

# 陕西长安和曲江人工林地土壤含水量对比研究<sup>\*</sup>

卢爱刚<sup>1</sup>, 董雯<sup>1</sup>, 赵景波<sup>2</sup>

(1. 渭南师范学院 环境与生命科学系, 陕西 渭南 714000; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘 要:**根据长安地区苹果林地及曲江地区梧桐林地和杨树林地土壤含水量测定,研究了 0 - 6 m 土壤含水量的变化和土壤干层的恢复。结果表明,在丰水年之后长安地区人工林地土壤含水量与正常年份土壤含水量有明显不同,12 a 苹果林地 2 - 4 m 土层含水量平均 11.77%,14 a 苹果林地平均 15.27%;曲江地区丰水年之后 12 a 杨树林地 2 - 4 m 平均含水量 18.53%,14 a 梧桐林地 2 - 4 m 平均含水量 17.24%,干层完全消失。这表明在降水量增加的条件下,黄土高原南部土壤干层中的水分完全可以恢复。长安与曲江地区丰水年之后经过约 2 年半的时间,人工林土层水分恢复深度可达到 6 m 左右。不同树种含水量差异较大,苹果林地干层带水分恢复比梧桐、杨树林明显低。

**关键词:**关中平原; 土壤干层; 水分恢复; 含水量差异

**中图分类号:** S715.7; S152.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2009)03-0155-04

## Contrast Research of the Soil Moisture Content Below Artificial Forest Land in Chang'an and of Qujiang of Shaanxi Province

LU Ai-gang<sup>1</sup>, DONG Wen<sup>1</sup>, ZHAO Jing-bo<sup>2</sup>

(1. Environment and Life Science Department, Weinan Teacher's University, Weinan, Shaanxi 714000, China; 2. Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** According to the soil moisture content determination under the apple forest land in Chang'an and under the Chinese parasol tree forest land and the poplar tree forest land in Qujiang, the soil moisture content of 0 - 6 m and the restoration of the soil-dried layer has been studied. The results indicate, after the abundant water year in Chang'an under artificial forest land, the soil moisture content is more obviously different than the normal year, under 12 ages apples forest land in 2 - 4 m depth scope the soil layer water content is 11.77%, and 15.27% in 14 ages apples forest land; After the abundant water year in Qujiang, the soil layer water content in 2 - 4 m depth scope, under 12 ages poplar trees forest land is equal to 18.53%, under 14 ages Chinese parasol trees forest land is equal to 17.24%, the soil-dried layer obviously vanished. This indicates under the condition of increases in the precipitation, in south of the loess plateau the moisture content of the soil-dried layer is possible to restore completely. After 2.5 years in abundant water year in Qujiang and Chang'an under the planted forest land the restored depth of soil layer moisture content is possible to achieve 6 m approximately. Difference of different tree seed water content is big, under the apple forest land the dried-belt moisture content to restore is obviously lower than under the Chinese parasol tree and the poplar tree forest land.

**Key words:** The Guanzhong plain; the soil-dried layer; the restoration of moisture content; the water content difference

土壤干层是黄土高原半干旱和半湿润条件下形成的一种水文现象,是环境旱化和土壤干化的结果。由于黄土高原气候较为干旱,林草植被不能从表层

土壤中获取足够的水分,为了维护其正常生长需要,必然要吸收土层深部的水分。在林草植被长期过度耗水的情况下,深部土层含水量长时间处于亏损状

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-10-28

基金项目: 中国博士后基金(20070420315); 渭南师范学院研究生专项基金项目(08YKZ022)

作者简介: 卢爱刚(1968-),男,陕西富平人,博士,副教授,主要从事全球变化区域响应研究。E-mail: lagx1088@163.com

态,甚至达到或接近凋萎湿度,最终导致土壤干化形成干层<sup>[2,7,10,14-15,18-19,25,27-29]</sup>。根据调查研究,黄土高原土体中的干层存在着两种形成机制<sup>[21]</sup>:一是由于植物根系吸水,土壤水分大量蒸散损失形成的干层,可称为蒸散型干层;二是由于在大气干旱与水势梯度双重作用下,通过土壤水分强烈蒸发损失形成的干层,可称为蒸发型干层。本文所研究的主要是人工林下的土壤干层,它一般是由于根系对水分的吸收和蒸散消耗形成的。黄土高原土壤干层的存在,确实给林草建设带来了不利的影响。但经过野外考察和调查研究表明,只要采取适宜的对策,这种不利影响在很大程度上是可以克服的。因此,它并不能成为否定水土保持林草建设的根据。所以本文对于指导关中平原的生态环境建设具有重要的参考作用。在国外,对土壤水分的入渗、运移规律、植物蒸腾对土壤的影响等进行了研究<sup>[6,11,13]</sup>,但一般限于研究所在国家的水土条件,结合我国深厚黄土层和植被建设的研究却很少。

