

关中平原人工林地的干层及其成因

赵景波^{1,2}, 孙桂贞¹, 岳应利¹, 陈宝群¹

(1. 陕西师范大学地理系, 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所
黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘要: 根据关中平原人工林地土层含水量测定, 研究了 0~6m 土层含水量的变化、干层特点、分布和形成原因。分析得出, 在年降水量小于 600mm 的中国西北地区, 人工林地的干层是普遍发育的自然现象, 干层形成的主要原因是降水量少决定的重力-毛管水带厚度明显小于 4m, 引起干层发育的直接作用的水分因素是薄膜水带埋藏深度小、含水量低、运移速度缓慢, 而乔木树种的耗水则是引起干层发育的植物因子。关中和黄土高原重力-毛管水带与薄膜水带分布深度很清楚地指示, 该区的土壤干层主要是自然原因决定的, 不论是人工林还是自然林, 厚层黄土上的中龄林一般都有干层发育。在干层发育弱的地区可以造林, 在发育强的地区则不适宜造林。

关键词: 关中地区; 人工林; 干层分布; 重力水; 薄膜水; 生态环境

文章编号: 1000-0585(2007)04-0763-10

1 引言

在黄土高原区和中国北方绝大多数地区, 地下水埋深大, 土壤水成为植物生长所需水分的主要来源。由于该地区降水较少, 土壤水分含量较低, 已成为制约该区植被发育的关键因素。当前黄土高原正在进行生态环境建设, 为使这一宏伟工程达到预期目的, 很有必要研究土壤含水量的变化及其对植被的影响。李玉山先生早在 1983 年就发现了黄土区土壤干层的存在^[1], 近年来许多学者对黄土高原土壤干层进行了研究^[2~4]。现已查明, 黄土高原幼龄期人工林生长基本正常, 约 10 年之后就出现了生长不良的状况^[2,3]。现已认识到陕北黄土高原中龄生态林、苹果林、天然林、灌木林普遍存在土壤干层^[2~5], 而且延安以北干层发育较强, 以南发育较弱。研究表明, 黄土高原“小老树”的出现就是由于土壤干层发育的缘故^[3,4,6,7]。干层发生原因主要是降水较少, 气候暖干化, 植株密度大等^[3,6,8,9]。虽然过去对黄土区土壤水分进行了许多研究, 但研究的地域主要是黄土高原北部地区^[7~10], 在南部的关中地区尚未见有人工林地干层发育的报道。在国外气候较干旱地区, 也有干层发育, 但国外研究的主要是表层土壤水^[11~13], 对 2m 以下土层含水量研究少, 结合深厚黄土层土壤水分的研究更少。本文根据关中西安、咸阳和蓝田人工林土壤含水量测定, 获得了土壤干层分布、干层与重力水及与薄膜水的关系、关中干层发育强度和干层预测等方面的新进展。

收稿日期: 2006-06-03; 修订日期: 2006-10-25

基金项目: 国际地质对比计划项目 (IGCP448); 国家自然科学基金项目 (400571004); 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室项目 (SKLLQG0504)

作者简介: 赵景波 (1953-), 男, 山东滕州人, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事自然地理研究。

2 采样地点、植被和方法

本研究选择西安南郊曲江池村与吴家坟、临潼斜口、长安韦曲、蓝田孟村和咸阳市庞西村为研究点。蓝田孟村研究点处在 $34^{\circ}10'N$, $108^{\circ}15'E$, 距蓝田县城西南约 12 km。斜口研究点处在 $34^{\circ}01'N$, $108^{\circ}08'E$, 位于临潼县城西北约 4km。咸阳市庞西村研究点处在 $34^{\circ}21'N$, $108^{\circ}44'E$, 位于该市北约 10km。韦曲研究点处在 $34^{\circ}10'N$, $108^{\circ}56'E$, 位于长安县西约 1km。曲江池村与吴家坟两个研究点相距很近, 均位于西安南郊雁塔区, 处在 $34^{\circ}16'N$, $108^{\circ}57'E$ 。除蓝田孟村研究点位于黄土塬上外, 其余研究地点均位于二级阶地上 (图 1)。研究地区多平均年温度在 $13^{\circ}C$ 左右, 平均年降水量在 600mm 左右。研究样地包括不同树龄的苹果园、杨树林地、梧桐林地等多个样地, 人工林植株间距为 3~4 m。各样地现代土壤均为褐色土,

表层 8m 为马兰黄土, 土层颗粒成分很均匀, 粉砂为主, 分选极好, 土质疏松。采样剖面深度为 6.0m, 采样间隔为 10cm。样品利用人力钻采取, 含水量测定采用烘干称重法, 烘干温度为 $105^{\circ}C$, 烘干至恒重, 烘干前后土重用高精度电子天平称量。

