

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张建军, 李慧敏, 徐佳佳. 黄土高原水土保持林对土壤水分的影响. 生态学报, 2011, 31(23): 7056-7066.

Zhang J J, Li H M, Xu J J. Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7056-7066.

黄土高原水土保持林对土壤水分的影响

张建军*, 李慧敏, 徐佳佳

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要:黄土高原植被恢复的限制因素主要是土壤水分, 植被与土壤水分关系的研究对黄土高原植被恢复具有重要意义。2008 年 7 月 1 日至 2009 年 10 月 31 日间采用 EnviroSMART 土壤水分定位监测系统以每 30min 监测 1 次的频度, 对晋西黄土区刺槐人工林地、油松人工林地、次生林地的土壤水分变化进行了研究。研究得出: 次生林地 0—150 cm 土层中平均蓄水量为 331.95 mm, 刺槐人工林地 233.85 mm, 有整地措施的油松人工林地 314.85 mm, 刺槐人工林比次生林多消耗 98.10 mm 土壤水分主要来源于 80 cm 以下土层。次生林主要消耗 0—80 cm 土层的水分, 而人工林不但对 0—80 cm 土层水分的消耗量大于次生林, 对深层土壤的消耗也较次生林大, 这有可能导致人工林地深层土壤的“干化”。在土壤水分减少期(11—1 月)刺槐人工林土壤水分的日均损耗量为 0.86mm、油松人工林为 0.82 mm、次生林为 0.84 mm。土壤水分缓慢恢复期(2—5 月)刺槐人工林地土壤水分的恢复速度 0.90mm/d, 油松人工林地 0.53mm/d、次生林地 0.79 mm/d。土壤水分剧烈变化期(5—10 月)刺槐人工林地土壤水分含量的极差为 95.71mm, 油松人工林地 179.1mm, 次生林地 72.03mm。在干旱少雨的黄土高原进行植被恢复时, 应多采取封山育林等方式, 依靠自然力量形成能够与当地土壤水资源相协调的次生林, 是防止人工植被过度耗水形成“干化层”、保障水土保持植被持续发挥生态服务功能的关键。

关键词:水土保持林; 土壤水分; 耗水量; 黄土高原

Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau

ZHANG Jianjun*, LI Huimin, XU Jiajia

College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Soil moisture was the limiting factor for vegetation rehabilitation on the Loess Plateau in China. Understanding the relationship between vegetation and soil moisture was important to soil and water conservation. During the period of July 1, 2008 and October 31, 2009, we measured soil moisture dynamics of *Robinia pseudoacacia* plantations, *Pinus tabulaeformis* plantation and the secondary forests every 30 minutes on the Loess Plateau in western ShanXi Province, China. The results showed that the average soil water storage in the 0—150cm soil profile under the secondary forest is 332 mm, 234 mm under *Robinia pseudoacacia* plantations, and 315 mm under *Pinus tabulaeformis* plantation with land preparation. The low soil moisture in the *Robinia pseudoacacia* plantations was due to water consumption not only from the 0—80 cm soil layer but also from below the 80 cm soil layer. In contrast, secondary forests consumed soil water mainly from upper layer of the soil (0—80 cm) and used precipitation to keep balance between forests consumption and soil water.

The year round change of soil moisture can be divided into soil moisture decreasing stage, slowly recovering stage and dramatically fluctuating stage. During soil decreasing stage from November and January, the soil moisture decreases at similar rate under all three forests (from 0.82—0.86 mm/d). During February and May, which is the stage of soil moisture slowly recovering, the daily recovering pace in *Robinia pseudoacacia* plantations is 0.90mm/d, *Pinus tabulaeformis* plantation 0.53mm/d, secondary forest 0.79mm/d. During May and October, which is the stage of soil moisture

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD38B0603)

收稿日期: 2010-09-28; 修订日期: 2011-03-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjianjun@bjfu.edu.cn

dramatically fluctuating, the recorded range of soil moisture in *Robinia pseudoacacia* plantations is 95.71mm, *Pinus tabulaeformis* plantation 179.1mm, secondary forest 72.03mm. Land was prepared as narrow terrace before *Pinus tabulaeformis* plantation, which could increase infiltration and soil moisture during rainfall, resulting much higher soil moisture range during the dramatically fluctuating stage.

Soil profile of 0—150cm could be divided into dramatic changing layer, weak changing layer and relatively stable layer according to coefficient of variation of soil moisture. The dramatic changing layer was 0—40 cm to *Robinia pseudoacacia* plantation, while 0—30 cm soil to both secondary forest and pine artificial forest. The coefficient of variation soil moisture in secondary forest was less than 0.01 in 60—150 cm soil profile, which was the relatively stable layer and obviously higher than *Robinia pseudoacacia* plantations and *Pinus tabulaeformis* plantation. The coefficient of variation of 80—150 cm soil moisture under the secondary forest was less than 0.05, which means soil moisture changes little below 80cm and thus the secondary forest seldom used the soil water below 80cm.

This research suggests that more secondary forest should be promoted instead of plantation to avoid excessive consumption of soil water and prevent “dry layer” formation in soil profile on the Loess Plateau.

