

# 甘肃小陇山林区主要林分类型土壤水分物理性质研究

刘小林<sup>1,2</sup>, 郑子龙<sup>1,2\*</sup>, 蔺岩雄<sup>1,2</sup>, 袁一超<sup>1,2</sup>, 孟玉珂<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022; 2. 甘肃小陇山森林生态系统定位研究站, 甘肃 天水 741022)

**摘要:**以小陇山林区 4 种主要林分类型土壤水分物理性质为研究对象, 采用环刀法测定容重、孔隙度、贮水能力等指标进行对比研究。结果表明: 4 种主要林分类型土壤容重大小依次为阔叶混交林、日本落叶松林、针阔混交林、锐齿栎林, 其均值为 1.434、1.424、1.396、1.280  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 孔隙度大小依次为锐齿栎林、针阔混交林、阔叶混交林、日本落叶松林; 各林分类型土壤随着土层厚度增加, 土壤含水量、田间持水量及饱和持水量都呈现递减趋势; 各林分类型土壤贮水能力大小依次为针阔混交林、阔叶混交林、锐齿栎林、日本落叶松林, 其中针阔混交林土壤贮水能力最强, 为 916.0  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 日本落叶松林贮水能力最弱, 为 837.0  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

**关键词:** 小陇山林区; 土壤水分; 土壤孔隙度; 土壤贮水能力

**中图分类号:** S714.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2013)01-0007-05

## Physical Characteristics of the Soil Moisture in the Main Forest Types in Xiaolong Mountain

LIU Xiao-lin<sup>1,2</sup>, ZHENG Zi-long<sup>1,2\*</sup>, LIN Yan-xiong<sup>1,2</sup>, YUAN Yi-chao<sup>1,2</sup>, MENG Yu-ke<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute of Forest Science and Technology of Xiaolong Mountain, Tianshui, Gansu 741022, China;

2. Forest Ecosystem Locational Research Station in Xiaolong Mountain, Tianshui, Gansu 741022, China)

**Abstract:** Physical characteristics of the soil moisture in four main forest types of Xiaolong Mountain were investigated. The soil bulk density, soil porosity, and water storage capacity were comparatively studied by round knife method. The results showed that the soil bulk density of four forest stands was in the order of broadleaved forest > *Larix* spp. > *Pinus tabulaeformis* > *Quercus aliena* var. *acuteserrata* with the mean values of 1.434  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 1.424  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 1.396  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  and 1.280  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , respectively. The order of soil porosity was *Q. aliena* var. *acuteserrata* > *P. tabulaeformis* > broadleaved forest > *Larix* spp. With the increase of soil thickness, soil moisture content, saturated water content and field moisture capacity decreased progressively. The capacity of preserving water was in the order of *P. tabulaeformis* > *Q. var. acuteserrata* > *Larix* spp. > broadleaved forest. The capacity of preserving water of broadleaf forest was the weakest with the value of 837.0  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . The capacity of preserving water of *P. tabulaeformis* was the highest with the value of 916.0  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

**Key words:** Xiaolong Mountain; soil moisture; soil porosity; capacity of preserving water

森林土壤是森林生态系统的重要组成部分, 土壤水分则是森林植物养分运转的载体和溶剂、通气性的调节剂以及土壤中有毒物质的稀释剂, 也是土壤径流的供源, 是土壤肥力诸因素中最活跃的因素<sup>[1-3]</sup>。土壤水分物理性质不仅决定土壤中水、气、

热和生物状况, 而且影响土壤中植物营养元素的有效性和供应能力, 同时也是定量研究土壤水分涵养功能的主要因素, 因此常被作为评价土壤质量的重要指标<sup>[4-5]</sup>。小陇山林区地处秦岭山脉西段, 是我国典型的天然次生林区, 也是嘉陵江、渭河上中游地区