本文根据长安和曲江 8 个人工林地土壤剖面含水量测定,研究了土壤干化特征、干层分布范围、地区差异和发生原因,并取得了新进展。

## 1 研究地点与方法

本研究选择位于关中平原中南部的长安和曲江两个研究地点。研究区年均温为 12℃ 左右,年均降水量为 600 mm 左右。每个研究点测定了 2 个剖面的土壤含水量,以保证研究结果的可靠性。长安研究点位于西安市南郊约 10 km 处。植被为 12 a 和 14 a

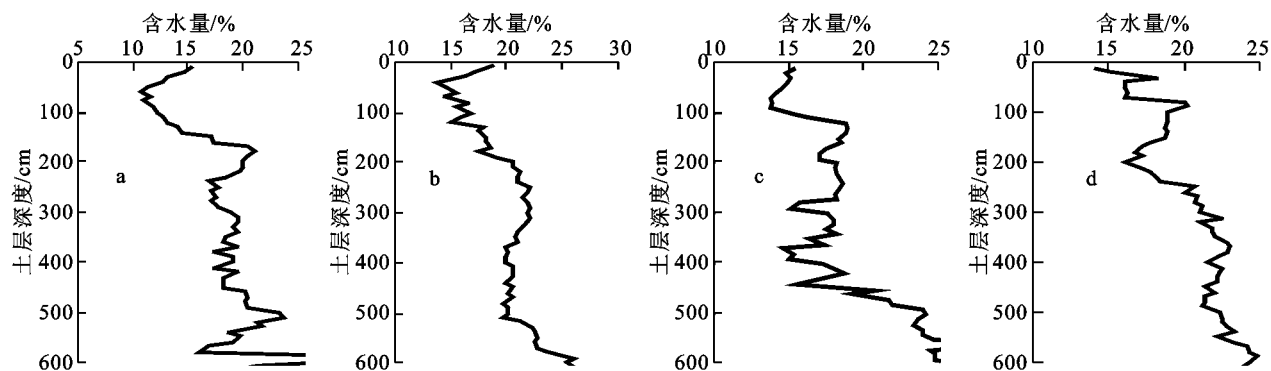
苹果林。12 a 苹果树直径为 16~22 cm,树高大多为 3 m 左右,14 a 苹果树直径为 18~25 cm,树高为 3.5 m 左右,植株间距均为 3 m 左右。曲江地区植被种为 12 a 杨树林,树高 10 m 左右,14 a 梧桐林树高 10 m 左右,植株间距均为 3 m 左右。

样品利用轻型人力钻采取,钻孔深度为 6.0 m,采样间隔为 10 cm 左右。含水量测定采用烘干称重法。烘干温度为 105℃,烘干时间 12 h 左右,烘干前后利用高精度电子天平称重确定含水量。

## 2 结果与分析

### 2.1 曲江 14 龄梧桐林地含水量

2006 年 7 月 19 日,在曲江 14 a 梧桐林下采集 2 个剖面的样品,采样间距为 10 cm 左右,每个剖面共采集样品 60 块。由第一个剖面(图 1a)含水量测定结果得知,14 a 梧桐林土壤含水量为 13.85%~28.86%。根据土层含水量在垂直方向上的变化<sup>[11,12,20,22,26]</sup>,可分为两层,但为了与正常年份土壤水分剖面分层进行对比,将其分为 3 个层次。由上向下第 1 层为 0~140 cm,含水量较高,波动变化较大,为 13.85%~18.93%,平均 15.64%;第 2 层在 140~400 cm,含水量较低,呈由低到高的弱波动变化,为 14.66%~18.71%,平均 17.37%,在该层 200~400 cm 的平均含水量为 17.24%;第 3 层位于 400~600 cm,含水量先升高后降低,波动变化较大,为 19.24%~28.86%,平均 22.51%。第 2 个剖面的含水量变化规律(图 1b)与第一个剖面有些类似,200~400 cm 土层平均含水量为 20.94%。



a, b 为 14 年梧桐林地土层含水量; c, d 分别为 12 年杨树林地土层含水量

图 1 2006 年 7 月曲江人工林地土壤含水量

### 2.2 曲江 12 龄杨树林地

2006 年 7 月 21 日,在曲江附近 12 a 杨树林下采取了 2 个剖面的样品,采样间距为 10 cm,每个剖面共采集样品 60 块。第一个剖面(图 1c)含水量测定结果得知,12 a 杨树林土壤含水量变化为 10.88%~28.11%,平均 17.89%。据土层含水量在垂向上