Key Words: water and soil conservation forest; soil moisture; water consumption; the Loess Plateau

黄土高原是我国水土流失最为严重的地区之一,为了改善生态环境、防治土壤侵蚀,在黄土高原营建了大面积的水土保持植被。但由于黄土高原降水资源先天不足且分布不均,土壤水分经常处于亏缺状态^[1],黄土丘陵区土壤含水率低是普遍现象^[2],尤其在特旱年份不同植被下的土壤水分严重亏缺^[3],这严重制约了黄土高原水土保持植被的发展,土壤水分已成为植被恢复与重建的关键因素^[4-5]。关于黄土高原植被与土壤水分关系的研究众多,尤其是对陕北黄土高原从南到北大范围内普遍存在的“土壤干层”现象进行过大量研究^[6-8]。有研究指出人工林可以将深层土壤水分利用到极限,从而形成“干层”,导致深层土壤完全失去了对植物生长的水分调节功能,“干层”的形成标志着根系已经很难从土壤中吸收水分,植物主要靠当年降雨生存^[9-10]。可见,植被恢复过程中土壤水分供给与植物耗水之间存在突出矛盾,已经成为关系到植被恢复成败的关键^[11]。因此,如何协调植被与水分的关系成为黄土高原水土保持植被恢复与重建中亟待解决的关键问题。

土壤水分研究多集中在植被与土壤水分的关系方面,王志强等^[10]研究了不同植被类型对黄土剖面水分含量的影响后指出,农地与天然草地土壤含水量显著高于人工林植被,天然植被对土壤水的利用与农地相比有显著差异。王孟本^[12]研究了林种对土壤水分的影响后指出,黄土高原的人工乔木林和灌木林地的土壤水分条件比荒地稍差。徐学选等^[3]的研究也指出,农地、林地、草地的土壤水分剖面差异较大,农地水分剖面好于林地和草地。这些研究多采用土钻法等不连续的观测手段,研究内容也多集中于不同地类的水分动态、不同地类的土壤水分状况的对比。但人工林地的土壤水分与天然次生林地土壤水分的对比研究并不多见。

目前大多数土壤水分研究采用烘干法、中子仪法、TDR 法进行观测,各种方法虽各有优点,但或存在着观测间隔长、无法进行长期的实时监测,或监测精度较低等各种问题^[11]。本研究采用能够长期连续监测的 EnviroSMART 土壤水分监测系统,对山西吉县蔡家川流域的次生林地、油松人工林地、刺槐人工林地 0—150 cm 土层的土壤含水量以每 30 min 监测 1 次的频度进行了实时监测,以水量平衡分析方法计算了各地类蓄水量的变化和耗水量,探讨了次生植被、人工植被对土壤水分动态和垂直变化的影响,以及植被类型与土壤水分的关系,以期为黄土高原水土保持植被恢复与生态环境建设提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区是北京林业大学所属的山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站所在地,位于山西省吉县蔡家川流域。地理坐标为东经 110°39'45"—110°47'45"、北纬 36°14'27"—36°18'23"。研究流域属晋西黄土残

源沟壑区,面积38 km²,西向东走向,长约14 km,海拔900—1513 m。年降水量575.9 mm,6—9月的降水量占全年的70%左右。年均水面蒸发量1732.9 mm。年均气温10℃。土壤为褐土,黄土母质深厚。流域中上游植被主要为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、杜梨(*Pyrus betulifolia*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、紫丁香(*Syringa oblata*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、蒙古荚蒾(*Viburnum mongolicum*)等组成的天然次生林,中游为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等树种组成的人工林,下游为荒草坡和农地。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤水分监测

在对研究流域植被进行调查的基础上选择有代表性的次生林地、人工刺槐林地、人工油松林地作为观测样地,各样地均位于坡中部,海拔在950—1100 m范围内。对观测样地进行每木检尺和林分调查,调查结果见表1。经调查观测样地内土层均一,观测土层范围内没有钙结核层、粘土层或母质层等相对不透水层。在这3种观测样地内埋设EnviroSMART土壤水分定位监测系统长期监测土壤水分的动态变化。

表1 观测地基本情况
Table 1 Basic situation of the observed sites

地类 Forest type	坡度/° Slope	坡向/° Aspect	胸径/cm Diameter at breast height	树高/m Height	树龄/a Tree-age	密度 /(株/hm²) Population	下层植被 Undergrowth	整地方式 Site Preparation way	
I	35	N40	山杨 <i>Populus davidiana</i>	5.9	5.4	14	1320	胡颓子	无
			杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i>	6.2	5.2	10	120	<i>Elaeagnus pungens</i> ,	
			细裂槭 <i>Acer stenolobum</i>	4.5	3.6	9	90	连翘 <i>Forsythia suspense</i> ,	
			辽东栎	4.8	4.2	13	165	虎榛子	
			<i>Quercus wutaishanica</i>					<i>Ostryopsis davidiana</i>	
II	15	N45		5.5	4.5	10	1650	三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i> , 蒿类 <i>Artemisia</i> L.	无
III	21	N100		6.9	6.5	15	1725	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i> , 蒿类 <i>Artemisia</i> L.	水平条

I: 次生林地 Secondary forest, II: 刺槐林地 *Robinia pseudoacacia* plantation, III: 油松林地 *Pinus tabulaeformis* plantation