收稿日期: 2012-02-23    修回日期: 2012-04-28

基金项目: 甘肃省科技支撑计划项目: 陇南山地典型森林生态系统修复与维护技术研究(1104FKCE070)。

作者简介: 刘小林, 男, 高级工程师, 主要研究方向: 森林生态。E-mail: LiuxL\_99@163.com

\* 通信作者: 郑子龙, 男, 助理工程师, 主要研究方向: 森林水文研究。E-mail: 331302885@qq.com

重要的水源涵养林区和甘肃东南部重要的生态屏障,林区森林生态质量的提高对改善甘肃乃至全国生态环境都有重要意义。以小陇山林区 4 种主要林分类型的土壤水分物理性质为研究对象,研究不同林分类型和不同土壤深度的土壤水分物理性质的变化规律,为小陇山林分结构调整及生态系统恢复提供理论支持,以期最大限度地发挥森林的生态效益。

### 1 研究区概况

研究区位于小陇山林业实验局林科所沙坝实验基地,隶属天水市秦州区娘娘坝镇李子园乡,地处小陇山林区中心地带。海拔 1 550~2 100 m,属大陆性季风气候。年均降水量 757 mm;平均相对湿度 78%;平均年蒸发量 1 012.2 mm; $\geq 10^{\circ}\text{C}$  有效积温 2 480 $^{\circ}\text{C}$ 。境内山体较低,地势起伏小,平均坡度 36

~40 $^{\circ}$ 。土壤以山地褐土和山地棕壤为主。

## 2 研究方法

### 2.1 标准地设置

2010 年 4—5 月进行野外调查,选择林区具有代表性的林分类型—栎类阔叶混交天然次生林、锐齿栎(*Quercus alienavar* var. *acuteserrata*)天然次生林、日本落叶松(*Larix kaempferi*)人工林和针阔混交林(以下简称阔叶混交林、锐齿栎林、日本落叶松林、针阔混交林),通过线路调查,选择典型地段设置标准地<sup>[6-7]</sup>,标准地面积为 20 m $\times$ 30 m。对标准地用 GPS 确定地理位置、海拔高度,用罗盘仪和红外线测距仪进行样木定位,同时进行每木检尺,实测林木胸径、树高等,各林分标准地概况见表 1。

表 1 标准地基本情况  
Table 1 Basic conditions of sample plot

林分类型	海拔/m	坡度/ $^{\circ}$	坡向	树高/m	胸径/cm	郁闭度	树种组成	土壤类型
阔叶混交林	1 639	29	北	10.10	13.40	0.80	锐齿栎、千金榆( <i>Carpinus cordata</i> )、四照花( <i>Dendrobenthamia japonica</i> )	山地褐土
锐齿栎林	1 628	37	南	7.84	20.30	0.70	锐齿栎	山地褐土
日本落叶松林	1 587	25	南	16.20	14.90	0.60	日本落叶松	山地褐土
针阔混交林	1 611	38	北	10.60	14.20	0.65	油松( <i>Pinus tabulaeformis</i> )、锐齿栎	山地褐土

### 2.2 土壤物理性质测定方法

在各标准地选取有代表性样点 3 个,采用土壤调查剖面法,分别按 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60 cm 土层取样,每层取 3 个土样。以环刀法测定计算土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、饱和持水量、田间持水量、毛管持水量等<sup>[8]</sup>。采用烘干法测定土壤含水量<sup>[9-10]</sup>。

土壤容重可以综合反映土壤结构、通透性等物理性质,同时能够影响土壤三相比(固相、液相、气相、液相、气相)、土壤的生物活动及土壤团内元素的释放和固定,从而影响林木的生长,而反过来不同树种特有的生物学特性,又对土壤容重和孔隙度有着不同的影响。由表 2 及容重柱状图可知,4 种林分类型的土壤容重均随土层深度的增加而增大,土壤容重均值排序为:阔叶混交林>日本落叶松林>针阔混交林>锐齿栎林,大小依次为 1.434、1.424、1.396、1.280 g $\cdot$ cm $^{-3}$ ,方差分析显示,4 种林分土壤容重均值差异不

