

# 黄土丘陵区人工小叶杨生长空间差异 及其土壤水分效应<sup>X</sup>

焦 峰<sup>1,2</sup>, 温仲明<sup>1</sup>, 焦菊英<sup>1</sup>, 卜耀军<sup>1</sup>, 赫晓慧<sup>1,2</sup>, 马祥华<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院水利部, 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 小叶杨是黄土高原主要水土保持树种之一, 但营造坡位和方式的不同, 其生长的空间差异显著。研究表明, 坡下部小叶杨平均地径、胸径、枝下高和冠幅等参数都明显优于坡中部和上部, 以沟谷地带的小叶杨生长为基点, 则坡下部、中部和上部的小叶杨的树高和胸径生长潜力分别为沟谷地带小叶杨的 77.53%、34.88%、31.88% 和 75.59%、39.51%、33.36%; 小叶杨(+沙棘)混交林, 其林分的平均树高、地径、胸径及冠幅等生长参数都明显高于纯小叶杨林, 混交小叶杨林比纯小叶杨林有更好的稳定性。小叶杨林地土壤水分变化规律: 坡下> 坡中> 坡上, 随坡位升高, 其差值逐步增大; 混交比纯林模式对深层土壤水分的消耗更大; 在 100~500 cm 土层的小叶杨林地普遍存在低于凋萎湿度的土壤干层, 即使通过雨季降水的补充也难以恢复。

**关键词:** 黄土丘陵; 小叶杨; 空间差异性; 土壤水分效应

**中图分类号:** Q945.79; S152.7      **文献标识码:** A

## Spatial Growth Differences of Planted *Populus simonii* and Their Ecological Effects on Soil Moisture in Hilly Loess Regions

JIAO Feng<sup>1,2</sup>, WEN Zhong-ming<sup>1</sup>, JIAO Ju-ying<sup>1</sup>,  
BU Yao-jun<sup>1</sup>, HE Xiao-hui<sup>1,2</sup>, MA Xiang-hua<sup>1,2</sup>

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** *Populus simonii* is one of the main tree species to conserve soil and water in the Loess Plateau, but its growth presents significant spatial differences due to different slope locations and planting modes. The study indicated that it performed better in ground diameter, diameter breast height, branch height and canopy width on lower slope than on middle and upper slope; the potential tree height and diameter breast height of *Populus simonii* planted on lower, middle and upper slopes were 77.53%, 34.88%, 31.88%, 75.59%, 39.51% and 33.36% as much as those of *Populus simonii* planted on valleylands; the average tree height, ground diameter, diameter breast height and canopy width in the stands of the mixed *Populus simonii* forests (plus seabuckthorn) were remarkably higher than those in the stands of the pure *Populus simonii* forests, and the mixed *Populus simonii* forests were more stable than the pure *Populus simonii* forests. In the forestland of *Populus simonii*, the soil moisture declined in the order of lower, middle and up-

X 收稿日期: 2004-08-03; 修改稿收到日期: 2005-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40301029; 40271074); 中国科学院“西部之光”人才培养计划(B22012900); 中国科学院水土保持研究所领域前沿(SW04101)

作者简介: 焦 峰(1967-), 男, 副研究员, 在职博士研究生, 主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。E-mail: Jiaof11@126.com

per slope with the decrements expanding with elevated slope locations; the mixed forests consumed more water form deep soil than the pure forests did; in the forestland of *Populus simonii*, there widely existed a dry soil layer in 100 ~ 500 cm soil whose soil moisture was below wilting humidity and even the water compensation by the rainfall in rainy season could grid of the dry soil layer.

Key words: hilly Loess regions; *Populus simonii*; spatial difference; effect on soil moisture

植被具有明显的保水保土功能<sup>[1-3]</sup>。在水土流失严重的黄土高原地区, 植被建设一直是水土保持的主要措施之一, 并在过去的 50 多年中, 取得了一定的成效, 如植被覆盖增加、局部地区水土流失得到一定程度控制<sup>[4]</sup>。但就黄土丘陵区地理位置和自然特征而言, 土壤水分亏缺给植被的恢复和重建造成的困难相对较大<sup>[5,6]</sup>, 且人工建造植被的物种、结构、模式等较为单一<sup>[7]</sup>。而人工植被群落对土壤水分的过度消耗, 会形成永久性土壤干层<sup>[8-10]</sup>, 对植被的持续性构成了严重威胁, 不能发挥其应有的生态效益, 这一问题在半干旱的黄土丘陵区表现的更为明显。因此, 植被生长特性及其与水分的相互作用研究已成为该地区人工植被建设的重要课题<sup>[11-13]</sup>。