EnviroSMART土壤水分定位监测系统由插入土壤中的PVC管、安装在PVC管中的滑轨、安装在滑轨上的监测探头、数据采集器、电瓶几部分组成。监测的土壤水分实时数据保存在CR200数据采集器中,监测数据可用笔记本电脑从CR200中下载。

土壤水分的监测深度为0—150 cm土层。事先采用专用钻孔设备将PVC管插入土层之中,在0—110 cm土层范围内每10 cm布设1个探头,在130 cm深和150 cm深处各布设1个探头,每个样地的土壤剖面上共计布设13个探头。

为了保证监测质量,于2008年5月12日在次生林地、人工刺槐林地、人工油松林地安装EnviroSMART土壤水分定位监测系统后试运行1个半月,使EnviroSMART土壤水分定位监测系统的PVC管与土壤密切接触后,于2008年7月1日至2009年10月31日间,以每30 min监测1次的频度,对次生林地、人工刺槐林地、人工油松林地的土壤水分进行实时监测。

1.2.2 数据处理

EnviroSMART监测的是0—150 cm土层中各层的体积含水量 θ_i ,设土层厚度为 D_i ,则各层的土壤蓄水量 W_i 为:

$$W_i = \theta_i \times D_i$$

150 cm土层的总蓄水量 W 为:

$$W = \sum_{i=1}^{10} \theta_i \times (Z_{i+1} - Z_i) + (\theta_{11} + \frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2} + \theta_{12} + \frac{\theta_{12} + \theta_{13}}{2} + \theta_{13}) \times 100$$

式中, Z_i 为第 i 个探头在土壤中所处的深度 (mm); θ_i 代表第 i 个探头监测的土壤体积含水量 (%); W 为 150 cm 土层的总蓄水量 (mm)。

黄土高原土层深厚, 且无壤中流, 地下水埋藏很深, 深层土壤水分的变化很小, 因此, 0—150 cm 土层的水量平衡方程可以近似为:

$$P = R + E \pm \Delta W$$

式中, P 为降雨量, R 为径流量, ΔW 为土壤含水量变化量 (mm)。

在无降水期间, $P=0$, $R=0$, 林地 0—150 cm 土层的蒸散量可以近似为 $E = \pm \Delta W$ 。降雨时由于空气湿度大, 林地的蒸散耗水量可以近似认为零。因此, 林地的年蒸散耗水量可以通过累加计算无降水期间土层的蓄水量的变化量得到:

$$E = \sum_{i=1}^n W_i$$

2 结果与分析

2.1 不同林地的土壤水分状况

次生林地、刺槐人工林地、油松人工林地 2008 年 7 月 1 日至 2009 年 10 月 31 日的土壤水分状况见图 1 和表 3。

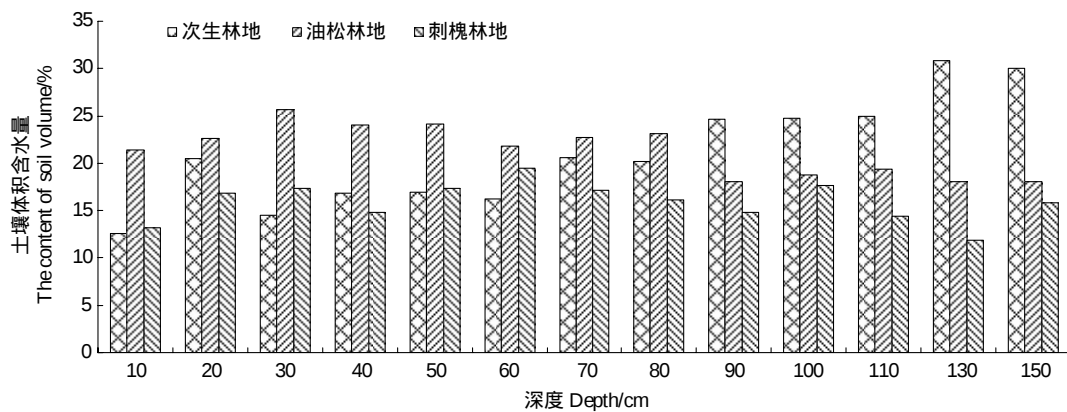


图 1 次生林地、刺槐林地、油松林地土壤水含水量

Fig. 1 The soil moisture condition of *Robinia pseudoacacia* plantation, *Pinus tabulaeformis* plantation and secondary forest

表 2 2008 年 7 月 1 日至 2009 年 10 月 31 日期间的降雨量

Table 2 Rainfall between July 1, 2008 and October 31, 2009

月份 Month	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
降雨 Rainfall	31.2	193.8	103.1	19.8	5.2	0	0	16.5	16.3	10.7	115.4	106	118.1	110.2	56.7	24.5

从图 1 和表 3 可以看出, 0—150 cm 土层中次生林地的平均含水量最高, 达 22.13%, 蓄水量可达 331.95 mm, 刺槐人工林地最低, 仅有 15.59%, 蓄水量也只有 233.85 mm, 油松人工林地的水分状况与次生林地接近, 平均含水量为 20.99%, 蓄水量为 314.85 mm。经方差分析和多重比较得出, 次生林地、刺槐人工林地、油松人工林地 0—150 土层蓄水量间均有显著差异 (表 4, 表 5)。可见, 黄土区不同植被条件下土壤的水分状况存在显著差异, 自然恢复的次生林地的土壤蓄水量明显高于人工林地。这与穆兴民^[13]得出的黄土区天然植被在生长良好状况下其土壤自然含水率仍然较高的结论一致。因此, 在水资源短缺的黄土高原地区, 应采取人工促进的封山育林技术恢复自然植被, 这是防止“土壤干化”的有效措施。