## 3 结果与分析

### 3.1 不同林分类型土壤容重与孔隙度分析

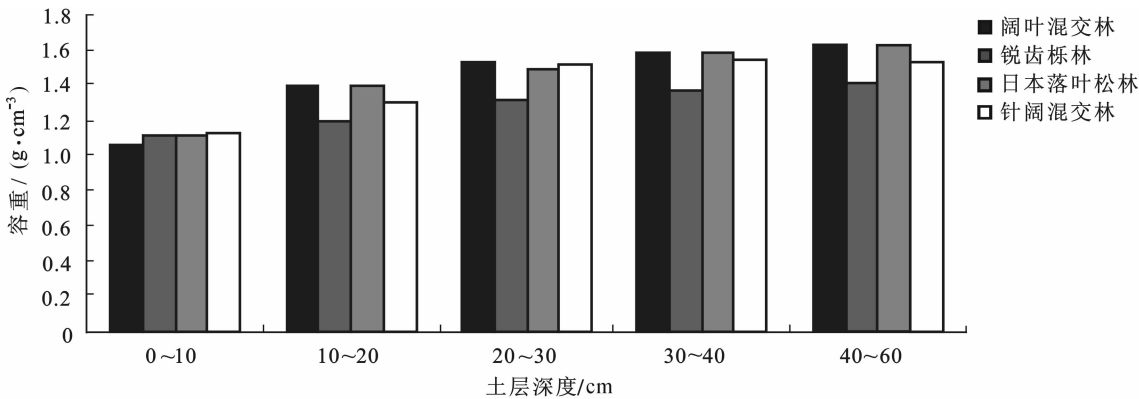


图 1 4 种林分类型不同土层土壤容重

Fig. 1 Soil bulk density of different soil layers of four stand types

显著( $F=0.731$ )。4 种林分类型 0~10 cm 土层容重  
落物分解增加了土壤表层腐殖质的含量,从而有利于  
相较小于其他土层,分析其原因可能为林内地被及枯  
土壤表层团粒结构的形成<sup>[11]</sup>。

表 2 不同林分类型土壤物理性质

Table 2 Soil physical characteristics of different types of stands

林分类型	土层/cm	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/%			
			总孔隙度	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	毛管/非毛管孔隙度比
阔叶混交林	0~10	1.06±0.03	60.0±0.08	8.1	51.9	6.4
	10~20	1.39±0.04	47.7±0.04	14.5	33.2	2.3
	20~30	1.52±0.02	42.8±0.03	15.4	27.4	1.8
	30~40	1.58±0.03	40.4±0.02	16.1	24.3	1.5
	40~60	1.62±0.05	38.9±0.04	16.6	22.3	1.3
锐齿栎林	0~10	1.10±0.03	58.5±0.07	10.5	48.0	4.6
	10~20	1.20±0.02	54.5±0.03	12.6	41.9	3.3
	20~30	1.32±0.03	50.6±0.04	15.5	35.1	2.3
	30~40	1.37±0.06	48.3±0.02	16.5	31.8	1.9
	40~60	1.41±0.02	46.8±0.04	15.1	31.7	2.1
日本落叶松林	0~10	1.11±0.04	58.3±0.07	13.3	45.0	3.5
	10~20	1.39±0.07	47.7±0.06	14.2	33.5	2.4
	20~30	1.48±0.02	44.1±0.03	14.5	29.6	2.0
	30~40	1.54±0.03	40.5±0.04	14.9	25.6	1.7
	40~60	1.60±0.04	38.5±0.03	13.4	25.1	1.9
针阔混交林	0~10	1.12±0.02	57.7±0.06	13.2	44.5	3.4
	10~20	1.30±0.03	50.8±0.04	16.1	34.7	2.2
	20~30	1.51±0.03	43.1±0.03	14.1	29.0	2.1
	30~40	1.53±0.04	42.4±0.03	16.4	26.0	1.6
	40~60	1.52±0.04	42.3±0.04	16.4	25.9	1.6

