.1 丰水年土壤含水量测定结果

2.1.1 泡桐(*Firmiana simplex*)林地土壤含水量
2003 年 9 月 25 日对西安南郊的泡桐(*Firmiana simplex*)林地进行了打钻采样和土壤含水量的测定。根据测定结果(图 1A)得知, A 剖面土壤含水量在纵向上可分为三层。第一层位于 0~170 cm, 含水量在 13.2%~20.6% 之间, 平均含水量为 14.98%, 由于受大气降水和蒸发的直接影响, 该层土壤含水量波动范围大; 第二层位于 180~400 cm, 含水量在 16.9%~19.4% 之间, 平均含水量为 17.07%, 该层

土壤含水量波动明显,由上向下呈增加趋势;第三层位于 410~600 cm,含水量在 20.6%~22.3%之间,平均含水量为 21.42%,是波动最小的层段。a 剖面不同层位含水量从高到低依次为第三层>第二层>

第一层。第二层和第三层的土壤含水量明显高于过去正常年份相应层次的土壤含水量,这与以往的研究结果明显不同。



A、B 为泡桐土壤含水量；C、D 为法国梧桐土壤含水量

A and B show the soil moisture of two profiles under Paulownia trees；C and D show the soil moisture of two profiles under Plane trees

图 1 泡桐和法国梧桐林地土壤含水量变化

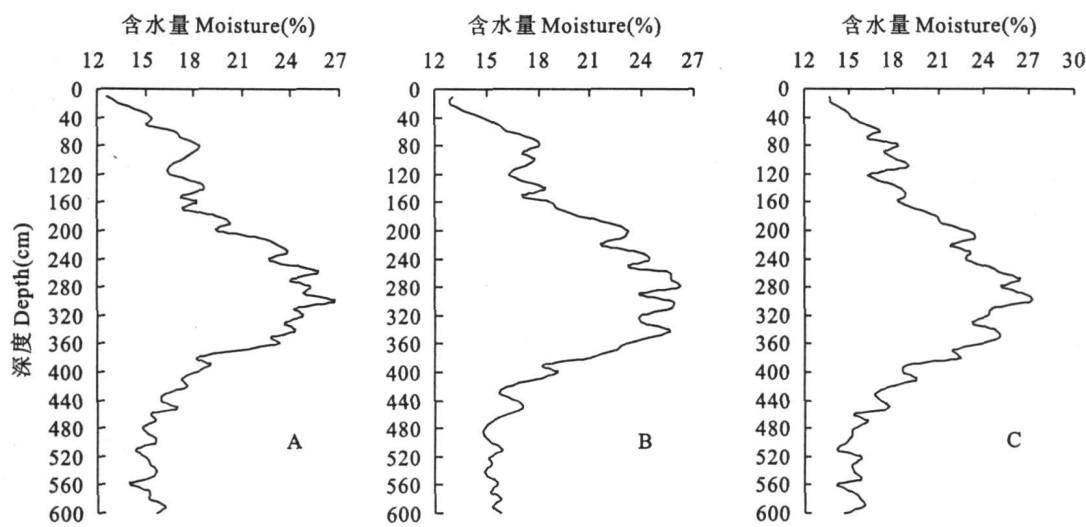
Fig. 1 Change of soil moisture content under Paulownia trees and Plane trees in wet year

为了进一步研究土壤水分的恢复状况,又于 2003 年 10 月 24 日对同一地点的泡桐林地进行了土壤含水量的测定。测定结果(图 1B)显示,B 剖面土壤含水量在纵向上也可分为三层。第一层位于 0~170 cm,含水量在 15.0%~16.8%之间,平均含水量为 15.87%,波动变化大;第二层位于 180~470 cm,含水量在 16.9%~21.7%之间,平均含水量为 18.15%,含水量波动较小;第三层位于 480~600 cm,含水量在 21.5%~23.0%之间,平均含量为 22.41%,波动变化小。B 剖面含水量在纵向上的变化和 A 剖面基本相近,但 B 剖面每层的平均含水量都比 A 剖面的高,而且第二层的分层深度也有了明显的差异。这主要是 B 剖面比 A 剖面经受了更长时间的水分入渗、补给造成的。2003 年 10 月是西安地区降水 143.3 mm,持续的降水对土壤水分的补给作用,使人工林地的土壤含水量得到了明显补给,原来存在干层的 200~400 cm 土层的含水量上升到了 17%以上,一个月的降水使补给深度加深了 70 cm。