表 3 次生林地、刺槐林地、油松林地的土壤含水量/mm

Table3 Soil moisture situation of Secondary forest, Robinia pseudoacacia plantation and Pinus tabulaeformis plantation																
林地类型 Forest type	土层深度 Depth/cm															0—1.5m 土层蓄水量/mm 0—1.5m Soil Water Storage
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	150	平均		
I	12.56	20.44	14.51	16.80	16.96	16.25	20.60	20.18	24.64	24.74	24.98	30.89	29.98	22.13		331.95
II	13.22	16.87	17.31	14.82	17.31	19.53	17.15	16.11	14.78	17.68	14.43	11.84	15.79	15.59		233.85
III	21.45	22.67	25.69	24.09	24.10	21.85	22.70	23.15	18.09	18.76	19.38	18.08	18.02	20.99		314.85

I：次生林地 Secondary forest, II：刺槐林地 Robinia pseudoacacia plantation, III：油松林地 Pinus tabulaeformis plantation

通过对比表 3 油松人工林地和次生林地各层土壤含水量得出,油松人工林地 0—80 cm 土层中各层的含水量均高于次生林地,而 80—150 cm 土层中各层的含水量均低于次生林地。这是因为油松人工林在营造时采用了水平条整地,而次生林在形成过程中并无人为干预,坡面处于自然状态。油松人工林地的水平条能够有效拦截坡面径流,这些被拦截的径流有效增加了 0—80 cm 土层的含水量,从而使其 0—80 cm 土层中各层的含水量均高于次生林地。而在 80—150 cm 土层中油松人工林地各层含水量均低于次生林地,是由于油松人工林根系对 80—150 cm 土层中水分吸收量明显大于次生林,而水平条拦蓄的径流量对 80—150 cm 深层土壤水分的补给作用不能弥补油松根系对深层土壤水分的消耗,从而导致油松人工林深层土壤水分明显低于次生林。这说明次生林主要消耗浅层的土壤水分,油松人工林根系对深层土壤水分的消耗量明显大于次生林。这与王力等^[14]在黄土高原子午岭地区研究的结果一致。因此,可以认为整地措施能够显著增加浅层土壤含水量,能够在一定程度上弥补人工植被对浅层土壤水分的消耗,但对深层土壤水分的补偿作用有限。

表 4 次生林地、刺槐林地、油松林地 0—150 cm 土层蓄水量的方差分析

Table 4 The analysis of variance of Soil reservoir storage of Secondary forest, Robinia pseudoacacia plantation and Pinus tabulaeformis plantation in the soil layer between 0—150cm

	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean squares	F	显著性 Sig.
组间 Between groups	2651100.236	2	1325550.118	1194.764	0.000
组内 Within groups	1553252.955	1400	1109.466		
总数 Total	4204353.190	1402			

表 5 次生林地、刺槐林地、油松林地 0—150 cm 土层蓄水量的多重比较表

Table 5 The multiple comparison of soil reservoir storage of Secondary forest, Robinia pseudoacacia plantation and Pinus tabulaeformis plantation in the soil layer between 0—150cm

(I) 地类 Forest type	(J) 地类 Forest type	均值差 (I-J) difference	标准误 Standard error	显著性 Sig.	95% 置信区间 95% Confidence interval	
					下限 Low limit	上限 Up limit
II	III	-81.01023 *	2.20721	0.000	-85.3400	-76.6804
	I	-98.08755 *	2.13237	0.000	-102.2705	-93.9046
III	II	81.01023 *	2.20721	0.000	76.6804	85.3400
	I	-17.07732 *	2.20721	0.000	-21.4071	-12.7475
I	II	98.08755 *	2.13237	0.000	93.9046	102.2705
	III	17.07732 *	2.20721	0.000	12.7475	21.4071

* 均值差的显著性水平为 0.05; I：次生林地 Secondary forest, II：刺槐林地 Robinia pseudoacacia plantation, III：油松林地 Pinus tabulaeformis plantation

表 6 为次生林地和刺槐人工林地不同深度土层的蓄水量表。由表 6 可见:次生林地 0—150 cm 土层的蓄水量为 331.95 mm,刺槐林地只有 233.85 mm,与次生林相比刺槐人工林多消耗了 98.10 mm 的土壤水分。而次生林地和刺槐人工林地 0—80 cm 土层的平均蓄水量分别为 138.30 mm 和 132.32 mm,在 0—80 cm 土层的范围内刺槐人工林只比次生林比多消耗了 5.98 mm 的土壤水。因此可以认为,0—150 cm 土层中刺槐人工林比次生林多消耗的 98.10 mm 土壤水分主要来源于 80 cm 以下土层,即刺槐人工林与次生林相比消耗了更多

