

黄土高原南部人工植被作用下的土壤水分研究^①

杜娟¹, 赵景波^{1,2}

(1 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究中心, 西安 710062; 2 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要: 在大量野外调查和室内测定的基础上, 研究了黄土高原南部地区丰水年前后不同人工植被下 0~6 m 土壤水分含量。研究表明, 年均降雨量 600 mm 左右的正常年份, 该区内杨树林、法国梧桐林和中国梧桐林下 1.5~4 m 土层平均含水量约为 90 g/kg 左右, 发育了弱的土壤干化层, 4~6 m 土层平均含水量约为 120 g/kg, 水分状况优于上部土层。麦地和草地上 0~6 m 水分状况良好, 未出现土壤干化现象。丰水年充足的降水后所有林木下土壤干层消失, 水分得到很好的恢复, 说明该区并未形成永久性土壤干层, 这为该区人工植被的良好生长提供了必要的条件。但目前加速发展的生态建设及经济林业仍会给该区土壤水分良性循环带来威胁, 因此应加强人工植被下土壤水分的长期观测, 合理引种、适当栽培, 在收益的同时保证生态环境的可持续发展。

关键词: 黄土高原南部; 人工植被; 土壤水分; 生态意义

中图分类号: S152.7

近年来, 黄土高原地区的土壤干化问题已受到学者们的广泛关注, 对土壤干层的分布层位、发育强度、产生原因进行了深入而细致的研究。研究发现, 黄土高原人工林下普遍存在土壤干层, 从东南向西北随着降水的减少, 土壤干化强度也随之加重。并且人们已经认识到土壤干化不仅影响到现有人工林的正常生长, 更严重的会导致该地区土壤水分环境的恶性循环^[1-2]。这对长期实施的“再造一个山川秀美的大西北”工程是极其不利的。因此, 整个黄土高原的土壤水环境都应受到重视。黄土高原面积广阔, 气候、地形、土壤性质复杂, 以往的研究多以点研究为主, 研究的重点多集中在干层发育严重的丘陵沟壑区^[3-5]。而关中地处黄土高原的最南部, 温度和降水条件均较好, 人工植被作用下的土壤水分状况如何也应明确, 这可为实现整个黄土高原人工植被下的土壤水环境从点到面的研究提供依据。

1 样品采集和研究方法

本研究主要在黄土高原南部的西安及其周边地区进行了打钻取样, 该区显域植被为暖温带落叶阔叶林和针阔叶混交林。本研究采样地点和采样所选林种分别为西安南郊吴家坟的杨树林、法国梧桐林、中国梧桐林; 高陵县田家村的中国梧桐林、杨树林; 临潼白

庙的杨树林、中国梧桐林及长安区少陵塬上的麦地和草地。所选的树种树龄均在 15 年以上。采样点均选在开阔平坦的河流阶地地面上, 广泛覆盖于其上的是发育于晚更新世晚期的马兰黄土。该地层土质疏松, 结构均一, 大孔隙和垂直节理发育, 含许多钙质结核, 中间夹一层发育弱的古土壤。在渭河二、三级阶地上, 该地层厚约 10 m 多, 采集的土壤样品均来自于马兰黄土(L₁)层。西安地区多年平均降水量为 600 mm 左右, 2003 年年均降水量达到 883 mm, 是西安地区典型的丰水年。由于西安地区降水主要集中在 7、8、9 三个月, 因此我们以 2003 年夏秋季为界, 对比分析了丰水年雨季前后各人工植被土壤含水量的差异。土壤样品的采集使用轻型人力钻采取, 每个采样点取样深度为 6 m, 样品间距约为 10 cm, 每个钻孔共取 60 个样品。土壤含水量的测定采用烘干称重法, 烘干温度为 105°C, 烘干时间为 10 h 以上, 烘干前后土重用高精度电子天平称量。