土壤孔隙度也是反映土壤物理性质的一个重要参数。土壤孔隙的组成直接影响到土壤通气性、透水性和根系穿插的难易程度,并对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节作用。土壤总孔隙度和毛管孔隙度都随土层深度的增加而减小(表 2);土壤总孔隙度均值表现为:锐齿栎林>针阔混交林>阔叶混交林>日本落叶松林,大小依次为 51.7%、47.3%、46.0%、45.8%,4 种林分土壤总孔隙度均值差异不显著;毛管孔隙度均值表现为锐齿栎林>针阔混交林>阔叶混交林>日本落叶松林,大小依次为 37.7%、32.0%、31.8%、31.8%。一般认为,土壤中大小孔隙同时存在,若总孔隙度在 50%左右,毛管与非毛管孔隙度的比值在 1.5~4.1 时,透水性、通气性和持水能力比较协调。若非毛管孔隙度在 6%~10%时,林木生长一般;在 10%~15%时,林木生长中等;>15%时,林木生长良好<sup>[12]</sup>。小陇山林区 4 种林分类型总体上非毛管孔隙度都在 6%~18%之间,毛管与非毛管孔隙度的比值多数在 1.7~5.1 之间,树木长势中等,其中针阔混交林生长情况最好,阔叶混交林、日本落叶松林、锐齿栎林生长情况也较好。

3.2 不同林分类型土壤水分物理特征

3.2.1 土壤含水率 土壤水分是土壤系统养分循

环和流动的载体,它影响着土壤特性和植物生长<sup>[13]</sup>。土壤水分含量既影响根系的生长,也影响土壤养分向根表的迁移速度及距离,决定根系的发展方向 and 纵向范围,从而影响土壤养分的有效性<sup>[14-15]</sup>。不同林分类型土壤自然含水率均值表现为:阔叶混交林>锐齿栎林>针阔混交林>日本落叶松林,分别为 22.6%、21.6%、20.2%、15%(表 3),方差分析结果表明各林分类型土壤自然含水率均值差异不显著。相同林型不同层次土壤比较,结果表明 0~10 cm 土层与其他土层土壤含水率相比差异较大,这可能与表层枯落物层厚度大,同时 10~20 cm 土层容重较大、孔隙度较小有较大的关系。

3.2.2 土壤持水能力 土壤持水能力主要受土壤总孔隙度、毛管孔隙度、容重、有机质和土壤颗粒组成的影响。土壤的最大持水量和毛管持水量能较好地反映林地的持水、供水能力,并影响到凋落物分解与土壤表层的物质和能量<sup>[16]</sup>。森林土壤的贮水能力主要取决于土壤的非毛管孔隙度,并以此作为评价水资源涵养效能和调节水分循环的一个重要指标。林地土壤的贮水能力可以通过下式计算得出:

$$S=10\,000\,h\,p$$

(1)

式中:S 为土壤的贮水能力(t·hm<sup>-2</sup>), $h$  为土层厚度(m), $p$  为非毛管孔隙度(%)。

表 3 不同林分类型的土壤水分物理特征

Table 3 Soil moisture physical characteristics of different types of stands

林分类型	土层/cm	自然含水率/%	饱和持水量/%	田间持水量/%	毛管持水量/%	贮水能力/(t·hm <sup>-2</sup> )
阔叶混交林	0~10	41±0.05	51.9	20.2	49.0	81.0
	10~20	22±0.03	33.2	11.9	24.1	145.0
	20~30	17±0.02	27.4	11.3	18.1	154.0
	30~40	17±0.03	34.3	12.1	15.4	161.0
	40~60	16±0.03	32.3	11.8	13.8	332.0
	总和					873.0
	均值		35.82A	13.80AB	24.08A	174.6A
锐齿栎林	0~10	44±0.03	66.5	16.6	43.6	105.0
	10~20	19±0.03	41.9	14.9	34.8	126.0
	20~30	15±0.03	35.1	12.7	26.8	155.0
	30~40	17±0.04	31.8	12.7	23.3	165.0
	40~60	13±0.05	38.6	10.7	22.5	302.0
	总和					853.0
	均值		42.78A	13.52AB	30.2A	170.6A
日本落叶松林	0~10	22±0.04	48.9	23.2	44.7	133.0
	10~20	17±0.03	33.5	16.7	24.2	142.0
	20~30	15±0.03	29.6	14.6	20.0	145.0
	30~40	11±0.04	25.6	13.3	16.3	149.0
	40~60	10±0.02	25.1	13.4	15.4	268.0
	总和					837.0
	均值		32.54A	16.24A	24.12A	167.4A
针阔混交林	0~10	31±0.06	44.5	13.6	40.3	131.0
	10~20	21±0.03	34.8	12.0	26.7	161.0
	20~30	17±0.03	29.0	8.7	19.3	141.0
	30~40	16±0.02	26.0	7.5	17.8	163.0
	40~60	16±0.05	25.3	7.2	17.0	320.0
	总和					916.0
	均值		31.92A	9.80B	24.22A	183.2A