的深层土壤水分。

表 6 次生林地、刺槐林地不同深度土层的蓄水量/mm

林地类型 Forest type	深度 Depth/cm												
	0— 10	0— 20	0— 30	0— 40	0— 50	0— 60	0— 70	0— 80	0— 90	0— 100	0— 110	0— 130	0— 150
Ⅱ	13.22	30.09	47.40	62.23	79.54	99.06	116.21	132.32	147.10	164.78	179.20	204.18	233.85
I	12.56	33.00	47.51	64.31	81.27	97.52	118.12	138.30	162.93	187.67	212.65	271.46	331.95
差值 Difference/mm	-0.66	2.92	0.11	2.08	1.74	-1.54	1.90	5.98	15.83	22.89	33.44	67.28	98.09

I: 次生林地 Secondary forest, II: 刺槐林地 *Robinia pseudoacacia* plantation

2.2 不同林地的土壤水分动态变化

图 2 是次生林地、刺槐人工林地、油松人工林地 2008 年 7 月至 2009 年 10 月 0—150 cm 土层平均含水量的动态变化图。从图 2 可以看出,研究地区 0—150 cm 土层土壤水分的年内变化可以划分为土壤水分减少期、土壤水分缓慢恢复期、土壤水分剧烈变化期 3 个时期。

土壤水分减少期从雨季结束后的 11 月份开始到来年的 1 月底。该期间降水很少,且多以降雪形式出现,加上土壤冻结,降水很难对土壤水分有所补给,因此土壤水分逐渐减少,到 1 月份土壤含水量降到一年中的最低值。在土壤水分减少期,刺槐人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 11 月 1 日的 243.45 mm 降低到来年 1 月 31 日的 164.37 mm,损耗了 79.08 mm,平均每天损耗 0.86 mm。油松人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 331.88 mm 降低到 256.38 mm,损耗了 75.5 mm,平均每天减少 0.82 mm。次生林地 0—150 cm 土层的蓄水量由 345.72 mm 降低到 268.88 mm,损耗了 76.84 mm,平均每天损耗 0.84 mm。可见,不论在人工林地还是在次生林地,土壤水分减少期间土壤水分的损耗量几乎相同,这说明在冬季不论是人工林地还是次生林地,土壤水分的消耗主要是在气候要素控制下进行的。

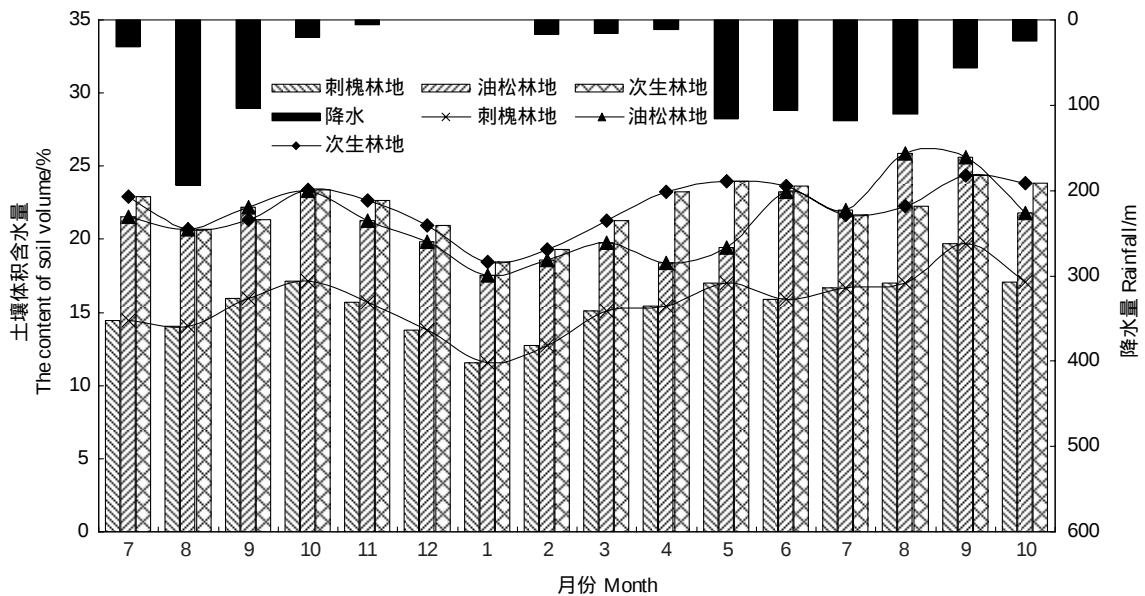


图 2 刺槐人工林地、油松人工林地、次生林地土壤水分动态变化图

Fig. 2 The dynamics of soil moisture of Secondary forest, *Robinia pseudoacacia* plantation and *Pinus tabulaeformis* plantation

土壤水分缓慢恢复期从 2 月份开始到 5 月底,此期间积雪融化、降水开始增多,植物也开始展叶开花,水分消耗开始增多,但土壤含水量缓慢增加,属于恢复阶段。在土壤水分缓慢恢复期,刺槐人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 2 月 1 日的 166.56 mm,增加到 5 月 31 日的 274.17 mm,增加了 107.61 mm,平均每天增加