为确保土壤含水量的普遍性和可靠性, 每个采样点我们均打了 2~3 个钻孔, 每个钻孔取样 60 块。分析比较后发现同一样点的不同钻孔其土壤含水量与变化规律是极其相似的, 限于篇幅, 文中每个样点我们仅列举 1~2 个钻孔的土壤含水量进行分析。由于黄土地区土壤表层含水量受降水强度的影响十分强烈, 这

①基金项目: 国家自然科学基金项目(40672108)和陕西师范大学人文社科校级青年基金项目资助。

作者简介: 杜娟(1978—), 女, 西安人, 助理研究员, 主要研究方向为环境变迁。E-mail: dujuan@snnu.edu.cn

要求样品的采集应避免选择在当地明显降水过程刚刚结束之后。因此，有必要将西安地区采样时段的降水情况说明如下：本文的采样时段主要集中在 2002 年 2 月，2003 年 3 月、4 月、11 月，2004 年 4 月。2002 年 2 月的 25、26、27 日有零星降水，共计降水量约 4 mm。2003 年 3 月的 4、5、11、14、17、22 日有零星降水过程，但日降水量均不超过 3.5 mm；4 月的 1、10、18、22、29 日有降水，其中 4 月 1 日降水量达到 22 mm，22 日降水约 10 mm，其余均不足 5 mm；11 月的 4、7、8、9、19、25、26、28 日有降水，其中 7 日降水约 10.5 mm，4、9、25 日则在 5~10 mm 之间。2004 年 4 月的 23、25、26 日有降水，其中 25 日降水量约 10 mm，23 日约 6.5 mm，26 日仅 1 mm。

2 不同植被下土壤含水量测定结果

根据测定结果，采样林下 0~6 m 土层含水量分别在 1.5 m 和 3.5~4 m 左右的深度呈现出较为明显的分

层现象，且这种分层现象在各采样林下具有普遍性。因此我们根据土壤含水量变化曲线将样地 0~6 m 土层划分为 0~1.5 m、1.5~4 m（临潼地区人工林第二层划分在 1.5~3.5 m）、4~6 m 3 层进行土壤水分的比较分析。草地和麦地土壤含水量普遍较人工林高，且分层不明显，但为了和人工林进行对比，我们仍然将二者的土层含水量划分为以上 3 个层次进行讨论。

2.1 丰水年之前人工林草下土壤含水量测定结果

2.1.1 丰水年之前吴家坟及少陵塬人工林草下土壤含水量测定结果 我们于 2003 年 3 月 26 日和 4 月 16 日分别在西安南郊吴家坟地区杨树林、法国梧桐林下进行了土壤样品的采集。测定分析得知，两种乔木林下 0~6 m 土壤含水量变化规律十分相似，均呈现从上到下土壤含水量由大变小再变大的规律（表 1，图 1a、b），3 层土壤含水量变化范围及各层平均土壤含水量已分别列出（表 1）。

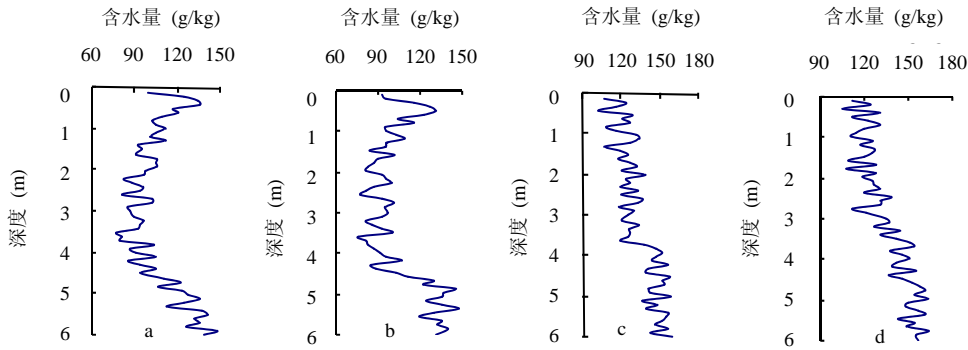
表 1 不同人工植被各层位土壤含水量

Table 1 Soil moisture content of each layer under different artificial vegetation