4 种林分类型土壤饱和持水量、自然含水量及贮水能力在土层均值上没有显著性差异(表 3)。从持水能力的空间变化研究,结果表明随着土壤深度的增加,各林分类型土壤自然含水量、饱和持水量及毛管持水量都基本上呈现减小趋势。4 种林分类型中针阔混交林土壤贮水能力最强,为 916.0 t·hm<sup>-2</sup>。

3.3 不同林分类型枯落物持水特征

不同林分类型枯落物层最大持水率为自身重量的 1 倍左右,表现为锐齿栎林>阔叶混交林>日本落叶松林>针阔混交林(表 4)。枯落物层持水能力相较于土壤层持水能力较弱,由此可见林分内枯落物层除有一定的截水、贮水能力外主要作用为枯落物分解、腐烂后,增加土壤的腐殖质含量,有利于土

壤团粒结构的形成,从而增加土壤的孔隙度,进而增强土壤的持水能力。

4 结论与讨论

小陇山林区 4 种主要林分类型的土壤容重均随着土层深度的增加而增大,阔叶混交林、日本落叶松林、针阔混交林、锐齿栎林土壤容重均值依次为 1.434、1.424、1.396、1.280 g·cm<sup>-3</sup>;总孔隙度和毛管孔隙度则随着土层深度的增加而减小,总孔隙度均值表现为锐齿栎林>针阔混交林>阔叶混交林>日本落叶松林,依次为 51.7%、47.3%、46.0%、45.8%。

小陇山林区 4 种不同林分类型土壤自然含水率均值表现为:阔叶混交林>锐齿栎林>针阔混交林>日本落叶松林,分别为 22.6%、21.6%、20.2%、15.0%。土壤含水率随着土层深度增加而减小且趋近于相同,相同林型不同层次土壤比较,结果表明 0~10 cm 土层与其他土层土壤含水率相比差异较大。

小陇山林区 4 种林分类型贮水能力表现为:针阔混交林>锐齿栎林>日本落叶松林>阔叶混交

表 4 不同林分类型静态持水能力比较

Table 4 Static water-holding capacity of different stand types

林分类型	有效持水率/%	最大持水率/%
阔叶混交林	103.57	125.93
锐齿栎林	111.86	137.64
日本落叶松林	80.82	111.57
针阔混交林	65.54	95.31

林,针阔混交林贮水能力最强,为  $916.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,日本落叶松林贮水能力最弱,为  $837.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;非毛管孔隙度均值表现为针阔混交林>阔叶混交林>日本落叶松林>锐齿栎林,大小为 15.24%、14.14%、14.06%、14.04%。表明小陇山林区针阔混交林在生长量及涵养水源能力方面较另 3 种林型有较大优势。

参考文献:

[1] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.

[2] 成彩霞,张学龙,刘占波,等. 祁连山西水林区土壤水分物理性质特征分析[J]. 内蒙古农业大学学报,2007,28(4):33-38.  
CHENG C X,ZHANG X L,LIU Z B,*et al.* Analysis on physical properties of soil moisture content in Xishui forest zone of Qilian Mountain[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University,2007,28(4):33-38. (in Chinese)

[3] 田大伦,陈书军. 樟树人工林土壤水文—物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报,2005,25(4):1-6.  
TIAN D L,CHEN S J. Analysis of soil hydrology-physic properties in the artificial forest of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl[J]. Journal of Central South Forestry University,2005,25(4):1-6(in Chinese)