小叶杨(*Populus simonii* Carr.) 具有耐旱、耐寒、耐瘠薄的特点, 并具有适应性广、生长优良、寿命长等特性, 是黄土高原人工种植较多的乡土和栽培树种, 也是黄土丘陵区主要水土保持树种之一<sup>[14]</sup>。目前, 国内外对小叶杨的研究主要集中在生理、生态、遗传等方面, 并取得了一批成果<sup>[15-17]</sup>。随着我国退耕还林(草)工程的实施, 系统研究黄土丘陵区人工小叶杨生长的空间差异及其土壤水分效应, 对该区小叶杨的合理经营和水土保持林的科学营造具有重要理论价值。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

研究区位于陕北吴旗县(107°38'57" ~ 108°32'

49'N, 36°33'33" ~ 37°24'27"E) 境内, 属典型黄土丘陵沟壑区。受大陆性季风气候影响, 降雨少, 年均降雨量为 478.3 mm, 且时空分布不均, 7~9 月份的降雨量可占到平均降雨量的 62.4%; 年均气温 1.8℃。植被间于森林草原和蒙古草原之间, 其南部是白羊草草原, 属暖温带草原, 在区系上具有热带草原亲缘; 北部是比较典型的温带草原, 与温带草原有亲缘关系, 是欧亚草原的延伸<sup>[18]</sup>。

研究地块为不同坡位的纯小叶杨人工林和小叶杨(+ 沙棘)混交林, 海拔约 1600 m; 坡度在 20°~30°之间, 土质为黄绵土, 郁闭度 20%~35%不等, 林下植被以砂珍珠豆(*Oxytropis psammocharis*)、阿尔泰狗娃花为主(*Heteropappus altaicus*), 伴生植物有达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)和猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 植被特性测定 本研究的对象是不同空间部位的人工纯小叶杨林、小叶杨混交林, 营造时间为 20 世纪 70 年代。对小叶杨采用 10 m × 10 m 样方(必要时可根据实际作适当调整), 进行每木测定, 测定内容包括树高、胸径、枝下高、冠幅等; 对林下植被则采用 1 m × 1 m 样方(10 个重复), 对其植物群落调查, 记录每个群落的名称、盖度、物种组成及其名称、数量或丛数、高度等, 并对群落物种多样性的有关指数进行计算<sup>[19]</sup>。用 GPS 和坡度尺测量并记录样地地理位置及样地环境(坡度、坡位、坡向等)(表 1)。采样时间为 2003 年 7 月。

表 1 观测样点基本情况

Table 1 Basic information of the sample sites

调查地点 Survey site					(%)
长城乡杨庄村 Yangzhuang village, Changcheng township	东北坡 N-E	坡上 Upper slope	25°	纯林 Pure forest	20
长城乡杨庄村 Yangzhuang village, Changcheng township	东北坡 N-E	坡中 Middle slope	22°	纯林 Pure forest	20
长城乡杨庄村 Yangzhuang village, Changcheng township	东北坡 N-E	坡下 Lower slope	22°	纯林 Pure forest	30
薛岔乡湫滩沟 Qiutan village, Xuecha township	西北坡 N-W	坡中 Middle slope	27°	混交 Mixed forest	35

注: . 坡向; . 坡位; . 坡度; . 营造方式; . 郁闭度。

Note: . Slope direction; . Slope location; . Slope gradient; . Plant mode; . Coverage.