采样地点	植被种类	测定时间	第一层 (0~1.5 m)		第二层 (1.5~4 m 或 1.5~3.5 m)		第三层 (4~6 m 或 3.5~6 m)	
			波动范围	平均值	波动范围	平均值	波动范围	平均值
			(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
吴家坟	杨树林	2003 年 3 月	93~136	112	78~106	93	86~148	121
		2004 年 4 月	122~153	139	154~207	175	138~152	143
	法国梧桐林	2003 年 4 月	85~132	106	77~102	90	89~148	124
		2004 年 4 月	120~173	157	144~168	156	165~192	182
少陵塬	麦地	2003 年 3 月	102~133	119	117~152	129	136~159	148
		2004 年 4 月	141~212	177	189~250	227	167~253	190
	草地	2003 年 3 月	106~131	120	109~154	132	138~164	153
		2004 年 4 月	143~219	179	183~257	230	162~262	189
高陵田家村	中国梧桐林	2002 年 2 月	97~128	108	85~106	93	109~142	133
	杨树林	2002 年 2 月	96~147	113	81~102	91	96~147	129
高陵团庄	槐树林	2004 年 4 月	126~187	164	159~177	171	173~202	187
临潼白庙	杨树林	2003 年 3 月	86~103	95	81~104	89	106~126	119
		2003 年 11 月	146~201	178	129~236	197	142~166	150
	中国梧桐林	2003 年 3 月	83~104	93	82~107	91	108~136	123
		2003 年 11 月	138~198	181	140~237	198	138~187	154
荒草地	2003 年 3 月	104~126	116	105~155	134	149~161	155	

2003 年 3 月 12 日至 16 日我们在少陵塬麦地和草地进行了打钻取样和室内测定。结果显示，麦地和荒草地 0~6 m 土壤平均含水量高于人工林，且纵向含水量由低变高，在大约 3~4 m 之下含水量明显开始升高（表 1，图 1c、d）。

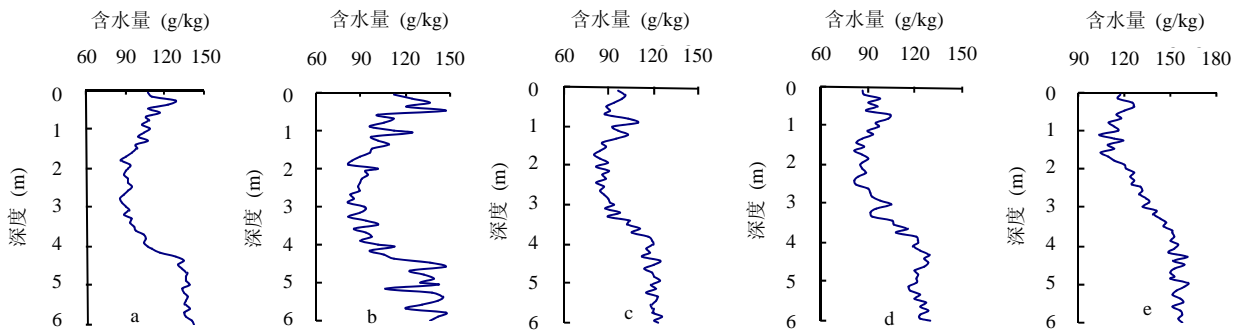
2.1.2 丰水年之前高陵、临潼人工植被下土壤含水量测定结果 2002 年 2 月 20 日到 2 月 24 日在高陵田家村的 中国梧桐林及杨树林下各打 2 个钻孔，其含水量值及变化趋势类似，我们这里仍仅选取其中之一进行分析。中国梧桐林和杨树林含水量变化趋势与吴家



(a 吴家坟杨树林; b 吴家坟法国梧桐林; c 少陵塬麦地; d 少陵塬草地)

图 1 西安吴家坟及少陵塬丰水年之前不同植被下土壤含水量

Fig. 1 Before abundant precipitation year soil moisture content under different vegetation in Wujiafen and Shaoling tableland of Xi'an area