[4] 李德生,张萍,张水龙,等. 黄前库区经济林土壤水文效益研究[J]. 水土保持研究,2004,11(1):141-143.  
LI D S,ZHANG P,ZHANG S L,*et al.* Study on soil hydryalic effect of economic forest in Huangqian reservoir area[J]. Research of Soil and Water Conservation,2004,11(1):141-143. (in Chinese)

[5] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报,2005,19(6):44-48.  
ZHANG G C,XIA J B,WANG G X,*et al.* Study on soil moisture physical characteristics of artificial forest in Granite Mountainous region[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(6):44-48. (in Chinese)

[6] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.

[7] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,2007,6.

[8] 王光玉. 杉木混交林水源涵养和土壤性质研究[J]. 林业科学,2003,39(增 1):15-20.  
WANG G Y. Study on water conservation and soil properties of Chinese fir mixed stands[J]. Scientia Silvae Sinicae,2003,39 (Supp. 1):15-20. (in Chinese)

[9] 张社奇,王国栋,刘建军,等. 黄土高原刺槐林地土壤水分物理性质研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(3):11-14.  
ZHANG S Q,WANG G D,LIU J J,*et al.* Soil hydro-physical properties of *Robinia pseudoacacia* plantation forestland in Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University,

2004,19(3):11-14. (in Chinese)

[10] 王彦武,廖超英,徐恒. 毛乌素沙地固沙林土壤物理性状研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):36-39.  
WANG Y W,LIAO C Y,XU H. Soil physical properties of sand-fixing forests in Maowusu Sandland [J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(3):36-39. (in Chinese)

[11] 郭冻,夏北成,倪国祥. 不同森林类型的土壤持水能力及其环境效应研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2005,44(增):327-330.  
GUO L,XIA B C,NI G X. Analysis of water capacities held in different forest soils and environmental effect[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005, 44 (Supp. ):327-330. (in Chinese)

[12] 杨弘,李忠,裴铁瑶,等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林林地土壤水分物理性质[J]. 应用生态学报,2007,18(2):272-276.  
YANG H,LI Z,PEI T Y,*et al.* Soil hydro-physical properties under broadleaved korean pine and dark coniferous forests on northern slope of Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(2):272-276. (in Chinese)

[13] 罗鑫华,余伟盛,吴小文,等. 松阔异龄混交的林分生长与土壤水分物理性质比较研究[J]. 广东林业科技,2008,24(4):51-55.  
LUO X H,YU W S,WU X W,*et al.* Comparison on growth performance and soil moisture physical characteristics of mixed forests with seven indigenous broad-leaved species planted under *Pinus massoniana* canopies [J]. Guangdong Forestry Science and Technology,2008,24(4):51-55. (in Chinese)

[14] 李笑吟,毕华兴,刁锐民,等. TRIEM-TDR 土壤水分测定系统的原理及其在黄土高原水分监测中的应用[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):112-115.  
LI X Y,BI H X,DIAO R M,*et al.* The measurement principles of TRIEM-TDR system and its application in Caijiachuan watershed of Loess Plateau,China[J]. Science of Soil and Water Conservation,2005,3(1):112-115. (in Chinese)

[15] 刘发民,张应华,忤彦卿,等. 黑河流域荒漠地区梭梭人工林地土壤水分动态研究[J]. 干旱区研究,2002,3(1):27-31.  
LIU F M,ZHANG Y H,ZHU Y Q,*et al.* Soil water regime under the shrubberies of *Haloxylon ammodendron* in the desert regions of the Heihe River watershed[J]. Arid Aong Research,2002,3(1):27-31. (in Chinese)

[16] 刘畅,满秀玲,刘文勇,等. 帽儿山地区主要林分类型土壤水分物理性质研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2007,23(1):86-89.  
LIU C,MAN X L,LIU W Y,*et al.* Soil moisture physical characteristics of main forest types of Mao'er Shan area[J]. Natural Sciences Journal of Harbin Normal University,2007,23(1):86-89. (in Chinese)