0.90 mm。油松人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 258.65 mm 增加到 321.94 mm,增加了 63.29 mm,平均每天增加 0.53 mm。次生林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 271.34 mm 增加到 365.65 mm,增加了 94.31 mm,平均每天增加 0.79 mm。可见,在土壤水分缓慢恢复期各地类土壤水分的恢复量并不相同,以刺槐人工林地的恢复量最大,油松人工林地的恢复量最少。

土壤水分剧烈变化期从 6 月份开始到 10 月底。此期间正是黄土区降雨的主要时期,也正是林木的生长旺季。降水补给土壤水分,林木生长消耗土壤水分,在二者的作用下土壤水分剧烈变动。在此期间,刺槐人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 6 月 1 日的 268.60 mm 变化为 10 月 31 日的 245.15 mm,减少了 23.45 mm,最大值为 309.37 mm,最小值为 213.66 mm,极差为 95.71 mm;油松人工林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 6 月 1 日的 320.63 mm 变化为 10 月 31 日的 333.13 mm,增加了 12.5 mm,最大值为 457.41 mm,最小值为 278.31 mm,极差达 179.1 mm;次生林地 0—150 cm 土层的蓄水量从 6 月 1 日的 362.70 mm 变化为 10 月 31 日的 359.49 mm,减少了 3.21 mm,最大值为 383.28 mm,最小值为 311.25 mm,极差为 72.03 mm。

2.3 不同地类土壤水分的垂直变化

图 3 为次生林地、油松人工林地、刺槐人工林地 2008 年 7 月 1 日—2009 年 10 月 31 日期间 0—150 cm 土层中平均含水量随深度的变化图。从图 3 可见,油松林地 0—80 cm 土层范围内的土壤含水量明显高于次生林地和刺槐人工林地,而次生林地 90—150 cm 土层的含水量却显著高于刺槐人工林地和油松人工林地。

从图 3 可见,0—80 cm 土层的含水量油松人工林地显著高于刺槐人工林地和次生林地,这是由于在造林时油松林地采用了水平条大穴整地,这些整地措施有效拦蓄的地表径流增加了上层土壤的含水量。可见造林时的整地措施能够有效拦蓄雨水,在防治水土流失的同时增加林地 0—80 cm 土层的含水量。次生林地 70 cm 以下土层的含水量显著高于刺槐人工林地,次生林地 90 cm 以下土层的含水量显著高于油松人工林地,这说明次生林主要吸收雨水能够补给的上层土壤水分,而油松人工林和刺槐人工林不但消耗上层土壤水分,对深层土壤水分的消耗显著大于次生林,这就有可能造成人工林地深层土壤的“干化”。

次生林地除 20 cm 处的平均含水量较高外,总体趋势为随深度的增加土壤含水量增加,深层 130—150 cm 处的平均含水量最高,而表层 0—10 cm 土层的含水量最低。油松人工林地 0—30 cm 土层内的含水量随深度的增加逐渐增加,30—150 cm 范围内总体上呈递减趋势。刺槐人工林地 130 cm 处的土壤含水量最低,表层 0—10 cm 土层的含水量次之。在 0—150 cm 的剖面上土壤含水量随深度的增加呈波形变化,但变化幅度较次生林地和油松人工林地小。

变异系数 C_v 是衡量观测值变异程度的统计量,是标准差与平均数的比值,能够反映单位均值上的离散程度,变异系数越大,说明观测数据的离散性越大,即土壤

水分含量的变化越剧烈,反之则越小。各地类 0—150 cm 土层含水量的变异系数见表 7。从表 7 可以看出,各地类土壤含水量的变异系数由表层到深层逐渐递减,0—10 cm 土层的变异系数最大。刺槐人工林地各层土壤水分的变异系数明显大于次生林地与油松人工林地,油松人工林地与次生林地的变异系数相近。刺槐人工林地 0—30 cm 土层的变异系数在 0.30 以上,而油松林地和次生林地只有 0—10 cm 土层的变异系数在 0.30 以上。可见刺槐人工林地表层土壤水分不但变化剧烈,而且水分波动涉及的范围较次生林地和油松林地广。各地类土壤水分变异系数小于 0.10 的层次分别为:次生林地 60—150 cm 土层,刺槐林地 80—150 cm 土层,而油松林地 100—150 cm 土层。可见,整地工程拦蓄的地表径流不但提高了油松林地表层的最低含水量 (8.38%),而且拦蓄的地表径流渗透到深层,使深层土壤水分的变化幅度增加。

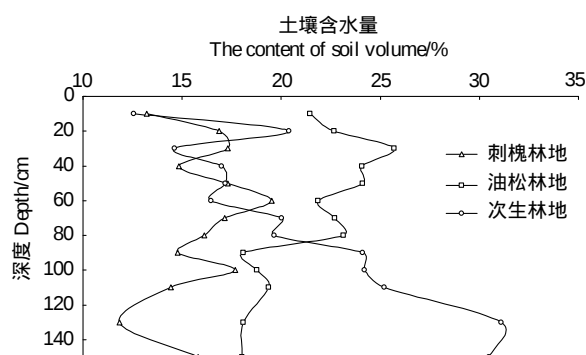


图 3 各地类土壤含水量随深度的变化图

Fig. 3 The changes of soil moisture in different depth with particular soil style