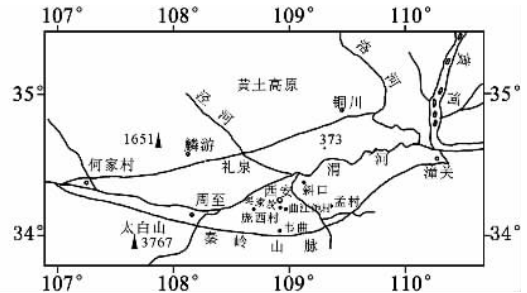


图 1 研究地点位置图

Fig. 1 Location of the study sites

3 人工林土层含水量测定结果

3.1 西安人工林地土层含水量测定结果

3.1.1 西安南郊苹果园土层和梧桐林地土层含水量 从 2003 年 4 月 25 日的测定结果可知, 曲江池村 15 龄苹果园 3 个剖面的土层含水量变化在 $7.8\% \sim 14.9\%$ 之间, 平均为 10.8% (表 1, 图 2a, b)。根据含水量从上到下的变化, 可将其分为 3 层。第 1 层为 $0 \sim 190cm$, 含水量较高, 在 $8.2\% \sim 13.1\%$ 之间, 平均值为 10.0% ; 第 2 层位于 $200 \sim 350cm$ 之间, 含水量较上一层减少, 含量变化在 $7.8\% \sim 10.6\%$ 之间, 平均为 9.2% ; 第 3 层位于 $360 \sim 600cm$ 之间, 含水量增加, 变化在 $9.5\% \sim 14.9\%$ 之间, 平均为 13.1% 。

2003 年 4 月 28 日对吴家坟 15 龄梧桐林地钻孔样品测定结果 (表 1) 显示, 该林地土层含水量比 15 龄苹果林地低。2003 年 5 月 14 日对西安吴家坟 10 龄苹果林园进行了 2 个钻孔剖面的含水量测定, 结果 (表 1, 图 2c) 表明 10 龄苹果园土层含水量的垂向变化与 15 龄苹果园土层类似, 但较 15 龄苹果园土层略高, 在 $200 \sim 400cm$ 土层含水量也低于 10% (图 2c, 表 1)。

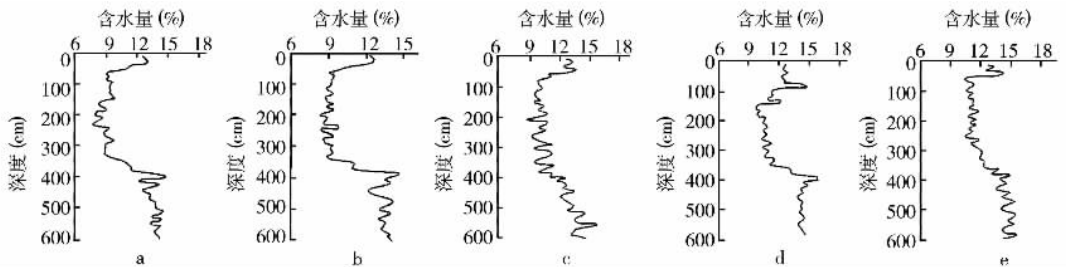
第 1 层易受蒸发和降雨的影响, 此次采样前曾降小雨, 这是表土层含水量高的原因。

3.1.2 曲江池 6 龄苹果园土层含水量 2003 年 5 月 8~9 日在曲江池村 6 龄苹果园打了 2 个 6m 深的钻孔, 两钻孔相距 20 米, 采集样品 124 块。由测定结果 (表 1, 图 2d, e) 可知, 6 龄苹果园土层含水量变化在 $9.3\% \sim 16.2\%$ 之间, 平均含量为 12.0% ; $0 \sim 190cm$ 含水量较高, 变化在 $9.3\% \sim 13.8\%$ 之间, 平均为 11.2% ; $200 \sim 350cm$ 含水量较上一层减少, 变化在 $9.1\% \sim 13.6\%$ 之间, 平均为 10.7% ; $360 \sim 600cm$ 之间含水量增加, 含量在 $11.8\% \sim 16.2\%$ 之间, 平均为 14.1% 。与 15 龄苹果园相比, 6 龄苹果园土层含水量较高, $200 \sim 400cm$ 之间含水量高于 10% 。

表 1 关中平原人工林地土层含水量 (%)

Tab. 1 Earth moisture in artificial forest land in Guanzhong Plain (%)