的变化,同样可分 3 个层次。由上向下第 1 层为 0~100 cm,含水量较高,变化波动较小,范围是 10.88%~15.34%,平均含水量 12.51%;第 2 层在 100~400 cm,含水量为 12.57%~21.15%,平均 18.08%,变化波动较大,在该层 200~400 cm 之间的平均含水量为 18.53%;第 3 层位于 400~600 cm

之间,含水量增高,在波动中呈升高趋势,变化为 15.64%~28.11%,平均含水量为 20.69%。第 2 个剖面的含水量只是比第一个略高,但变化规律(图 1d)与第一个剖面基本相同,200~400 cm 土层平均含水量为 21.88%。

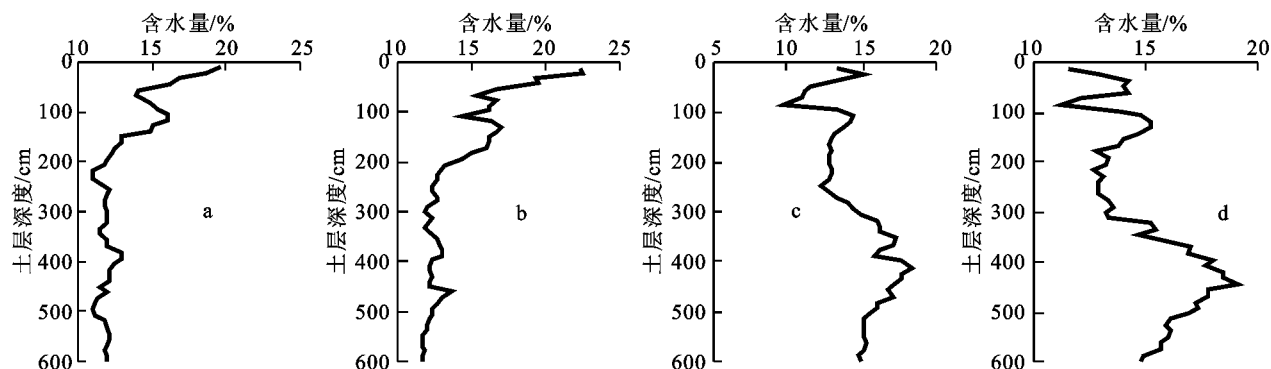
### 2.3 长安 12 龄苹果林地

2006 年 8 月 4 日,在长安附近 12 a 苹果林下采集 2 个剖面的样品,采样间距为 10 cm,每个剖面采样 60 块左右,采样前曾降大雨。由第一个剖面(图 2a)含水量测定结果得知,12 a 苹果林地土壤含水量为 10.91%~19.66%,平均 12.86%。据土层含水量在垂向上的变化,可分为两层,但为了与正常年份的分层进行比较,可将其分为 3 个层次。由上向下第 1 层为 0~150 cm,含水量较高,变化波动较大,为 12.53%~19.66%,平均 15.35%。该层易受大气降水和人工灌溉影响,干湿变化大;第 2 层在 150~400 cm,含水量较低,呈弱波动变化,为 10.91%~12.96%,平均 11.93%。该层为水分变化的次活跃层,水分含量变化较第一层缓慢,对植物供水性强。在该层中的 200~400 cm 为通常所说的干层带,平均含水量为 11.77%;第 3 层位于 400~600 cm,含水量略有增高,变化波动较小,为 11.03%~12.96%,平均含水量为 11.91%。该层为相对稳定层,受降水补给缓慢,植物对该层中的水分利用减