2.1.2 法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 林地土壤含水量 同样,在 2003 年 9 月 26 日对西安南郊的法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 林地进行了采样和土壤含水量的测定。由图 1C 可知,其土壤含水量在 A 剖面纵向上呈现三段式。第一层(0~170 cm)含水量平均值为 15.28%;第二层(180~380 cm)平均含

水量为 19.18%;第三层(390~600 cm)平均含水量为 22.28%。C 剖面土壤含水量从高到低依次为第三层>第二层>第一层。于 10 月 25 日对同一地点的法国梧桐林地进行了土壤含水量的测定。测定结果(图 1D)显示,D 剖面含水量在纵向上的变化和 C 剖面相同,而且分层的深度也基本相同,但 D 剖面每层的平均含水量均比 C 剖面的高。

2.1.3 苹果 (*Malus pumila* Mill.) 林地土壤含水量 2003 年 11 月 15 日,对西安曲江池村 15 a 树龄苹果 (*Malus pumila* Mill.) 林地进行了打钻取样。由 A 孔 60 块样品的含水量测定结果(图 2A)可知,苹果林地整个剖面的土壤含水量变化在 12.6%~26.7%之间,平均含水量为 18.6%,明显高于正常年份的土壤含水量。根据含水量在纵向上的变化,可将其分为 3 层。第一层为 0~190 cm,含水量在 12.6%~20.3%之间,平均为 16.7%,呈波动增加之势;第二层位于 200~390 cm 之间,变化在 18.2%~26.7%之间,平均含量为 23.1%,呈现明显的增加趋势;第三层位于 400~600 cm 之间,含水量在 14.0%~18.1%之间,较上一层有所降低,平均含量为 15.7%。A 剖面土壤含水量从高到低依次为第二层>第一层>第三层。同样在距 A 孔 15 m 和 30 m 处分别打了一个钻孔,共采集样品 120 块,含水量测定结果(图 2B,C)与 A 孔的变化特点相近。



A, B, C 分别为 15 a 龄苹果林地 A 孔、B 孔和 C 孔土层含水量
A, B and C shows the soil moisture of A, B and C profiles under apple trees respectively

图 2 2003 年 11 月西安曲江池村苹果林地土壤含水量

Fig.2 Soil moisture content under apple tree plantation at Qujiangchi in the wet year

2.2 平水年人工林地土壤含水量测定结果

2.2.1 泡桐(*Firmiana simplex*)林地土壤含水量 于 2003 年 4 月 16 日对西安南郊吴家坟附近的泡桐(*Firmiana simplex*)林地进行了采样和土壤含水量的测定。测定结果(图 3A)显示,A 剖面土壤含水量在纵向上分为三层。第一层位于 0~190 cm,含水量在 9.4%~13.6%之间,平均含水量为 11.02%,由于受大气降水和蒸发的直接影响,该层土壤含水量波动范围大,从上向下呈波动减少趋势;第二层位于 200~400 cm,含水量在 9.0%~10.7%之间,平均含水量为 9.60%,该层土壤含水量较上一层明显降低;第三层位于 410~600 cm,含水量在 8.8%~15.3%之间,含水量又升高,平均含水量为 12.82%,从上向下呈增加趋势。A 剖面土壤含水量从高到低依次为第三层>第一层>第二层。第二层的土壤含水量明显低于第一、三层次的土壤含水量,而且介于 8%和 10%之间。根据土壤干层等级划分标准,土层中含水量低于 12%就为土壤干层,因此该人工林 200~400 cm 土层已经有明显的干层发育。由 4 月 18 日所采样品的含水量测定结果(图 3B)显示,B 孔与 A 孔的变化特点相近。