地点和植被类型	深度分层 (cm)	含水量变化范围 (%)	含水量均值 (%)	地点和植被类型	深度分层 (cm)	含水量变化范围 (%)	含水量均值 (%)
西安曲江池	0~190	8.2~13.1	10.0	蓝田孟村	0~180	9.3~13.7	10.3
15 龄苹果园	200~350	7.8~10.6	9.2	12 龄梧桐林	180~360	8.4~10.5	9.3
3 个剖面	360~600	9.5~14.9	13.1	2 个剖面	360~600	10.4~15.4	13.2
西安吴家坟	0~190	9.6~13.6	10.6	蓝田孟村	0~190	10.2~13.3	11.2
10 龄苹果园	200~400	8.7~11.2	9.5	4 龄苹果园	200~360	10.4~12.5	11.5
2 个剖面	400~600	11.7~15.3	13.8	1 个剖面	360~600	12.8~15.2	13.6
西安曲江池	0~190	9.3~13.8	11.2	咸阳庞西村	0~190	9.1~15.6	11.2
6 龄苹果园	200~350	9.1~13.6	10.7	10 龄苹果园	200~400	7.2~10.3	8.4
2 个剖面	360~600	11.8~16.2	14.1	3 个剖面	400~600	9.5~11.5	10.9
西安吴家坟	0~90	10.3~13.0	12.4	咸阳庞西村	0~190	9.2~15.2	11.6
15 龄梧桐林	200~400	7.5~9.5	8.5	12 龄梧桐林	200~400	8.1~10.5	9.0
1 个剖面	400~600	8.7~12.7	10.0	3 个剖面	400~600	9.3~13.6	12.2
蓝田孟村	0~180	9.6~13.2	10.8	咸阳庞西村	0~190	10.5~13.8	11.8
12 龄杨树林	180~360	8.3~10.8	9.5	4 龄苹果园	200~400	9.8~13.3	12.1
2 个剖面	360~600	11.2~15.1	13.7	1 个剖面	400~600	11.2~15.3	13.6
长安韦曲	0~180	9.2~12.4	11.2	临潼斜口	0~180	9.8~13.2	10.8
13 龄杨树林	190~400	8.3~11.3	10.7	16 龄梧桐林	190~400	8.4~10.8	9.5
2 个剖面	410~600	11.0~14.7	14.1	3 个剖面	410~600	11.2~15.1	13.8



a, b. 为西安东郊曲江池 15 龄苹果园 2 个钻孔土层含水量; c. 为西安东郊吴家坟 10 龄苹果园土层含水量; d, e. 为西安东郊曲江池 6 龄苹果园 2 个钻孔土层含水量

图 2 西安东郊苹果园土层含水量

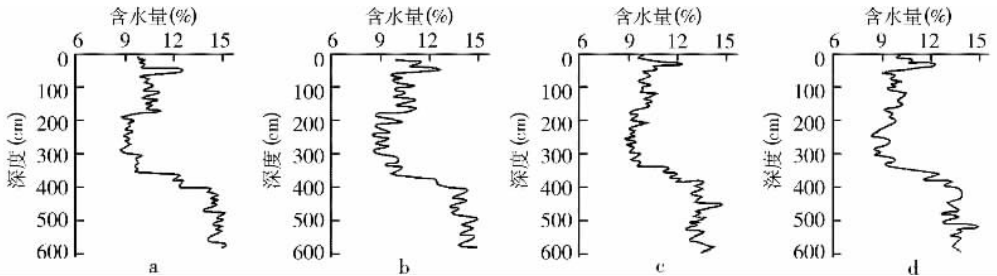
Fig. 2 Earth moisture content in under apple tree plantation in southern suburb of Xi'an

3.2 蓝田人工植被土层含水量

为查明蓝田地区土层含水量的变化和干层分布, 在 2003 年 3 月对蓝田孟村不同人工植被进行了 5 个剖面的含水量测定, 测定结果分析如下。

3.2.1 孟村 12 龄杨树林地土层含水量 2003 年 3 月 8 日在孟村镇附近 12 龄杨树林地进行了 2 个钻孔的取样研究。根据 2 个剖面 116 块样品的含水量测定 (表 1, 图 3a, b) 可知, 12 龄杨树林地的土壤含水量变化在 8.3%~15.1%, 平均为 10.8%。根据含水量的垂向变化, 可将其分为 3 层。第 1 层为 0~180 cm, 含水量较高, 变化在 9.6%~13.2%

之间, 平均为 10.8%; 第 2 层位于 180~360 cm, 含水量较上一层减少, 变化在 8.3%~10.8%之间, 平均为 9.5%; 第 3 层位于 360~600 cm 之间, 含水量增加, 变化在 11.2%~15.1%之间, 平均为 13.7%。



a、b. 为 12 龄杨树林地 2 个钻孔土层含水量; c、d. 为 12 龄梧桐林地 2 个钻孔土层含水量

图 3 西安蓝田孟村不同类型植被土层含水量

Fig. 3 Earth moisture content under different types of vegetation at Mengcun village in Lantian of Xi'an

3.2.2 孟村 12 龄梧桐林和 4 龄苹果园土层含水量 2003 年 3 月 16~17 日在蓝田孟村附近 12 龄梧桐林地打了两个 6 m 深的钻孔, 采集样品 120 块。由 2 个钻孔样品测定结果 (表 1, 图 3c, d) 可知, 12 龄梧桐林下土层含水量变化在 8.4%~15.4%之间, 平均为 11.5%; 上部第 1 层在 0~180 cm 之间, 含水量较高, 变化在 9.3%~13.7%之间, 平均为 10.3%; 第 2 层位于 180~360 cm 之间, 含水量较上一层减少, 变化在 8.4%~10.5%之间, 平均为 9.3%; 第 3 层位于 360~600 cm 之间, 含水量增加, 含量在 10.4%~15.4%之间, 平均为 13.2%。