1.2.2 土壤贮水量测定 土壤水分采用土钻取样, 烘干法(105℃)测定, 测深 5 m, 每间隔 20 cm 土层

深度取一次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同坡位小叶杨人工林生长空间差异性及土壤水分效应分析

#### 2.1.1 不同坡位小叶杨人工林生长的空间差异性

表 2 不同坡位小叶杨的生长状况

Table 2 Growths of *Populus simonii* at different slope location

样方地点 Sample site	SL	MTH(m)	MGD(cm)	DBH(cm)	MBH(m)	MCW(m×m)	FE
长城乡 杨庄村	下 Lower	12.67	24.14	18.33	7.81	5.1×4.8	一般 General
Yangzhuang village, Changcheng township	中 Middle	5.70	12.91	9.58	3.15	3.0×2.8	不良 Bad
	上 Upper	5.21	11.17	8.09	3.20	2.8×2.4	不良 Bad

注: SL. 坡位; MTH. 平均树高; MGD. 平均地径; DBH. 平均胸径(cm); MBH. 平均枝下高; MCW. 平均冠幅; FE. 现场评价。

Notes: SL. Slope location; MTH. Mean tree height; MGD. Mean ground diameter; DBH. Breast diameter height; MBH. Mean branch height; MCW. Mean canopy width; FE. Field evaluation.

据表 2, 坡下位的小叶杨生长良好, 郁闭度为 30%, 平均树高可达 12.67 m, 而坡中部和坡上部的小叶杨平均树高仅为 5.70 m 和 5.21 m, 相差一倍以上。平均地径、胸径、枝下高和冠幅等生长参数也表现出同样的趋势。野外调查的现场评价分别将坡下位、坡中位和坡上位的小叶杨的生长状况判定为一般和不良、良, 应是对这种生长差异的客观评价。

表 3 不同坡位人工小叶杨树高、胸径生长潜力

Table 3 Potential tree height and diameter breast height of *Populus simonii* at different slope locations

地理部位 Geographical location	树高生长潜力 Potential tree height		胸径生长潜力 Potential diameter breast height	
	平均树高 Mean tree height(m)	生长潜力 Growing potential(%)	平均胸径 Mean diameter breast height(m)	生长潜力 Growing potential(%)
沟谷地带 Valley lands	16	100	24.25	100
坡下部 Lower slope	12.67	77.53	18.33	75.59
坡中部 Middle slope	5.70	34.88	9.58	39.51
坡上部 Upper slope	5.21	31.88	8.09	33.36

据表 3, 以沟谷地带的小叶杨生长为基点, 则坡下位的小叶杨树高生长达到了其潜力的 77.53%, 而坡中部和坡上部的树高只达到了其生长潜力的 34.88% 和 31.88%。胸径生长基本表现出同样的变化趋势, 坡下部、中部和上部的胸径生长分别为沟谷小叶杨的 75.59%、39.51% 和 33.36%。根据野外观测, 坡中、上部小叶杨林枯梢较多, 枝干弯曲, 且林间空隙较大, 很难发挥保持水土的作用, 与其生长潜力表现基本吻合。

2.1.3 不同坡位小叶杨人工林土壤水分效应分析 降雨到达地面后, 一部分入渗到土壤形成土壤水, 另一部分则形成地表径流向坡下流动。就同一坡面而言, 坡下部接受的降雨相对较多, 对不同坡位土壤水分造成影响。

表 4 为不同坡位小叶杨林地土壤水分状况。据测定, 0~200 cm 土层平均含水率, 坡下部较坡中部

比较 小叶杨的生长随地貌位置的不同, 表现出较大的差异。根据对吴旗县长城乡杨庄村相同坡向不同坡位小叶杨人工林生长状况的调查结果, 小叶杨人工林在树高、胸径、冠幅等生长方面均存在较大差异(表 2)。

2.1.2 不同坡位小叶杨人工林生长潜力比较 沟谷地立地条件好, 是黄土丘陵区乔木林分布的主要部位, 小叶杨在沟谷地生长基本可以正常郁闭和成材。以沟谷地小叶杨为其生长的理想状态(假定其生长状况实现了其完全的生长潜力, 其生长潜力为 100%), 将不同坡位小叶杨生长状况和生长潜力进行比较(表 3)。