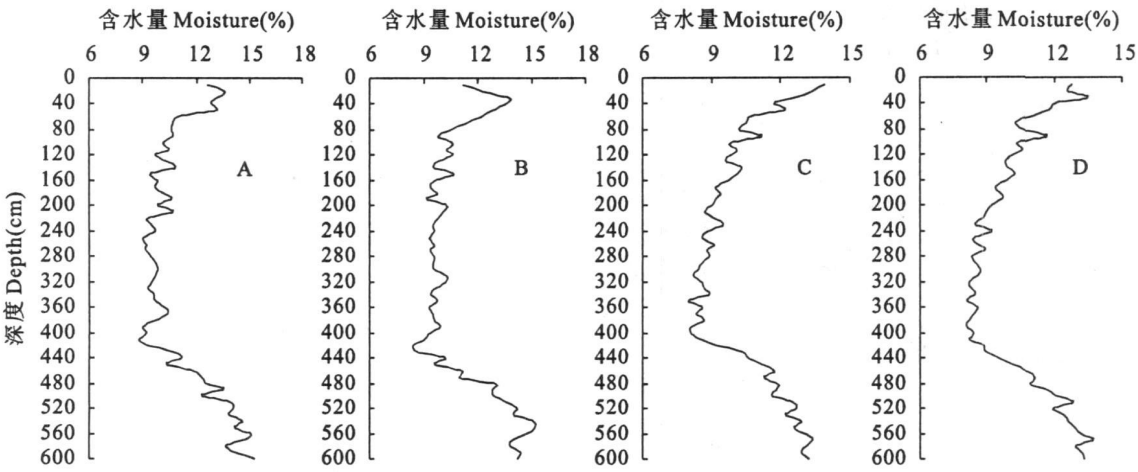
2.2.2 法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)林地土壤含水量 于 2003 年 4 月 20 日对同一地点的法国梧桐树林地进行了土壤含水量的测定,根据测定结果(图 3C)得知,C 剖面第一层(0~190 cm)含水量在 9.2%

~13.9%之间,平均含水量为 10.72%;第二层(200~400 cm)含水量在 8.0%~9.5%之间,平均含水量为 8.65%;第三层(410~600 cm)含水量在 8.6%~13.4%之间,平均含水量为 11.84%。C 剖面土壤含水量从高到低依次为第三层>第一层>第二层。第二层土壤含水量最低,介于 8%和 10%之间,同样说明该地发育了明显的干层。由 4 月 21 日所采样品的含水量测定结果(图 3D)表明,D 孔与 C 孔的变化特点相近。

2.2.3 苹果(*Malus pumila* Mill.)林地土壤含水量 2003 年 4 月 25 日在曲江池村 15 龄苹果(*Malus pumila* Mill.)林地进行了打钻取样。由 A 孔 60 块样品的含水量测定结果(图 4A)可知,剖面的土壤含水量变化在 7.9%~14.4%之间,平均含水量为 11.6%。第一层(0~190 cm)含水量平均值为 9.8%;第二层(200~350 cm)含水量平均值为 9.2%;第三层(360~600 cm)含水量平均值为 13.1%。A 剖面土壤含水量从高到低依次为第三层>第一层>第二层。5 月 5~6 日在距 A 孔 15 m 和 30 m 处分别打了一个钻孔,共采集样品 120 块,含水量测定结果(图 4B,C)与 A 孔基本相近。