少,变化较小。第 2 个剖面的含水量高低与变化规律(图 2b)与第一个剖面基本相同,2~4 m 平均含水量为 12.40%。

### 2.4 长安 14 a 苹果林地

2006 年 8 月 6 日,在长安附近的 14 a 苹果林下采取了 2 个剖面的样品,采样间距为 10 cm,每个剖面采样 60 块。第一个剖面(图 2c)含水量测定结果得知,14 a 苹果林地土壤含水量变化为 9.37%~18.24%,平均 14.52%。据土层含水量在垂向上的变化,可将其分为 3 个层次。由上向下第 1 层为 0~200 cm,变化为 9.73%~15.01%,平均 12.82%,含水量先降低后升高。该层易受大气降水和人工灌溉影响,干湿变化大;第 2 层在 200~330 cm,变化为 12.37%~17.11%,平均 15.05%,含水量呈平缓升高趋势。该层为水分变化的次活跃层,水分含量变化较第一层缓慢,对植物供水性强。在该层中的 200~400 cm 为通常所说的干层带,平均含水量为 15.27%;第 3 层位于 330~600 cm,含水量略有增高,变化为 14.57%~18.24%,平均含量为 16.04%,在波动中先升高后降低,变化幅度较小。该层为相对稳定层,受降水补给缓慢,植物对该层中的水分利用减少,变化较小。第 2 个剖面的含水量高低与变化规律(图 2d)与第一个剖面基本相同,只是平均含水量比第一个剖面略高,2~4 m 土层的平均含水量为 16.04%。



a, b 为 12 年苹果林地土层含水量; c, d 分别为 14 年苹果林地土层含水量

图 2 2006 年 8 月长安人工林地土壤含水量

## 3 讨论

### 3.1 苹果树与梧桐、杨树林地含水量差异原因

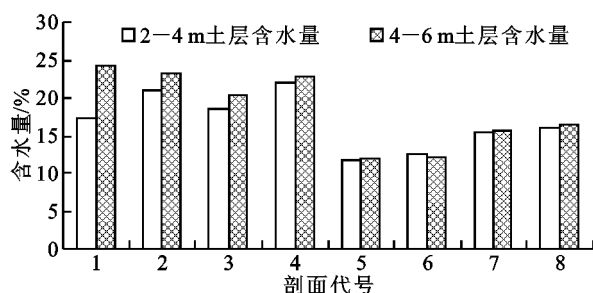
苹果树的耗水过程与果树植株生长动态紧密相关,从果树耗水过程来看,对成龄树(固定栽植 10 a 以上的果树)而言,存在着两个耗水期,第一个耗水高峰期出现在 4~5 月间,第二个耗水期则在 6~7 月,而 4~5 月恰处于土壤失墒期,7~8 月,正值土壤蓄墒期,此时,又常因降水分配不均,土壤耗水得不到及时补偿,处于极度亏损状态<sup>[4]</sup>,我们的测定又

恰好是在这一时期,因而苹果林下土壤含水量偏低。此外,苹果树间距较小,种植密度过大,且多是大面积连片种植,具有高蓄水量和强蒸腾耗水量,生产耗水量大于入渗补给量,也是造成苹果树与梧桐、杨树林地含水量差异的重要原因。

### 3.2 土壤干层水分恢复的可能性

据过去前 3 a 的研究,在关中平原的长安、西安和曲江人工林地 2~4 m 普遍存在土壤干层<sup>[8,23,30]</sup>,表明了黄土高原土壤干层分布广泛。在 2002 年 2 月~2003 年 4 月,这些地区 2~4 m 土层含水量一

一般为 9%~9.5%,干化明显。然而根据丰水年之后曲江梧桐林地、杨树林地和长安 12 a、14 a 苹果林地的土层含水量测定可知,14 a 梧桐林、12 a 杨树林、12 a 和 14 a 苹果林地 200 - 400 cm 深度范围内平均含水量为 17.24%,18.53%,12.09%,15.65% (图 3),均达到 12%以上,表明通常所说的土壤干层基本消失,而且含水量比旱季显著升高。从水分迁移的深度来看,土层 4 - 6 m 平均含水量,曲江 14 a 梧桐林地两个土层剖面为 24.12%和 23.23%,12 a 杨树林地为 20.16%和 22.67%;长安地区 12 a 苹果林地为 11.91%和 12.17%;14 a 苹果林地为 15.69%和 16.36%。由图 3 明显可以看出曲江土层水分恢复深度比长安大。说明在降水充分的情况下,这两个地区的土壤干层水分是可以得到恢复的。