高 1.12%, 较坡上部高 1.13%; 200~500 cm 土层平均含水率, 坡下部较坡中部高 0.83%, 较坡上部高 2.30%, 且随着土层深度增加和坡位升高, 二者差值增大趋势明显。由表 4 可见, 坡位对小叶杨林地土壤水分变化有显著影响, 造成小叶杨的生长空间差异性明显。在 20~300 cm 土层范围内, 60~120 cm 土层时达到 1.32% 和 1.40%, 而在 120~300 cm 土层范围内, 二者差值呈下降趋势, 在 200~300 cm 仅为 -0.14% 和 0.45%; 说明径流自坡上向坡下集中, 在坡下土壤地表径流入渗给土壤水分的补充要高于坡中和坡上部。而在 300~500 cm 土层, 二者差值逐步增大, 进一步说明了在坡中和坡上部表层土壤水分的缺乏, 迫使小叶杨更多地消耗深层土壤的水分。从所调查的小叶杨林生长状况来看, 坡下部林分生长良好, 其地径、胸径、枝下高和冠幅等参数都优于坡中部和上部, 土壤水分的作用不可否认,

因此在坡下部种植小叶杨更有利于其稳定生长。

表 4 不同坡位小叶杨林地土壤水分含量

Table 4 Soil moistures in *Populus simonii* at different slope locations

土壤含水量 Soil moisture(%)	土层深度 Soil depth(cm)					
	20~60	60~120	120~200	200~300	300~400	400~500
DM	9.85	6.65	6.45	6.61	6.99	6.91
MM	8.70	5.33	5.51	6.75	6.81	4.45
UM	8.48	5.25	5.55	6.16	4.11	3.35
DM-MM	1.15	1.32	0.94	-0.14	0.18	2.46
DM-UM	1.37	1.40	0.90	0.45	2.88	3.56

注: DM. 坡下部土壤含水量; MM. 坡中部土壤含水量; UM. 坡上部土壤含水量。

Notes: DM. Soil moisture on lower slope; MM. Soil moisture on middle slope; UM. Soil moisture on upper slope.

## 2.2 不同营造方式小叶杨林生长差异性及其土壤水分效应分析

### 2.2.1 不同营造方式小叶杨林生长状况比较

比较不同营造方式下小叶杨生长的变化, 对该地区纯小叶杨林和小叶杨(+沙棘)混交林中的小叶杨的生长状况进行了调查、分析和比较(表 5)。

表 5 纯小叶杨林与小叶杨(+沙棘)混交林生长状况

Table 5 Growth of the pure and mixed(+*Hippophae rhamnoides*) forests of *Populus simonii*

样方地点 Sample site	SL	PM	C(%)	MTH(m)	MGD(cm)	DBH(cm)	MCW(m×m)	FE
长城乡杨庄村 Yangzhuang village, Changcheng township	中 Middle	纯林 Pure	20	5.70	12.91	9.58	3.0×2.8	不良 Bad
薛岔乡湫滩沟 Qiutan village, Xuecha township	中 Middle	混交 Mixed	35	6.58	16.69	9.69	3.91×3.89	一般 General

注: SL. 坡位; PM. 营造方式; C. 郁闭度; MTH. 平均树高; MGD. 平均地径; DBH. 平均胸径; MCW. 平均冠幅; FE. 现场评价。

Notes: SL. Slope location; PM. Planting mode; C. Coverage; MTH. Mean tree height; MGD. Mean ground diameter; DBH. Diameter breast height; MCW. Mean canopy width; FE. Field evaluation.

由表 5 可见, 在其它条件基本相同情况下, 小叶杨与沙棘混交, 其林分的郁闭度高, 平均树高、平均地径、平均胸径及平均冠幅等参数都明显高于纯小叶杨林。可见, 作为该地区隐域树种, 小叶杨林的营造方式, 纯林营造时除沟谷外, 在其它部位的生长均表现不良, 但与沙棘混交后, 却表现出良好的生长态势。因此, 如果在该地区营造乔木林, 若采取合理的混交模式, 在一定程度上可以减少人工纯林的不利影响, 形成生长较为良好的人工林分。

### 2.2.2 不同营造方式小叶杨林下植被状况比较

小叶杨林下植被状况可以反映小叶杨对其它植物生长的影响。通过对不同营造方式(纯林和混交林)林

下植被状况(自 1998 年禁牧后自然演替形成)调查结果表明, 不同营造方式对林下植被的覆盖度和物种多样性有较大影响, 混交林的植被覆盖度均比纯林大, 高出 15%~25%。表 6 表明, 在其它条件基本相同情况下, 混交林林下植被丰富度指数、辛普森指数、香农指数和均匀度指数分别为 1.80、0.63、1.85 和 0.85, 分别比纯林高出 30%、58.7%、50.8% 和 44.7%, 说明混交林林下植物群落比纯林具有更大的物种丰富度和较高的分布均匀性, 因此也具有较高的物种多样性。结合群落覆盖度情况, 可以看出, 混交林分郁闭度高, 物种丰富且分布均匀, 比纯林更易形成稳定的混合结构, 产生良好的生态效益。