根据变异系数的大小可以将 150 cm 土层划分为土壤水分剧烈变化层(变异系数大于 0.25)、土壤水分弱变化层(变异系数介于 0.25—0.10 之间)、土壤水分相对稳定层(变异系数小于 0.1)。从表 7 可见,各地类剧烈变化层分别为:次生林地 0—30cm 土层,刺槐人工林地 0—40cm 土层,油松林地 0—30cm 土层。各地类弱变化层分别为:次生林地 40—60cm 土层,刺槐林地 40—80cm 土层,油松林地 40—100cm 土层。各地类相对稳定层分别为:次生林地 60—150cm 土层,刺槐林地 80—150cm 土层,油松林地 100—150cm 土层。可见,次生林地土壤水分的相对稳定层的厚度远远大于刺槐人工林地和油松人工林地。

对表 7 进行分析后得出,各地类土壤含水量的变异系数由表层到深层逐渐递减,0—10 cm 土层的变异系数最大。这与 Li 等^[15]的研究结论一致。刺槐人工林地各层土壤水分的变异系数明显大于次生林地,在无降雨时刺槐林耗水量大,根系必须从土壤中吸取更多的水分用于蒸散,从而使土壤含水量处于较低的水平,降雨时正因刺槐林地土壤中含水量较低,一方面在较低含水量条件下土壤渗透强度较大,另一方面土壤中有更多的孔隙可用于储存雨水,因此,刺槐人工林地土壤含水量的变异系数远大于次生林地。油松林地因为在造林时采用了水平条大穴整地,1a 的降水几乎全部被拦蓄在水平条内,因此,油松林地 0—150 cm 土层的含水量维持在较高水平,且各层含水量的变异系数较刺槐人工林地小,但较次生林地略大。可以认为,黄土区造林整地工程不但可以拦蓄地表径流、减少水土流失,还可以减缓土壤水分的变化幅度。

2.4 生长季的耗水量

研究区的黄土层深厚,地下水埋藏很深,无法通过毛细管作用对土壤水分进行补充,同时黄土中无壤中流,无降雨条件下土层内含水量的变化主要是由于土壤蒸发和植物蒸散耗水引起的。因此,生长季林地的耗水量等于一定深度土层内土壤含水量的变化量。

利用 2008 年 10 月—2009 年 10 月每隔 30min 观测的土壤含水量值,采用水量平衡法计算了各地类的年耗水量、生长季(4—10 月)耗水量,结果见表 8。从表 8 可以看出,刺槐人工林地的耗水量最大,为 666.86 mm,油松林人工林地 511.35 mm,而次生林地的耗水量只有 346.48 mm,可见次生林地的耗水量只有刺槐人工林地的 51.96%,油松林地的 67.76%。各地类的日最大耗水量分别为:刺槐林地 7.74 mm/d,油松林地 4.546 mm/d,次生林地 3.99 mm/d。平均日耗水量分别为:刺槐林地 1.83 mm、油松林地 1.40 mm、次生林地 0.95 mm。可见刺槐人工林地的日平均耗水量与日最大耗水量均显著大于油松人工林地和次生林地。

表 8 生长季耗水量表

Table 8 Water consumption during growing season

林地类型 Forest type	年耗水量/mm Soil water consumption	生长季耗水量(4—10 月)/mm Growing season consumption	日最大耗水量/mm Maximum daily consumption	平均日耗水量/mm Average daily consumption
I	346.48	239.94	3.99	0.95
II	666.86	524.20	7.74	1.83
III	511.35	442.81	4.56	1.4

I: 次生林地 Secondary forest, II: 刺槐林地 *Robinia pseudoacacia* plantation, III: 油松林地 *Pinus tabulaeformis* plantation

3 结论与讨论

对表 2 进行分析后得出,0—150 cm 土层中蓄水量分别为:次生林地 331.95 mm,油松人工林地 314.85 mm,刺槐人工林地只有 233.85 mm。刺槐林地除表层 0—10 cm 土层的蓄水量与次生林地表层蓄水量比较接近外,其余各层的蓄水量、0—150 cm 土层的总蓄水量均明显低于次生林地。在 0—80 cm 土层范围内,刺槐人工林只比次生林多消耗了 5.98 mm 的土壤水,而在 80—150 cm 土层范围内刺槐林比次生林多消耗了 92.12 mm 的土壤水,即刺槐人工林比次生林多消耗的水分主要是 80—150 cm 土层的土壤水分。可以认为次生林地主要消耗浅层的土壤水分,且能够依靠天然降水的补给使次生林植被与土壤水资源达成一种均衡状态。因此,在干旱少雨的黄土高原地区恢复植被时如何采取措施,调整人工植被与土壤水资源的关系,形成与当地水土资源相协调的拟自然林,是目前该地区植被建设的关键。

另外,刺槐人工林地的耗水量明显大于次生林地,且多消耗的 98.10 mm 土壤水分主要来源于 80 cm 以下土层的水分,这将有可能会导致人工林地深层土壤的“干化”,从而形成“干化层”。这与牛俊杰^[8]、王力^[7,14,16]、王志强^[10]、Helmut Schume^[17]的研究结果一致。

因此,在干旱少雨的黄土高原进行植被恢复时,应多采取封山育林等方式,依靠自然力量形成能够与当地土壤水资源相协调的次生林,是防止人工植被过度耗水形成“干化层”的关键。