(a 吴家坟杨树林; b 吴家坟法国梧桐林; c 临潼杨树林; d 临潼中国梧桐林; e 临潼荒草地)

图 2 高陵和临潼丰水年之前不同植被下土壤含水量

Fig. 2 Before abundant precipitation year soil moisture content under different vegetation in Gaoling and Lintong

坟人工林变化趋势相同,也是含水量由高变低再变高,在 1.5 ~ 4 m 之间土壤含水量显著降低,其值低于 100 g/kg (表 1, 图 2a、b)。

2003 年 3 月 19 日, 3 月 20 日和 3 月 24 日, 分别对临潼白庙杨树林地、中国梧桐林地和荒草地进行了打钻取样和室内含水量测定。测定结果显示, 0 ~ 6 m 土壤水分含量仍然是由大变小再变大, 在大约 1.5 ~ 4 m 之间出现了明显的干化现象, 只是含水量大约在 3.5 m 左右就显著增加, 较高陵人工林土壤干层分布层位较高一些。因此临潼地区人工林及荒草地的土壤分层与高陵地区略有不同, 将第二层的下限划分到 350 cm。临潼白庙杨树林和中国梧桐林各分层土壤水分含量见表 1 及图 2。临潼白庙草地的土壤含水量较杨树林和梧桐树林明显升高, 且在 0 ~ 6 m 整个土层未见到土壤

干化的显示。

2.2 丰水年之后人工植被下土壤含水量测定结果

2.2.1 丰水年之后吴家坟及少陵塬人工林草下土壤含水量测定结果 2004 年 4 月 22 日和 28 日我们又对吴家坟同一地点的杨树林、法国梧桐林进行了打钻取样。由表 1 所显示土壤含水量值可以看出, 各层土壤含水量明显上升, 且原来 1.5 ~ 4 m 的缺水带水分补充充足, 其值已达到 175 g/kg 和 156 g/kg。

2004 年 4 月 15 日和 24 日在少陵塬原地点的麦地和荒草地的水分测定结果显示, 麦地和荒草地丰水年后土壤含水量也明显升高, 尤其在中部 1.5 ~ 4 m 表现尤为突出, 土层含水量由原来的约 130 g/kg 上升到 230 g/kg 左右。

2.2.2 丰水年之后高陵及临潼人工林草下土壤含水

量测定结果 2004年4月15日我们在高陵县团庄槐树林下进行了打钻取样和含水量测定。结果显示,槐树林土壤含水量0~6m基本是持续升高,变化范围在126~202 g/kg。各层平均值分别为164、171和187 g/kg。

2003年11月26、27日,临潼白庙杨树林和中国梧桐林的测定结果显示,杨树林0~6m土壤含水量变化范围增大到129~236 g/kg。各层平均值分别上升到178、197、150 g/kg。中国梧桐树林0~6m土壤平均含水量变化范围在138~237 g/kg之间。3层平均含水量分别为181、198、154 g/kg(表1)。

3 讨论

3.1 黄土高原南部人工植被下土壤含水量状况分析

根据本文选取采样时段的降水变化,仅2003年4月1日,4月22日,11月7日,2004年4月25日降水量超过了10 mm,而我们所选取的采样日期之前一星期内均无较大强度降水,这在一定程度上减少了高强度降水对土壤含水量的即时影响。同时,由于黄土

高原土层深厚,降水入渗深度一般只能达到1.5~2 m^[6-8],1.5 m土层之上土壤含水量变化波动很大。因此,这里重点讨论降水入渗深度之下的土层含水量变化。

西安地区降水主要集中在7、8、9这3个月,根据中国天气网的历史气象数据显示,从2000年至2004年,西安7、8、9、10四个月的累计降水量分别约为305、250、135、638、305 mm。可见,2003年夏秋季节的降水量远远高于其他年份同期降水量。本文则以此为界线,探讨丰水年极端降水前后的土壤含水量变化。