2.3 丰水年与平水年林地土壤含水量对比

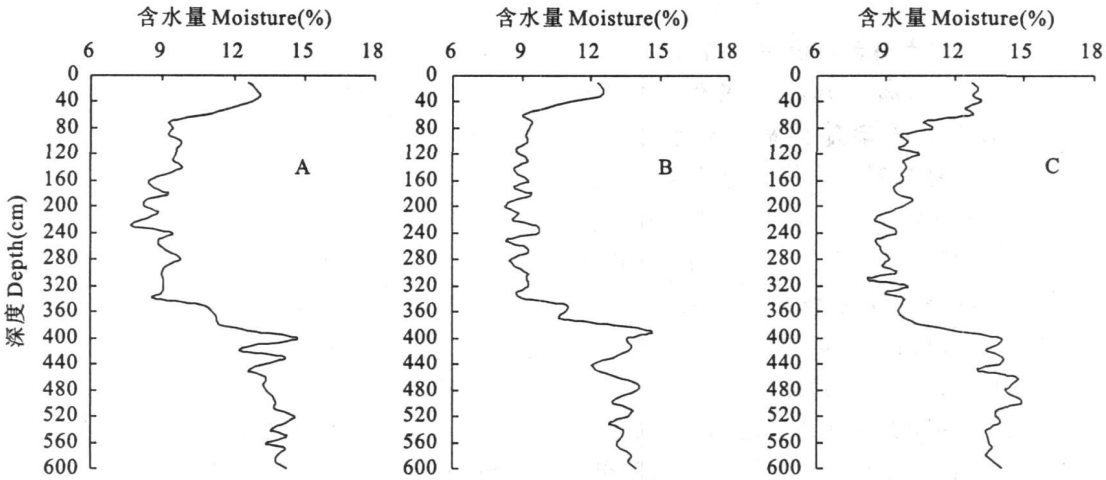
根据图 5 可知,在正常降水年份,不同人工林地土壤剖面从上向下含水量均呈现由高到低再到高的变化规律。在丰水年人工林地各层土壤含水量均高



A,B 为泡桐土壤含水量; C,D 为法国梧桐土壤含水量
A and B show the curves of soil moisture under Paulownia trees; C and D show the curves of soil moisture under Plane trees

图 3 2003 年 4 月泡桐和法国梧桐林土壤含水量变化

Fig.3 Change of soil moisture content under phoenix tree and French parasol in normal year



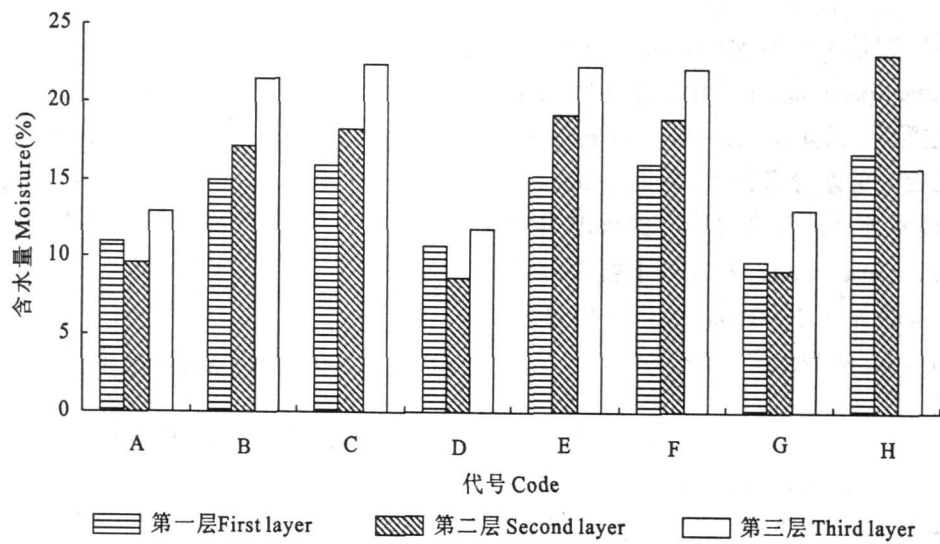
A,B,C 分别为 15 龄苹果林地 A 孔、B 孔和 C 孔土层含水量
A, B and C shows the soil moisture of A, B and C profiles under apple trees respectively

图 4 2003 年 4 月西安曲江池苹果林地土壤含水量

Fig.4 Soil moisture content under apple tree plantation at Qujiangchi in normal year

于正常年份的含水量,经过一个月降水的补给,2003 年 10 月人工林地土壤含水量比 9 月有了明显的增加,泡桐(*Firmiana simplex*)林地 200~400 cm 土层土壤含水量由 2003 年 4 月的 9.60% 上升到 2003 年 10 月的 18.15%;法国梧桐林地 200~400 cm 土层土壤含水量由 2003 年 4 月的 8.65% 上升到 2004 年 10 月的 18.84%;苹果(*Malus pumila* Mill.)林地 200~400 cm 土层含水量由 2003 年 4 月的 9.2% 上升到了 2004 年 11 月的 23.1%。由此可见,丰水年西安地区中龄人工林地各层土壤含水量均显著超过了 12%,尤其 200~400 cm 土层的含水量明显高于正