表 6 不同营造方式小叶杨林下植被状况比较

Table 6 Vegetations under *Populus simonii* under different building modes

样方地点 Sample site	SL	PM	RI	SI	SWI	EI
长城乡杨庄村 Yangzhuang village, Changcheng township	中 Middle	纯林 Pure	1.26	0.26	0.91	0.47
薛岔乡湫滩沟 Qiutan village, Xuecha township	中 Middle	混交 Mixed	1.80	0.63	1.85	0.85
二者相差比例 Percentage between two sites(%)			30	58.73	50.81	44.70

注: SL. 坡位; PM. 营造方式; RI. 丰富度指数; SI. 辛普森指数; SWI. 香农指数; EI. 均匀度指数。

Notes: SL. Slope location; PM. Planting mode; RI. Richness index; SI. Simpson index; SWI. Shannon-Wiener index; EI. Evenness index.

### 2.2.3 不同营造方式小叶杨人工林地土壤水分效应分析

表 7 为不同营造方式小叶杨人工林地土壤

水分状况。据测定, 0~120 cm 土层平均含水率, 混交林高于纯林; 而自 140 cm 土层开始, 纯林土层的

平均含水率高于混交林,且随土层深度的增加,二者差值呈增大趋势。可见,不同营造方式对小叶杨林地土壤水分变化影响比较复杂,虽然沙棘维持自身的生长需要和小叶杨争夺水分,但沙棘根系的富磷作用,使土壤表层变得更加疏松,有利于降雨入渗和存贮,所以在 20~120 cm 土层范围内,能够基本保持土壤水分的平衡,其土壤水分含量高于纯林。但自 140 cm 土层开始,随着沙棘根系的减少,和小叶杨

表 7 不同营造方式小叶杨林地土壤水分含量

Table 7 Soil moistures of *Populus simonii* Carr. forest under different planting modes

土壤含水量 Soil moistures (%)	土层深度 Soil depth(cm)					
	20~60	60~120	120~200	200~300	300~400	400~500
PM	8.70	5.33	5.51	6.75	6.81	4.45
MM	9.30	6.96	4.62	4.72	3.94	3.45

注: PM. 纯林林地土壤含水量; MM. 混交林地土壤含水量。

Note: PM. Soil moisture of the pure forests; MM. Soil moisture of the mixed forests.

### 2.3 小叶杨人工林地土壤干层分析

在植被过度耗水情况下,土壤水分长期处于极度亏缺状态,接近或低于凋萎湿度,经雨季可得到部分补偿,但得不到补偿的土层,土壤含水率长期处于一种比较稳定的低水平状态,这一土层通常被称为土壤干层<sup>[8]</sup>。从图 1 土壤水分的垂直变化来看,小叶杨林的土壤含水率在 0~120 cm 土层深度变化剧烈,变化范围为 4.1%~11.2%,表明 0~120 cm 土层是小叶杨林地土壤水分补偿和利用的主要层次;在 120~500 cm 土层,不同坡位和不同营造方式小

自身表层根系缺少竞争力,迫使其更多地吸取下层的土壤水分以维持自身生长的需要。纯林模式下层土壤水分基本能够保持平衡,而混交模式其下层土壤水分在逐步减少,说明在同样条件下,混交模式比纯林模式对深层土壤水分的消耗更大。从不同营造方式小叶杨林的生长状况来看,混林模式小叶杨林分生长较好,其地径、胸径、枝下高和冠幅等参数都优于纯林,其生长潜力也远远高于纯林。

叶杨林地的土壤含水率随深度变化的趋势基本一致,说明其林分对土壤水分的利用规律基本相似,但与坡下部小叶杨林地土壤含水率相比,坡中、上部林地土壤含水率明显偏低,反映出坡位和营造方式对土壤的干化作用。总体而言,小叶杨林在 100 cm 以下均存在明显干层,土壤含水率变化从 3.0%~7.6%,坡下部土壤含水率高于其它坡位或营造方式小叶杨林地,说明小叶杨林地 100~500 cm 土层的土壤水分均得到较大消耗,形成了最高含水率不超过 8% 的土壤干层。