2003年夏秋季之前,南郊吴家坟杨树林、法国梧桐林及少陵塬麦地、草地1.5~4 m土层平均含水量分别为93、90、129、132 g/kg;4~6 m土层平均含水量分别为121、124、148、153 g/kg。高陵中国梧桐林、杨树林1.5~4 m土层平均含水量分别为93、91 g/kg;4~6 m土层平均含水量分别为133、129 g/kg。临潼杨树林、中国梧桐林1.5~3.5 m土层平均含水量分别为89、91 g/kg;3.5~6 m土层平均含水量分别为119、123 g/kg(图3)。

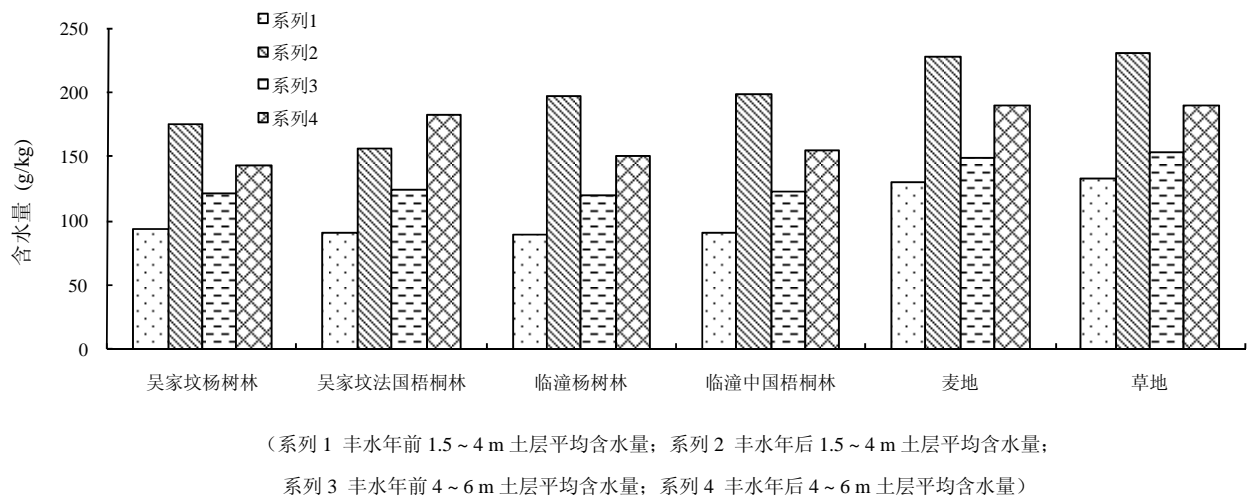


图3 丰水年前后不同人工植被下不同层位土壤含水量的比较

Fig. 3 Comparison of soil moisture contents at different depths under different artificial vegetations before and after abundant precipitation year

丰水年雨季之后,各人工林下土层含水量普遍升高。吴家坟及少陵塬杨树林、法国梧桐林、麦地和草地1.5~4 m土层平均含水量分别上升了82、66、98和98 g/kg;4~6 m土层平均含水量分别上升了22、58、42和36 g/kg。高陵地区由于地形变迁及人为堆放垃圾,我们未能在原来的中国梧桐林和杨树林下打钻取样,但是我们在其附件的槐树林下进行了打钻取样。同吴家坟两种人工林下的土壤水分变化规律类似,在

1.5~4 m、4~6 m土层含水量也较高,分别达到171 g/kg和187 g/kg,说明高陵地区的人工林下土壤含水量经过充足的雨水补给已普遍上升,且上升幅度也较大。临潼杨树林、中国梧桐林1.5~3.5 m土层平均含水量分别上升了98 g/kg和107 g/kg;3.5~6 m土层平均含水量二者分别上升了31 g/kg(图3)。