1,2 长安 14 a 梧桐林地土层含水量;3,4 曲江土机井 12 a 杨树林地土层含水量;5,6 长安 12 a 苹果林地土层含水量;7,8 曲江 14 a 苹果林地土层含水量

图 3 曲江和长安不同植被和不同深度土层含水量

### 3.3 土壤干化与生态环境建设

黄土高原一些地方 50 多年来的人工林草建设,因没有遵循自然规律和土壤水分的可持续性利用原则,片面追求人工林草的高质量生长量,高经济效益,忽视了物种多样性,结果多以失败而告终。如 20 世纪 50 - 70 年代在梁峁顶上造林,树木初期生长好,但 5~10 a 后多成为小老头树或死亡;20 世纪 80 年代初期,飞播沙打旺,人工种植红豆草,沙打旺、红豆草 3 a 内长势喜人,5 a 后逐渐衰亡。洛川塬 20 世纪 80 年代中期以来大面积发展的苹果林基地,也已普遍出现土壤干层。研究表明,黄土高原土壤水活跃层深度一般在 2 m 左右,2 m 以下的土壤水一旦耗用,很难补充。高生长量的人工牧草和木本植物,根系发达,耗水量大,浅层土壤水分不能满足植物生长需要时,不得不通过发达的根系耗用深层土壤水,一旦根系分布深度内的土壤水被大量耗用,形成土壤干层,植物势必衰退甚至死亡。加之近百年来气候的明显变干引起了森林带土壤水分降低和植被带的南移,使过去确定的延安到秦岭北麓之

间的落叶阔叶林带的中北部存在着一些自然的土壤干层。因此在黄土高原的生态建设中<sup>[5,9,12,16,17,24]</sup>,不论是发展人工林还是发展草灌为主的植被,都不宜选择耗水多、生长快的树种,而应当因地制宜,根据当地的土壤、气候条件发展生长适中且偏慢的乔、灌草种;原则上所选植物物种在当地气候条件下不会引起严重的土壤干层。

## 4 结论

(1)曲江地区梧桐林和杨树林地 200 - 400 cm 土层含水量可达到 19%以上,表明丰水年之后土壤干层水分得到恢复,干层已完全消失。

(2)长安苹果林由于耗水较多,虽然干层基本消失,但含水量与干层接近,这表明苹果林地易于形成土壤干层。

(3)曲江与长安地区丰水年之后约 2 a 的时间,人工林土层水分恢复深度可达到 6 m 左右。

(4)不同树种含水量差异较大,苹果林地干层带水分恢复比梧桐、杨树林明显较低。

### 参考文献:

- [1] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I. The semivariogram and punctual kriging[J]. Soil Sci., 1980, 31: 315-331.
- [2] 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[J]. 水土保持学报, 2000, 14 (3): 57-62.
- [3] 黄明斌,康绍忠,李玉山. 黄土高原沟壑区小流域水分环境演变研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10 (4): 411-414.
- [4] 黄明斌,杨新民,李玉山. 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, 5 (1): 7-13.
- [5] 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[J]. 生态学报, 1983, 3 (2): 91-101.
- [6] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 241-297.
- [7] 刘刚,王志强,王晓岚. 吴旗县不同植被类型土壤干层特征分析[J]. 水土保持研究, 2004, 11 (1): 126-129.
- [8] 李瑜琴,赵景波. 西安东郊曲江丰水年苹果林地土壤干层恢复[J]. 陕西师范大学学报, 2005, 33 (1): 105-109.
- [9] 马新明,熊淑萍,李琳,等. 土壤水分对不同专用小麦后期光合特性及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16 (1): 83-87.
- [10] 聂道平. 油松人工林水分平衡与蒸散特点的研究[J]. 林业科学研究, 1989, 2 (6): 605-610.

(下转第 163 页)

农民种植粮食的积极性,统筹农户土地转租情况,合理利用土地。在维护农产品价格的同时,稳定化肥等农资的价格水平,来保证农民的利润。

3.2.2 结合新农村建设,大力发展基础设施建设  
在调查中发现,农民住宅用地普遍偏大。在土地有限的情况下,一方面要开发沟坡的农业效用,另一方面应大力发展基础设施建设,对整个地区进行合理规划。王东沟试区六组已经在这方面的实践中取得良好成效,1994年试区对六组的居住用地进行规划后只有约2 hm<sup>2</sup>,比规划前节约了近4.67 hm<sup>2</sup>的土地,充分证明了这一方法是可行的,也为黄土高原沟壑区其他地区的发展起了典范作用。