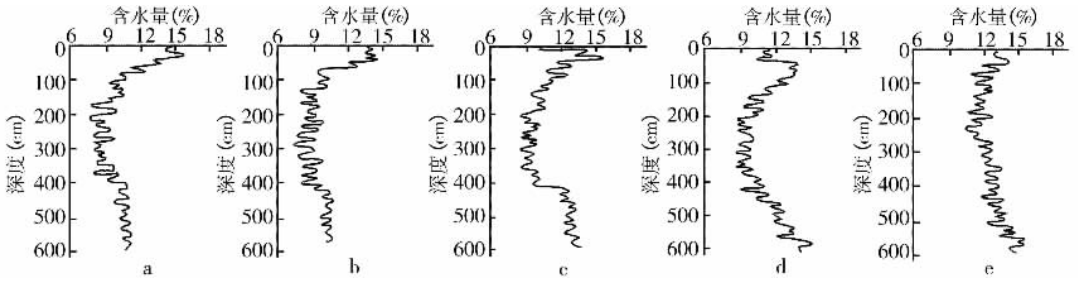
为确定不同树龄林地含水量差异, 在 2003 年 3 月 24 日对 4 龄苹果园进行了一个钻孔取样分析, 结果显示孟村 4 龄苹果园土层含水量较高 (表 1), 能够满足幼龄林的正常。另外, 在临潼斜口和长安韦曲中龄人工林地 2~4m 平均含水量也低于 10% (表 1)。

3.3 咸阳人工林地和草地土层含水量

3.3.1 庞西村 10 龄和 4 龄苹果园土层含水量 2003 年 5 月 7~9 日, 在咸阳双照镇庞西村 10 龄苹果园土层采取了 3 个剖面的样品, 每个剖面采样 60 块。采样前曾降小雨, 未有人工灌溉。由含水量测定结果 (表 1, 图 4a, b) 得知, 10 龄苹果园土层含水量变化在 7.2%~15.6%之间。据土层含水量在垂向上的变化, 可分为 3 层。由上向下第 1 层为 0~190cm, 含水量较高, 变化在 9.1%~15.6%之间, 平均为 11.2%。第 2 层 200~400cm, 含水量较低, 变化在 7.2%~10.3%之间, 平均为 8.4%。第 3 层 400~600cm, 含水量增高, 呈弱波动增加趋势, 变化在 9.5%~11.5%之间, 平均为 10.9%。

2003 年 5 月 11 日对咸阳庞西村 4 龄苹果林地打了 1 个 6m 深的钻孔, 共取样品 60 块。由测定得知, 4 龄苹果园土层含水量变化在 9.8%~15.3%之间, 平均为 12.6% (图 4e), 中部 100~400cm 平均含水量为 11.9%, 下部 400~600cm 平均含水量为 13.6%。4 龄苹果林土层含水量在剖面中的变化与 10 龄苹果林地相同, 均呈现由高到低再到高的变化, 但前者含水量比后者明显高。

3.3.2 庞西村 12 龄梧桐林地土层含水量 2003 年 5 月 12~13 日, 在咸阳庞西村 12 龄梧桐林下采取了 3 个剖面的样品, 每个剖面采样 60 块。综合 3 个剖面含水量测定结果



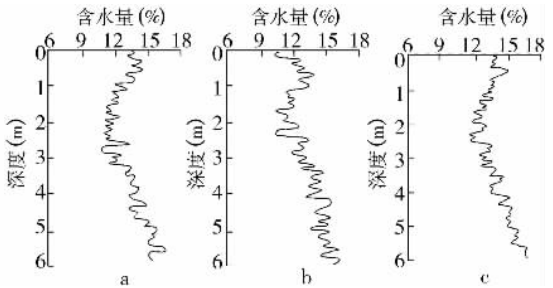
a、b. 10 龄苹果园土层含水量；c、d. 12 龄梧桐林地土层含水量；e. 4 龄苹果园土层含水量

图 4 咸阳庞西村人工林地土层含水量

Fig. 4 Earth moisture content under artificial forest at Pangxi village in Xianyang

(表 1, 图 4 c, d) 显示, 12 龄梧桐林土层含水量变化在 8.1%~15.2% 之间。据土层含水量在垂向上的变化, 同样可分为 3 层。由上向下第 1 层为 0~190cm, 含水量较高, 波动变化较大, 变化在 9.2%~15.2% 之间, 平均为 11.6%。第 2 层在 200~400cm 之间, 含水量低, 变化在 8.1%~10.5% 之间, 平均为 9.0%。第 3 层位于 400~600cm 之间, 含水量明显增加, 变化在 9.3%~13.6% 之间, 平均为 12.2%。将 12 龄梧桐林地土壤含水量与 10 龄苹果林地相比可知, 两者含水量很接近, 在剖面上的变化特点基本相同, 只是前者含水量比后者略高, 这应当是梧桐林植株间距比苹果林大造成的。