土壤水分状况是降雨和植被共同作用的结果。土壤干层的形成与植被的种类有密切关系,在没有人干预的情况下,当年降雨量相对稳定时,植被会形成稳定的类型、结构和密度,并按自然规律演替和发展,最终形成与降雨条件一致的相对稳定的群落结构,降雨与植被也处于相对稳定状态,一般不会形成土壤干层。但在人为干预下组成新的植被种类和种群生长模式时,就破坏了植被和降雨之间的平衡关系,长期过度消耗土壤水分,导致了土壤干层的形成。以上分析表明,小叶杨林地 100~500 cm 存在明显干层,在降雨较丰年份,其土层含水率可得到不同程度的恢复,但干层仍难以消除,而对于坡位较高、与其它灌丛植被混交的小叶杨林,土壤干层的程度更加严重,即使通过雨季降水的补充也难以恢复。

土壤干层的形成使土层贮存的水分减少,削弱了土壤对水分的调节能力,使植被生长环境更加旱化,抵抗干旱气候的能力减弱,若遭遇干旱年份,就可能发生大面积死亡。另外,土壤干层的存在,使林分生长衰退,提早老化,形成“小老树”。因此,从黄土高原生态环境建设大局出发,避免和减少土壤干层

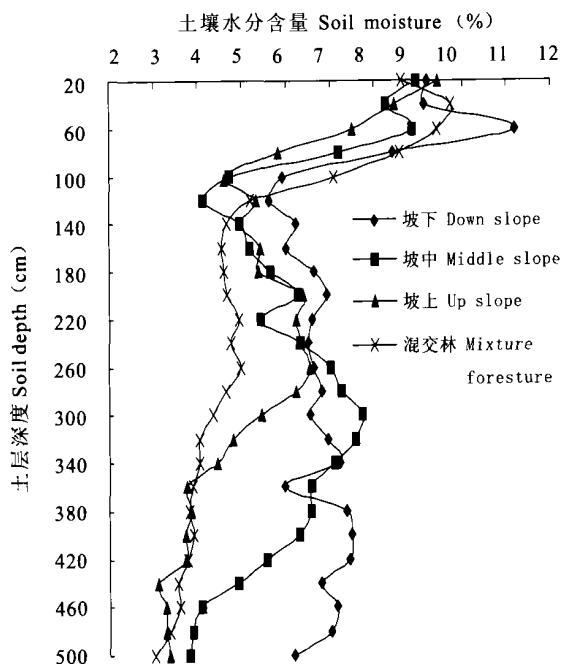


图 1 土壤水分的干层分析

Fig. 1 Analysis of the soil dry-layer in soil moisture

的形成和危害,是值得长期关注的问题。

### 3 结 论

(1)不同坡位的小叶杨人工林生长的空间差异性明显。坡下部小叶杨林分生长良好,其地径、胸径、枝下高和冠幅等参数都优于坡中部和上部。因此,坡下部种植小叶杨更有利于其稳定生长。

(2)不同营造方式对小叶杨林地生长状况有显著影响。在其它条件基本相同情况下,小叶杨与沙棘混交,其林分的郁闭度高,平均树高、平均地径、平均胸径及平均冠幅等参数都明显高于纯小叶杨林。因此,混交小叶杨林比纯小叶杨林有更好的稳定性。

(3)0~200 cm 土层平均含水率,坡下部较坡中部高 12.55%,较坡上部高 13.51%;200~500 cm

土层平均含水率,坡下部较坡中部高 12.28%,较坡上部高 33.63%;且随着坡位升高,二者差值有明显增大趋势。

(4)与纯林相比,混交林林下植被物种更丰富,分布更均匀,从生态效益角度来说,混交小叶杨林比纯小叶杨林具有更好的结构和稳定性。但从土壤水分角度看,其情况变得比较复杂,有待进一步研究。

(5)小叶杨林地在 100 cm 以下土层均存在明显干层,土壤含水率变化从 3.0%~7.6%,说明小叶杨林地 100~500 cm 土层的土壤水分均得到较大消耗,形成了最高含水率不超过 8% 的土壤干层。且在坡位较高、或其它灌丛植被混交的小叶杨林,土壤干化程度更加严重,即使通过雨季降水的补充也难以恢复。