3.2.3 充分利用现有资源,发展第三产业  
王东沟试区交通条件较好,随着果树栽培技术的普及,试区有条件充分利用果业进行第三产业的发展,比如果品加工等。调查中发现,农民在苹果出售方面处于被动地位。伴随整个社会物价上涨尤其是油价的不断翻番,使得农民的劳动成果不能卖到一个有利于他们的价格,果业的巨大利润基本上都被苹果商从中夺取。所以应该开展集体产业的创业,进一步优化产业结构,当然这也离不开当地政府的号召与大力扶持。

#### 参考文献:

- [1] 郝明德. 黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究[M]//郝明德,梁银丽. 长武农业生态经济系统结构、功能及调控原理与技术. 北京:气象出版社,1998:3-13.
- [2] 简明,胡玉立. 市场预测与管理决策(修订本)[M]. 北京:中国人民大学出版社,2000.
- [3] 卢志伟,王继军,刘康. 王东沟试验区农村经济社会考察报告[M]//李玉山,苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究. 北京:科学技术文献出版社,1991.
- [4] 韩书成,谢永生,郝明德. 长武王东沟小流域土地利用变化及驱动力研究[J]. 水土保持通报,2005,25(5):35-36.
- [5] 包纪祥,卢志伟. 土地管理与农地规划[M]. 陕西杨陵:天则出版社,1989.
- [6] 王胜琪,苏陕民,李向民. 长武王东沟试验区因地制宜发展沟坡果园成效显著[J]. 水土保持通报,1993,13(5):62-65.
- [7] 李军超. 高原沟壑区沟坡土地开发利用研究[M]//郝明德,梁银丽. 长武农业生态经济系统结构、功能及调控原理与技术. 北京:气象出版社,1998:159-162.
- [8] 谭淑豪,曲福田,黄贤金. 市场经济环境下不同类型农户土地利用行为差异及土地保护政策分析[J]. 南京农业大学学报,2001,24(2):110-114.
- (上接第158页)
- [11] Ole W. Observations of measured soil hydraulic properties from laboratory tension disc infiltrometer experiments[J]. Water Resource Research, 1998, 34(9):2191-2202.
- [12] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报,2000,20(5):741-747.
- [13] Rapp I. Evaporation and crust impedance role in seedling emergence[J]. Soil Science, 2000, 65(4):354-364.
- [14] 西北水土保持生物研究所土壤水分组. 陕西省东旱塬农田墒情调查[J]. 土壤,1975,7(6):279-285.
- [15] 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[J]. 生态学报,1999,19(5):615-621.
- [16] Turner N C, Kramer P L. Adaptation of plants to Water and High Temperature Stress[M]. New York: John Wiley and Sons, 1998:7-20.
- [17] 王孟本,李洪建. 林分立地和林种对土壤水分的影响[J]. 水土保持学报,2001,15(6):43-46.
- [18] 王克勤,王斌瑞. 集水造林防止人工林植被土壤干化的初步研究[J]. 林业科学,1998,34(4):14-21.
- [19] 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[J]. 应用生态学报,2004,13(5):436-442.
- [20] 肖春旺,周广胜. 毛乌素沙地中间锦鸡儿幼苗生长、气体交换和叶绿素荧光对模拟降水量变化的响应[J]. 应用生态学报,2001,12(5):692-696.
- [21] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [22] Yui E. An infiltration model to predict suction changes in the soil profile[J]. Water Resource Research, 1998,34(7):1617-1622.
- [23] 赵景波,杜娟,李艳花,等. 西安蓝田人工林地土壤干层研究[J]. 陕西师范大学学报,2004,32(2):97-101.
- [24] 余优森,林日暖,邓振镛,等. 人工草地土壤水分周年变化规律的研究[J]. 土壤学报,1992,29(2):175-181.
- [25] 杨海军,孙立达,余新晓. 晋西黄土区水土保持林水量平衡的研究[J]. 北京林业大学学报,1993,15(3):42-50.
- [26] 杨文治,邵明安,彭新德,等. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学(D辑),1998,28(4):357-356.
- [27] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [28] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学,1996,32(1):78-85.
- [29] 赵景波,杜鹃,周旗,等. 西安附近苹果林地的土壤干层[J]. 生态学报,2005,25(8):2110-2115.
- [30] 赵景波,孙桂贞,岳应利,等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究,2007,26(4):763-771.