以上数据显示,在正常年份,黄土高原南部人工林下1.5~4 m土层水分大多数低于100 g/kg,已低于

该地区 100 g/kg 的土壤干层水分判别依据^[9], 说明林下土壤干层现象是普遍的。因此, 可以推测, 以 600 mm 等雨量线为界限, 年均降水量小于 600 mm 的地区种植乔木林, 林下都可能存在土壤干化现象。各人工林约 3.5 ~ 4 m 以下土层含水量普遍高于 100 g/kg, 大多数高于 120 g/kg, 说明土壤干化层只是出现在 4 m 之上的土层, 下部土层还未出现, 这应该与林木主要的根系分布有关。在丰水年之后, 各层土壤水分含量都有较大幅度上升, 发育弱的土壤干层已经全部消失, 且这一层的水分补给是最为显著的。可见, 该区形成的土壤干层并非永久性干层, 随着降水的增加, 该区的土壤水环境通过自身调节, 能够达到新的平衡。

3.2 不同人工植被土壤水分恢复差异

土壤水分含量测定得知, 不同人工林土壤各层位含水量相差不多, 除麦地和草地外, 丰水年之前各人工林 1.5 ~ 4 m 土层含水量大约都在 90 ~ 100 g/kg 之间 (图 3, 系列 1), 4 ~ 6 m 土层含水量大约在 120 ~ 130 g/kg (图 3, 系列 3)。可以看出, 水分补充不足的情况下, 各人工林各个层位的土壤含水量并无明显差别。而麦地和草地两个层位的土壤含水量均明显高于乔木林, 草地的土壤含水量又高于麦地。丰水年之后各人工林 1.5 ~ 4 m 和 4 ~ 6 m 土层含水量均上升, 且增加幅度显著不同。1.5 ~ 4 m 土层含水量增幅较大, 大多增加了 80 g/kg 以上的水分含量, 临潼人工林已增加了约 100 g/kg (图 3, 系列 2), 这为人工林的正常生长提供了良好的水分储备。4 ~ 6 m 土层含水量本身亏缺或不亏缺, 加之层位较深, 因此增幅较小, 大多在 60 g/kg 以下 (图 3, 系列 4)。同是人工乔木林, 其水分增幅也各不相同, 其中 1.5 ~ 4 m 土层含水量增幅最大的是临潼杨树林和中国梧桐林, 水分增加了 100 g/kg 以上; 其次为少陵塬麦地和草地, 增幅分别为 98 g/kg; 而吴家坟杨树林及法国梧桐林土壤水分增幅较低, 分别为 82 g/kg 和 56 g/kg。人工林与麦地、草地水分恢复的差异主要是由植被本身的根系特征、耗水特性及缺水程度引起的, 而同为人工乔木林, 南郊吴家坟和临潼地区土壤水分恢复的明显差异是否由局部地区差异引起的, 还有待于进一步查明。

3.3 黄土高原南部地区土壤干化的生态意义

黄土高原南部人工林下土壤干层位于 1.5 ~ 4 m 深度范围内, 水分含量大致在 90 g/kg 左右, 水分亏缺量不是很大。不仅高大的乔木林下有土壤干化的显示, 目前广泛发展的果树经济林下土壤干化现象更为严重^[10-11], 且随着栽培面积的扩大, 必将使黄土高原南部的土壤水环境面临更为严重的负补偿状态。该区虽然

水分条件优于黄土高原其他地区, 但大力发展生态林、果树经济林及林木育种育苗会给土壤水环境带来更严峻的挑战。尽管麦地下土壤层并未出现干化现象, 但黄土高原南部地区农作物需水量占种植业中需水量的比例较高, 且农业用水浪费严重, 导致可能消耗更多的农业水资源^[12], 这对保持该区农林水土资源的持续发展也是不利的。因此, 我们应加强林木下的土壤水分观测, 合理引种, 适当栽培, 同时, 合理调整种植业结构, 实施节水农业, 在收益的同时保证生态环境的可持续发展。

4 结论

(1) 黄土高原南部地区正常降水条件下杨树林、法国梧桐林和中国梧桐林下大约 1.5 ~ 4 m 土层含水量为 90 g/kg 左右, 形成了发育弱的厚约 2.5 m 的土壤干化层。农作物和草地下 0 ~ 6 m 整个剖面未出现土壤干层。