常年份这一层次的土壤含水量,表明该地区的土壤干层中水分得到了恢复。与正常年份相比,人工林地第三层的土壤含水量也明显升高,泡桐(*Firmiana simplex*)林地土壤含水量由 2003 年 4 月的 12.82% 上升到了 2004 年 10 月的 22.41%,法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)林地土壤含水量由 2003 年 4 月的 11.84% 上升到了 2003 年 10 月的 22.09%。苹果(*Malus pumila* Mill.)林地第三层水分含量较低,主要是由于水分入渗需要一定时间,泡桐(*Firmiana simplex*)林和法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)林地比苹果(*Malus pumila* Mill.)林地多了 1 a 的入渗时间。



A, B, C 为 2003 年 4 月、9 月和 10 月泡桐林地土壤含水量; D, E, F 为 2003 年 4 月、9 月和 10 月法国梧桐林地土壤含水量; G, H 分别为 2003 年 4 月和 11 月苹果林地土壤含水量

A, B 和 C show the soil moisture under Paulownia trees in April, September and October of 2003; D, E and F show the soil moisture under Plane trees in April, September and October of 2003; G and H show the soil moisture under apple trees in April and November of 2003

图 5 不同降水年份梧桐林地土壤含水量对比

Fig. 5 Comparison of soil moisture content under parasol in different precipitation year

2.4 不同林种土壤含水量对比

根据在西安南郊不同时间对不同种人工林地土壤含水量的测定结果得知,在相同时间和地点不同树种林地的土壤含水量变化基本相同。2003 年苹果林 (*Malus pumila* Mill.) 在经历了 4~10 月的降水补给之后,200~400 cm 土层含水量明显升高,可达 23.1%,水分补给深度可到达地表以下 4 m。苹果树的强蒸腾作用导致其需水量高于其他农作物,土壤干层出现以后,果树产量随年际降雨的自然变化呈现较大波动。根据统计,中龄苹果树约有 20% 的产量受年际降雨量的影响^[6]。在丰水年秋季该地区原来存在干层的土层含水量得到了恢复,甚至达到 23% 以上,出现了适宜苹果林生长的水分条件。以梧桐林为例(图 1A, B, C, D),2003 年 9 月份泡桐 (*Firmiana simplex*) 林土壤含水量最大值出现在地表之下 430 cm 深度,同样法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 林土壤含水量最大值出现在地表之下 420 cm 深度。由此可见,相同月份的不同树种人工林地土壤最大含水量的出现深度基本相同。10 月份泡桐 (*Firmiana simplex*) 林地土壤含水量最大值出现在地表之下 490 cm 深度,法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 林土壤含水量最大值出现在地表之下 540 cm 深。

2003 年 9~10 月份西安地区降水量达 70 mm,与 9 月份相比,10 月份人工林地土壤含水量最大值出现的深度有了一定增加,泡桐 (*Firmiana simplex*)

林地的土壤含水量的最大值出现深度加深了 60 cm,法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 林地加深了 120 cm,入渗深度的差异主要与地表的粗糙程度、降水的入渗速度和植物根系消耗水分的速度有关^[7~11]。所选样地均为开阔平坦的二级阶地,地表均为褐土,二者立地条件几乎相同,可见,造成土壤含水量变化差异的最主要原因是不同林种特性的差异。泡桐 (*Firmiana simplex*) 是我国的速生、乡土树种,阳性,喜温凉气候,不耐寒。根近肉质,分布深广,有上下两层。不宜在黏重土壤生长,喜疏松深厚、排水良好的土壤,不耐水涝,萌芽力、萌蘖力均强,生长快速。法国梧桐 (*Platanus orientalis* L.) 为落叶大乔木,枝条开展,树冠广阔,呈长椭圆形,枝叶茂密,喜光、喜湿润温暖气候,较耐寒,适于微酸性或中性、排水良好的土壤,根系分布较浅。