3.3.3 草地和玉米地土层含水量 2003 年雨季之前的 5 月 23~24 日, 我们在庞西村附近草地进行了 6m 深的钻孔取样, 2 个钻孔分别取样 58 个。第 1 孔样品分析结果 (图 5a) 表明, 草地土壤含水量较高, 上部 0~100cm 含水量变化在 10.4%~14.2%, 平均为 12.3%; 中部 100~400cm 土壤含水量增加, 在 10.6%~14.8% 之间, 平均为 13.2%; 下部 400~600cm 含水量在 13.2%~16.3% 之间, 平均为 14.5%。第 2 孔样品分析结果 (图 5b) 与第 1 孔大同小异。2001 年 3 月 6~7 日庞西村附近的东石村玉米地



a、b. 为庞西村草地 2 个钻孔土壤含水量变化；
c. 为咸阳东石村玉米地土壤含水量变化

图 5 咸阳草地和玉米地土壤含水量

Fig. 5 Soil moisture content of grassland and corn field in Xianyang

60 块样品含水量测定结果 (图 5c) 与庞西村草地大致相同。因为草本植物根系浅, 所以草地和玉米地剖面中部含水量高于上部, 这是草地与苹果林地土壤含水量明显不同之处。

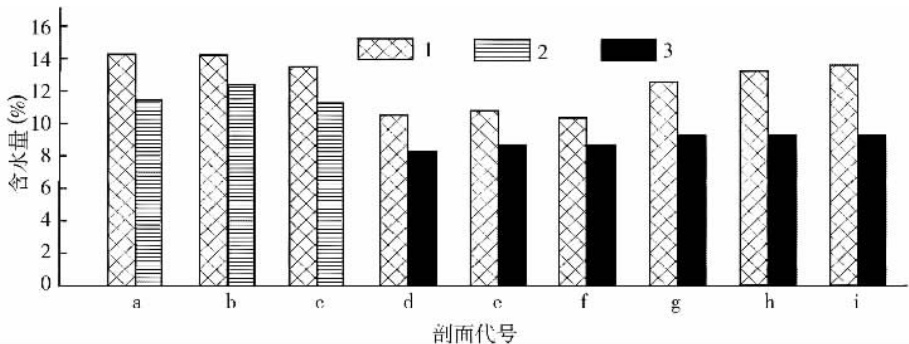
4 讨论

4.1 关中平原人工林地的土层干层分析

土壤干层是深部土层水分被消耗造成的^[14~17]。要确定干层的存在, 就要首先确定土层田间持水量。由于黄土颗粒成分细而均一, 黄土高原各地区田间持水量非常接近。以往的研究表明, 黄土高原田间持水量变化在 18%~22% 之间, 多数为 20% 左右。该地区土壤水分亏缺较多, 一般占田间最大持水量的 50%~70%, 此值为稳定田间持水量, 约为 10%~14%。在黄土高原东南部, 黄土中黏粒增多, 田间稳定持水量略高。一般认为, 如

果土层中含水量低于 10%，可视该土层为干层^[13]。因为关中地区黄土中黏土含量较陕北多，土层中的吸附水增加，所以该区干层含水量应略大于 10%。因此，以 10% 的含水量作为确定关中干层的指标是可取的。由于地表 2m 的土层易得到大气降水较快的补充，土层中的水分易于恢复，所以上部 2m 土层变干是暂时性的，通常不叫干层。而 2m 以下的水较少受蒸发作用影响，水分的补充也很慢，是真正的干层分布层位。在黄土高原，干层通常分布在 2~4m 之间，延安以北较干旱区可大于 4m。

根据以上分析，并结合关中多个地点人工林地土层含水量测定得知，西安、蓝田和咸阳 10 龄以上人工林地 200~350 cm 深度土层平均含水量均在 8.4%~9.5% 之间，比其上和其下土层含水量都低，显然该层已成为明显的干层。从多处人工林地均有干层发育确定，关中地区人工阔叶林地干层的发育具有普遍性。而且在有的人工林土层中 4m 以下也有干化显示（图 6d, e, f）。前人曾将干层分为 3 级，其中含水量在 8%~10% 之间的土层为发育弱的干层^[18]。关中地区人工林地的干层含水量在 8.4%~9.5% 之间，显然是发育弱的干层。根据 CaCO_3 迁移模型^[19]和关中地区多年平均年降水量 600mm 计算，该区多年平均重力水—毛管水入渗深度不足 2m，因此关中地区的土壤干层为长期性干层。



a. 为西安曲江池 6 龄苹果园土层含水量；b、c. 分别为蓝田孟村和咸阳庞西村 4 龄苹果园土层含水量；
d、e. 为咸阳庞西村 10 龄苹果园 2 个剖面土层含水量；f、g. 分别为西安吴家坟 15 龄杨树林和 15 龄梧桐林
地土层含水量；h、i. 分别为蓝田 12 孟村梧桐林和 12 龄杨树林地土层含水量；
1. 4~6m 土层含水量；2. 2~4m 未干化土层中的含水量；3. 2~4m 土壤干层中的含水量