(2) 丰水年极端降水后 3 种人工乔木林下的土壤干层全部消失, 1.5 ~ 4 m 土层水分增幅明显高于 4 ~ 6 m 土层, 可见亏缺层位的水分得到了更好的补充。临潼杨树林和中国梧桐林水分增幅最大, 吴家坟杨树林及法国梧桐林增幅较低, 这种差异应该是由区域内部气候、地形等的不同所引起的。

(3) 黄土高原南部人工林下土壤有明显干化的显示, 但总体水分亏缺不是很多。降水丰沛的情况下, 干层完全消失。因此, 该区人工林下发育的土壤不属于永久性干层。但该区目前正在大力发展的生态林、果树经济林及林木育种育苗应该在加强林木下的土壤水分观测, 合理引种, 适当栽培的条件下实施。

参考文献:

- [1] 李艳梅, 王克勤. 人工植被的土壤水分状况与水分动态研究. 贵州林业科技, 2003, 31(3): 1-7
- [2] 陈洪松, 绍明安, 王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征. 生态学报, 2005, 25(10): 2491-2498
- [3] 程积民, 万惠娥, 雍绍萍, 王静. 黄土丘陵区沙棘灌木林地土壤水分动态研究. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1352-1356
- [4] 王力, 邵明安, 李裕元. 陕北黄土高原人工刺槐林生长与土壤干化的关系研究. 林业科学, 2004, 40(1): 84-91
- [5] 马维伟, 王辉, 连树清. 兰州北山侧柏人工林地土壤水分研究. 土壤, 2009, 41(1): 102-106
- [6] 孙长忠, 黄宝龙. 黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究. 生态学报, 1999, 19(5): 615-621
- [7] 袁建平, 蒋定生. 黄土丘陵沟壑区小流域降雨入渗产流点面转

- 化. 地理科学, 2001, 21(3): 262-266
- [8] 郭志升, 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. 生态学报, 2003, 23(8): 1640-1646
- [9] 王力, 邵明安, 王全九, 贾志宽, 李军. 黄土区土壤干化研究进展. 农业工程学报, 2004, 20(5): 27-31
- [10] 殷淑燕, 黄春长. 黄土高原苹果基地土壤干燥化原因及其对策. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2):76-80
- [11] 李瑜琴, 赵景波. 西安附近丰水年秋季苹果林地土壤水分恢复研究. 中国生态农业学报. 2007, 15(4): 75-77
- [12] 耿艳辉, 闵庆文, 成升魁. 西北地区种植业需水分析—以泾河流域为例. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 30-34

Research on Soil Moisture Under Effect of Artificial Vegetation in Southern Loess Plateau

DU Juan¹, ZHAO Jing-bo^{1,2}

(1 Center for Historical Environment and Socio-Economic Development in Northwest China of Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2 College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Based on abundant field investigation and indoor measurement, soil moisture contents were studied at the depth of 0-6 m under different artificial vegetations in southern Loess Plateau before and after the extreme precipitation. The results indicated that in the ordinary year with annual mean rainfall of 600 mm, the average moisture contents at the depth of 1.5-4 m in poplar woods, chinara woods and Chinese phoenix tree forest were approximately 90 g/kg, and the weak drying soil layer had developed. The average moisture contents at the depth of 4-6 m were about 120 g/kg, which surpass the upper soil layer. Soil moisture contents at the depth of 0-6 m under wheat and lawn fields were good and no soil drying occur. In the year of abundant rain soil drying under all forest vanishes and soil moisture restores well after extreme precipitation, and soil drying was not permanent, which provides necessary condition for good growth of artificial vegetation in the area. But at present, the acceleratory development of ecosystem construction and economic forestry still bring threats to the virtuous cycle of soil moisture in the area, so it should monitor soil moisture chronically, introduce and plant rationally new species in order to obtain economic benefits and meanwhile to realize sustainable development.

Key words: Southern Loess Plateau, Artificial vegetation, Soil moisture, Ecological significance