### 参考文献:

- [1] XIANG SH Q(向师庆). Research on soil resource conservation of roots catena of shrubby and grass[J]. J. Beijing For. Univ. (北京林业大学学报), 1988, 10(4): 14- 17(in Chinese).
- [2] HOU X L(侯喜禄). Study on benefits of soil and water conservation of forest and its mechanism in Loess hilly region[J]. J. Soil Water Cons. (水土保持学报), 1996, 3(2): 98- 103(in Chinese).
- [3] WU Q X(吴钦孝), ZHAO H Y(赵鸿雁). Basal rule and summarization of soil and water on vegetation[J]. J. Soil Water Cons. (水土保持学报), 2001, 15(4): 13- 16(in Chinese).
- [4] 黄河水利委员会. 黄河水土保持年鉴[M]. 郑州: 河南人民出版社, 1992.
- [5] CHEN Y M(陈云明). Soil and water conservation function and ecological benefits of different type vegetation in semi-arid Loess hilly region[J]. J. Soil Water Cons. (水土保持学报), 2000, 14(3): 57- 61(in Chinese).
- [6] WANG K Q(王克勤), WANG B R(王斌瑞). Study on thinning to Robinia pseudoacacia forest on the Loess Plateau[J]. Chin. J. Appl. Ecol. (应用生态学报), 2002, 13(1): 11- 15(in Chinese).
- [7] CHEN Y M(陈云明), LIU G B(刘国彬), HOU X L(侯喜禄). Ecological benefits of artificial seabuck thorn stands in semi-arid hilly region of Loess Plateau soil and water conservation and soil moisture[J]. Chin. J. Appl. Ecol. (应用生态学报), 2002, 13(11): 1 389- 1 393(in Chinese).
- [8] HOU Q CH(侯庆春). Preliminary study on soil dry layer of artificial forest and grassland on Loess Plateau[J]. J. Chin. Soil Water Cons. (中国水土保持), 1999, 5(5): 11- 13(in Chinese).
- [9] MU X M(穆兴民), CHEN J W(陈霁伟). Effect of soil and water conservation measure to soil moisture in Loess Plateau[J]. J. Soil Water Cons. (水土保持学报), 1999, 5(4): 39- 44(in Chinese).
- [10] LI Y SH(李玉山). Effect on vegetation to land water cycle in Loess Plateau[J]. J. Natural Resources(自然资源学报), 2001, 16(5): 427 - 432(in Chinese).
- [11] HOU X L(侯喜禄), BAI G S(白岗栓). Dynamical monitoring on soil and water of tree and shrub stands in Loess hilly region[J]. Res. Soil Water Cons. (水土保持研究), 1996, 3(2): 57- 65(in Chinese).
- [12] SUN CH ZH(孙长忠). Relationship between artificial vegetation with its soil water environment[J]. J. Beijing For. Univ. (北京林业大学学报), 1998, 20(3): 7- 13(in Chinese).
- [13] 王义风. 植被资源机器合理利用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [14] WANG Y(王 燕), LU W(吕 文), ZHANG W D(张文东). Research advance of Populus simonii[J]. Protection Forest Science and Technology(防护林科技), 2000, 3: 66- 69(in Chinese).
- [15] CHENG J M(程积民), WAN H E(万会娥), WANG J(王 静). Excessive depletive dynamic of soil water of Populus simonii in Loess hilly region[J]. J. Soil Water Cons. (水土保持学报), 2003, 17(3): 70- 73(in Chinese).
- [16] SONG X D(宋西德), HOU L(侯 琳), LUO W X(罗伟祥). On mixture forest of Populus simonii and Hippophae rhamnoides in hilly region Loess Plateau[J]. J. Northwest Forestry Univ. (西北林学院学报), 2001, 16(2): 15- 17(in Chinese).
- [17] TANG D R(唐德瑞), ZHANG Y(张 燕). The growing regularity of Populus simonii in rolling region of Shaanxi Loess Plateau[J]. J. Northwest Forestry Univ. (西北林学院学报), 2000, 15(1): 15- 19(in Chinese).
- [18] 高光荣. 奋进的五十年[R]. 吴旗县统计局, 1999.
- [19] 谢应忠. 植被生态概论[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1999.