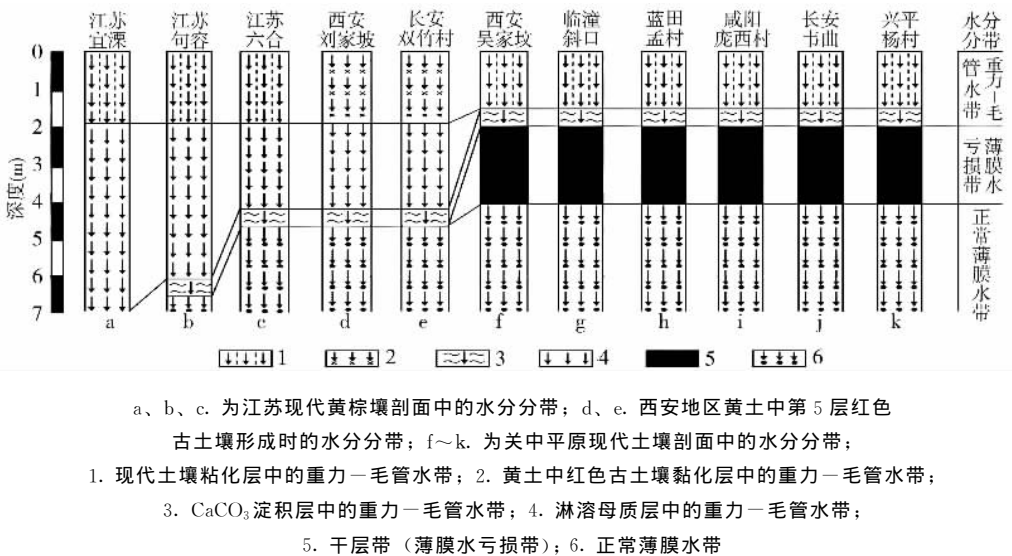
图 6 关中平原不同植被和不同深度土层含水量

Fig. 6 Soil moisture content under different vegetations and in different depth ranges in Guanzhong Plain

4.2 土层中的重力—毛管水与干层的形成

干层产生原因有多种^[3,6,7,16]，有自然原因，也有人为原因。地下水垂向分带变化能够表明产生的主要原因。在地下水垂向划分中，上部为重力水带，其下的是毛管水带，再向下为薄膜水带，最下部为潜水带。由于毛管水带厚度小，而且与重力水带同时存在，可将两者合并为重力—毛管水带。根据我们的广泛调查，由化学成分迁移及淀积^[19,20]等标志可知，土壤 CaCO_3 淀积层下界可代表重力带的下界。据 CaCO_3 淀积层分布，本文划分了不同地区不同土壤水分的具体分带（图 7）。由这一分带可知，黄土高原的干层主要是自然原因产生的，是由该区较干旱的气候决定的重力—毛管水带厚度小而形成的。人工林密度较大、人为选用的速生树种和降水入渗少^[3,6,15,17]等也是引起干层形成的重要因素，但这些不是决定性因素。土层中的重力—毛管水带的水主要是重力水和毛管水，特点是含

水量较高, 运动速度快, 降水在当年就到达该带下界。在不同降水条件下, 该带厚度不同。随降水量的增多, 重力—毛管水带厚度增大。黄土高原区此带厚度多在 1~2m 之间, 江苏等北亚热带湿润区多在 4~8m 之间。该带能够得到大气降水的及时补充, 所以含水量较高。据我们 2002 年 11 月测定, 西安正常年份大雨之后重力—毛管水带上部 1m 土层含水量一般大于 25%, 明显超出干层中小于 9.5% 的含水量 (表 2)。很显然, 在重力—毛管水带深度范围内, 不会出现长期性干层。然而, 由于黄土高原重力—毛管水带厚度一般小于 2m, 它不能为分布在 2~4m 之间的干层提供重力水和毛管水, 使该层失去了最重要的补给快的水分来源, 造成了 2m 以下土层含水量低。由此可见, 黄土高原地区因降水量少而导致的重力—毛管水带分布深度小, 是干层发育广泛的根本原因。乔木植物根系都明显超过 2m, 显然中龄人工林下土层 2~4m 一般都会有干层出现, 即使是天然林, 也有干层发育^[15]。



a、b、c. 为江苏现代黄棕壤剖面中的水分分带; d、e. 西安地区黄土中第 5 层红色古土壤形成时的水分分带; f~k. 为关中平原现代土壤剖面中的水分分带;

1. 现代土壤粘化层中的重力—毛管水带; 2. 黄土中红色古土壤黏化层中的重力—毛管水带;
3. CaCO_3 淀积层中的重力—毛管水带; 4. 淋溶母质层中的重力—毛管水带;
5. 干层带 (薄膜水亏损带); 6. 正常薄膜水带

图 7 中国南方亚热带和关中平原土层中的水分垂向分带

Fig. 7 Vertical division of soil moisture in subtropics of southern China and Guanzhong Plain

表 2 西安吴家坟 2002 年 11 月和 2003 年 11 月大雨后土壤含水量

Tab. 2 Soil moisture content after heavy rainfall in November of 2002 and 2003 at Wujiafen in Xi'an

植被类型	15 龄杨树林		12 龄梧桐林		15 龄松树林		20 龄槐树林	
取样深度(m)	0.2~1.0	2~3.5	0.2~1.0	2~3.5	0.2~1.0	2~3.5	0.2~1.0	2~3.5
2002.11 正常年含水量(%)	27.2	8.8	29.6	9.3	27.2	9.4	28.1	9.4
2003.11 丰水年含水量(%)	28.4	22.3	28.6	22.6	27.9	24.5	29.7	24.7