2.5 土壤水分恢复的深度

丰水年不同种类的中龄人工林的土层含水量差别很小。前人的研究表明,土壤干层一般发育在地表之下 2~4 m 之间^[3],由地表向地下渗透的大气降水主要到达干层的上部,正常年份的大气降水不能入渗补给地下水。我们的研究结果(图 1,图 2)充分显示,在 2003 年降水明显增加的条件下,西安地区人工林地经过 2~4 个月的水分入渗,2~4 m 的土壤水分都得到了恢复,一般恢复深度到达 4 m,最大的恢复深度可达 6 m。

土壤水分恢复深度主要取决于大气降水,同时

也与人工林消耗水分状况有关。西安地区属暖温带半湿润季风气候,在该地区泡桐(*Firmiana simplex*)比法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)生长较为迅速,而且根系较为发达深厚,因此,泡桐(*Firmiana simplex*)消耗水分多,在相同的水分条件下,泡桐(*Firmiana simplex*)林地土壤水分补给深度较小。如 2003 年 9~10 月,泡桐(*Firmiana simplex*)林地的土壤含水量的最大值出现深度加深了 60 cm,但是法国梧桐(*Platanus orientalis* L.)林地加深了 120 cm。

3 结 论

综上所述,我们可以得到如下认识:

- 1) 在降水丰富的年份,西安地区人工林地 200~400 cm 的土壤水分能够得到恢复,而且恢复后的含水量可达 15%以上,出现了适于树木生长的水分条件。
- 2) 在年降水 880 mm 左右的年份,西安地区经过 2~4 个月的水分补给,土壤水分恢复深度一般为 4 m,最深可达 6 m 以下。
- 3) 土壤水分恢复深度主要取决于大气降水,同时与人工林生长消耗水分状况有关。
- 4) 西安地区在持续较长降水条件下,土壤水分补给速度也会加快,降水量增加 70 mm,土壤水分恢

复深度就会加深 60~120 cm,而且仅需一个月时间。

参 考 文 献:

- [1] 穆兴民,徐学选,王文龙,等.黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J].土壤学报,2003,40(2):210-217.
- [2] 王 力,邵明安,侯庆春.延安试区土壤干层现状分析[J].水土保持通报,2000,20(3):35-37.
- [3] 侯庆春.黄土高原人工林草地土壤干层问题初探[J].中国水土保持,1999,(5):11-14.
- [4] 杨维西.试论我国北方地区人工林植被土壤干化问题[J].林业科学,1996,34(1):14-21.
- [5] 侯庆春.小老树的分布及其生长特点[J].水土保持学报,1991,1(1):64-72.
- [6] 黄明斌,杨新良,李玉山,等.黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J].地理学报,2001,56(1):7-13.
- [7] 陈云明,刘国彬,杨勤科.黄土高原人工林土壤水分效应的地带性特征[J].自然资源学报,2004,19(2):195-200.
- [8] 许炯心.黄土高原植被-降水关系的临界现象及其在植被建设中的意义[J].生态学报,2005,25(6):1233-1239.
- [9] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地土壤水平衡的数值模拟[J].土壤学报,2005,42(3):353-359.
- [10] 熊亚兰,魏朝富.坡面土壤水分特性的空间变异及其水库贮量[J].水土保持学报,2005,19(1):136-139.
- [11] 郭忠升,邵明安.半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J].生态学报,2003,23(8):1640-1647.

Restoration effect of soil moisture content under woodlands in Xi'an region in wet year

LI Yu-qin¹, ZHAO Jing-bo^{1,2}

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China)

Abstract: Through determination of soil moisture under artificial forest in the southern suburb of Xi'an in normal year and wet year, change and restoration of soil moisture underground from 0~6 m are studied. The results show that soil moisture content underground between 2~4 m under artificial forest is from 9% to 10% in Xi'an region in normal year and soil moisture is low. However, in wet year soil moisture underground between 2~4 m is from 18% to 24%, and is 8% higher than that of normal year. The soil moisture content underground from 4~6 m goes up obviously in wet year. From analysis it is also found that, in wet year, the soil moisture can not only be restored but also the restoration depth can reach 5 m and the speed is also very quick.

Keywords: soil moisture content; wet year; restoration effect of soil moisture; Xi'an region