认识到该区的干层主要是自然原因造成的具有重大意义。这说明黄土高原的干层是一个普遍的自然现象。它的发育并非表明不能在干层地区进行植树造林, 也不表明该地区不能发育自然的森林植被, 只是表明森林植被的发育不会很好。在干层发育较弱的地区, 应当是适合森林发育的, 在干层发育严重地区则不适宜造林。

图 7 还表明, 西安黄土中第 5 层古土壤发育时降水量达 900 余 mm^[21], 当时 2~4m 也无干层出现(图 7d, e), 那时很适于森林发育。图 7 中 f~k 土壤剖面形成于年降水量 600mm 左右条件下, 即使该区降水量增加到 700mm, 林下也会有发育弱的干层出现。由干层区到非干层区, 必存在一个过渡区。由图 7 推测, 在降水量 600~800mm 之间的地区应是干层发育的过度带。因此, 据一个地区重力—毛管水带分布深度, 可确定土壤干层的有无。

4.3 薄膜水与树种对干层形成的作用

由图 7 可知, 重力—毛管水水带之下为薄膜水, 干层就分布在 2~4m 之间的薄膜水带之中。黄土高原 2~4m 为薄膜水带的一部分, 干层的形成与薄膜水有直接关系。薄膜水是吸附在土颗粒表面的液态水, 它的特点一是在土层中含量较低, 一般小于 15%, 干层中最低为 5% 左右。二是运动速度非常缓慢。薄膜水处于黏滞状—液态状, 它是从水膜厚处向薄处移动^[22], 这是其运动非常缓慢的原因。这种水可被植物吸收利用, 但当其供应速度低于植物体内水的消耗速度时, 植物开始调萎。运动缓慢决定了薄膜水要得到补给需要很长的时间过程。在植物根系吸收水分的情况下, 薄膜水不能及时补充亏缺的水分, 而重力水和毛管水又不能到达这一土层, 所以就出现了干层。由此可见, 2~4m 深处薄膜水带的存在是干层发育的最直接的水分因素。只要较密集的中龄乔木根系到达薄膜水带, 水分就容易出现亏损。因为乔木根系一般大于 4m, 所以不管是中龄的人工林还是天然林带, 都会产生干层。因此, 薄膜水带同样表明黄土高原的干层是主要是自然原因产生的。如果降水量多, 薄膜水带埋藏深度在 4m 以下(图 7a~e), 也就没有干层发育。例如 2003 年是关中地区的丰水年, 年降水量由正常的 600mm 左右增加到了 880mm, 我们的测定表明, 西安、临潼等地重力—毛管水带厚度增加到了 3.5m 左右, 薄膜水带显著下移, 2~3.5m 的干层全部消失(表 2)。薄膜水带和重力—毛管水带是密切相连的, 后者厚度大, 前者厚度就小(图 7)。在这两个水分带中, 重力—毛管水带起主导作用, 它的变化影响薄膜水带的变化。显然重力—毛管水带的变化是原因, 薄膜水带则是直接作用的水分因素。

树种或人工林树种不同对干层发育也有直接的作用, 这是干层形成的植物因子。乔木的作用主要表现为中龄乔木林吸收消耗了 2~4m 深度范围内的水份, 造成了这一深度范围内水分含量低于 10%, 从而产生了干层。另外, 如果发展的植被是耗水多的灌木林, 也会有干层发育, 这已被延安一带的研究所证实^[2]。人工林种类的不同还会影响干层发育的强弱, 耗水多的人工林地干层发育强度会比耗水少的人工林地干层发育强度大。

5 结论

综上所述, 可得到以下认识:

(1) 关中地区 10 龄和 10 龄以上人工林地 2~4m 均发育了明显的干层, 表明人工林地干层的分布在秦岭以北的黄土区具有普遍性。

(2) 关中地区和黄土高原其他地区人工林地干层的发育主要是自然原因造成的, 即主要是由降水量少决定的重力—毛管水带厚度小引起的。

(3) 干层发育在薄膜水带中, 该区薄膜水带埋藏深度小, 运动速度缓慢, 这是造成黄土高原干层发育的直接作用的水分因素。耗水较多的乔、灌木林是引起干层发育的植被因子。

(4) 干层的发育并不一定表明不适于森林发育, 它只表明森林的发育不会太好。在

干层发育弱的地区可以进行造林, 在干层发育强的地区则不适宜造林。

(5) 在年降水量 600mm 左右的地区或重力—毛管水带分布深度小于 2m 的厚层土发育区, 人工林下土层 2~4m 范围内一般都有干层发育。

参考文献:

- [1] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响. 生态学报, 1983, 3(2): 91~101.
- [2] 王志强, 刘宝元, 王晓兰. 黄土高原半干旱区天然锦鸡儿灌丛对土壤水分的影响. 地理研究, 2005, 24(1): 113~120.
- [3] 侯庆春, 黄旭, 韩仕峰, 等. 黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究. 水土保持学报, 1991, 5(2): 76~83.
- [4] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433~438.
- [5] 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. 地理学报, 2001, 56(1): 7~13.
- [6] 赵景波, 侯甬坚, 黄春长. 陕北黄土高原人工林下土壤干化原因与防治. 中国沙漠, 2003, 23(6): 612~615.
- [7] 王力, 邵明安, 张青峰. 陕北黄土高原土壤干层的分布和分异特征. 应用生态学报, 2004, 15(3): 436~442.
- [8] 刘增文, 王佑民. 人工油松林蒸腾耗水及林地水分动态特征的研究. 水土保持通报, 1990, 10(6): 78~84.
- [9] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析. 地理研究, 2006, 25(1): 27~34.
- [10] 陈云明, 侯喜禄, 刘文兆. 黄土丘陵半干旱区不同类型植被水土保持生态效益研究. 水土保持学报, 2000, 14(3): 57~62.
- [11] Yuin E. An infiltration model to predict suction changes in the soil profile. Water Resource Research, 1998, 34(7): 1617~1622.
- [12] Rapp I. Evaporation and crust imperdence role in seeding emergence. Soil Science, 2000, 165(4): 354~364.
- [13] Cairns J, Audebert A, Towend J, et al. Effect of mechanical impedence on root growth of two rice varieties under field drought stress. Plant and Soil, 2004, 267(1-2): 309~318.
- [14] 付明胜, 钱卫东, 牛萍, 等. 连续干旱对土壤干层深度及植物生存的影响. 干旱区研究, 2002, 19(2): 71~74.
- [15] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究. 北京: 科学出版社, 2000. 86~114.
- [16] 王志强, 刘宝元, 路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究. 生态学报, 2003, 23(9): 944~1950.
- [17] 张海, 王延平, 高鹏程, 等. 黄土高原坡地土壤干层形成机理及补水途径研究. 水土保持学报, 2003, 17(3): 162~164.
- [18] 王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤量化指标初探. 水土保持学报, 2000, 14(4): 87~90.
- [19] 赵景波. 淀积理论与黄土高原环境演变. 北京: 科学出版社, 2002. 165~178.
- [20] 赵景波. 黄土中古土壤 CaCO₃ 淀积层与大气降水入渗形式研究. 地理科学, 1995, 15(4): 344~350.
- [21] 赵景波. 陕西黄土高原 500kaBP 的古土壤与气候带迁移. 地理学报, 2001, 56(3): 323~331.
- [22] 李天杰, 王芸, 郝应顺. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1983. 49~53.

Research of dried earth layer and its formation in the artificial forest land of Guanzhong Plain

ZHAO Jing-bo^{1,2}, SUN Gui-zhen¹, YUE Ying-li¹, CHEN Bao-qun¹

(1. Department of Geography, 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: Moisture content change and characteristic, distribution, formation reason of dried earth layer under artificial forest land and lawn ranging 0~6m depth in Guanzhong

Plain were studied in this article by drying-weight method. The aim of the research is to verify the distribution scope of dried earth layer in the south of the Loess Plateau and the reason of it, and to provide scientific basis for the prevention and control of dried earth layer. Experiment results show that the average earth moisture content is 8.4% between 2 and 4m of 10 age apple trees, the average earth moisture content is 9.0% between 2 and 4m of 12 age phoenix trees in Xianyang. The average earth moisture content is between 9.3% and 9.5% between 1.8~3.6m of 12 age phoenix and poplar trees in Lantian. The average earth moisture content is 9.2% between 2 and 3.5m of 15 age apple trees in Wujiafen, and there is formation of dried earth layer between 2 and 3.5m. There is obvious formation of chronic dried earth layer in artificial forest land at Xiekou of Lintong and Weiqu of Chang'an. The average earth moisture content is more than 12% below 4m of the middle age artificial forest land, which indicates that the dried earth layer doesn't extend to the layer below 4m. The average earth moisture content is more than 12% below 2m of 6 age and 4 age apple trees land, and there is no formation of dried earth layer. According to the computation of CaCO_3 migration depth model, under 600mm annual precipitation condition in Guanzhong Plain, the migration depth of gravity water is less than 4m, which indicates that the dried earth layer in this area is chronic. The changes of the moisture content of the artificial forest land show that the dried earth layer is distributed extensively on the Loess Plateau, and the south boundary of it has reached the northern foot of the Qinling Mountains. In Northwest China, where annual precipitation is less than 600mm, the dried earth layer in the artificial forest land is a universal natural phenomenon. The formation reason of the dried earth layer is that the gravity-capillary zone depth, which is determined by precipitation, is obviously smaller than 2 m. The direct action of water factor of dried earth layer is that the buried depth of the zone is small and the water movement velocity is slow, while the high water consumption tree species is the vegetation factor of it. It is clearly shown that the depth of the gravity water and the capillary water in Guanzhong Plain is the main natural factor for the formation of the dried earth layers. Whether the artificial forest or natural forest, the dried layers generally develop in the middle age forest land. The formation of the dried layer doesn't mean that the forests can not develop in this area, but they cannot develop well. Trees can be planted in areas where dried earth layer developed poorly, but they are not suitable to be planted in areas where dried earth layer developed intensely.

Key words: Guanzhong area; artificial forest; distribution of dried earth layer; gravity water; capillary water; ecological environment