土壤水分的年内变化可以划分土壤水分减少期(11—1月)、土壤水分缓慢恢复期(2—5月)、土壤水分剧烈变化期(5—10月)3个时期。在土壤水分减少期各地类日平均损耗的土壤水分量分别为:刺槐人工林 0.86 mm、油松人工林 0.82 mm、次生林 0.84 mm。土壤水分减少期的水分损耗主要受控于气象条件。在土壤水分缓慢恢复期各地类的恢复速度分别为:刺槐人工林地(0.90 mm/d)、油松人工林地(0.53 mm/d)、次生林地 0.79 mm/d。土壤水分剧烈变化期,刺槐人工林地土壤水分含量的极差为 95.71 mm;油松人工林地极差达 179.1 mm;次生林地极差为 72.03 mm。造林时修建的水平条等整地措施能够有效拦蓄地表径流,降雨后土壤水分大幅增加,从而使油松林地土壤水分剧烈变化期的极差远远高于刺槐人工林地和次生林地。

按照变异系数的大小 0—150 cm 土层可以划分为土壤水分剧烈变化层、弱变化层、相对稳定层,刺槐林地土壤水分的剧烈变化层为 0—40 cm 土层,次生林林地和油松林地为 0—30 cm 土层。可见人工刺槐林地表层水分不但变化剧烈,涉及的土层也较次生林地厚。次生林地 60—150 cm 土层的土壤水分的变异系数均在 0.10 以下,属于相对稳定层,其厚度远远大于刺槐人工林地和油松人工林地,80—150 cm 土层的变异系数更是在 0.05 以下。可以认为次生林地 80 cm 以下土层的水分在 1a 的变化幅度很小,基本上处于稳定状态,即次生林很少利用 80 cm 以下较深层次的土壤水分。

刺槐人工林地的年耗水量达 666.86 mm,油松林人工林地为 511.35 mm,而次生林地 346.48 mm,次生林地的年耗水量小于当地的多年平均降水量。可见次生林在其形成过程中与当地的降水资源之间达成了一种平衡状态,因此能够自然生长,并持续发挥生态服务功能。而人工刺槐林因耗水量大于当地的降水量,其生长必然受到影响,进而影响其水土保持功能和其他生态服务功能的持续发挥,因此,对耗水量较大的刺槐人工林必须采取相应的密度调整等措施,控制其耗水量,以保证刺槐人工林的正常生长。

References:

- [1] Zhao Z, Li J, Yuan Z F, Hu X N, Cao Y, Wang D M. A model used to describe vertical change of soil moisture of *Robinia pseudoacacia* plantations growing in the Loess gully slope. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(10): 9-13.
- [2] Wang G L, Liu G B, Dang X H. Effects of land use on soil moisture in loess hilly and gully region of China. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(2): 31-35.
- [3] Xu X X, Liu J H, Gao P, Wang W. A study on the effect of soil moisture of different vegetation s in Loess Hilly Region. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(8): 1347-1351.
- [4] Cheng J M, Wan H E, Wang J, Yong S P. Growth of *Caragana korshinskii* and depletion process of soil water in semi-arid region. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2): 37-41.
- [5] Mu X M, Xu X X, Wang W L. Impact of artificial forest on soil moisture of the deep soil layer on Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 210-217.
- [6] He X W, Liu G Q, Guo M H. On water resources environment for vegetation planning in the Loess Plateau. *Shuili Xuebao*, 2008, 39(7): 843-847.
- [7] Wang L, Shao M A, Li Y Y. Study on relationship between growth of artificial *Robinia pseudoacacia* plantation and soil desiccation in the Loess Plateau of northern Shannxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(1): 84-91.
- [8] Niu J J, Zhao J B, Wang S Y. A study on plantation soil desiccation in the upper reaches of the Fenhe River basin based on deep soil experiments. *Geographical Research*, 2007, 26(7): 773-781.
- [9] Cao Y, Zhao Z, Qu M, Ceng X R, Wang D H. Effects of *Robinia pseudoacacia* roots on deep soil moisture status. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 765-768.
- [10] Wang Z Q, Liu B Y, Z Y. Effects of different vegetation types on soil moisture in deep Loess soil profiles. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(7): 703-713.

- [11] Zhang J J, Zhang Y, Zhang B. Soil water content in water and soil conservation forests on the hilly Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45 (11): 63-69.
- [12] Wang M B, Li H J. Effects of stand sites and forest types on soil water contents in artificial forests. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15 (6): 43-46.
- [13] Mu X M. In traction of soil and water conservation measures with soil water in the Loess Plateau in China. *Transactions of the CSAE*, 2000, 16(2): 41-45.
- [14] Wang L, Shao M A, Wang Q J, Jia Z K. Comparison of soil desiccations in natural and acacia forests in the Ziwuling Mountain of the Loess Plateau. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005, 25(7): 1279-1286.
- [15] Li X R, Ma F Y, Xiao H L. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57 (1): 1-16.
- [16] Wang L, Shao M A, Zhang Q F. Distribution and characters of soil dry layer in north Shaanxi Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 436-442.
- [17] Helmut Schume, Georg Jost and Herbert Hager. Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology*, 2004, 289, (1/4): 258-274.

参考文献:

- [1] 赵忠, 李剑, 袁志发, 胡晓宁, 曹扬, 王迪海. 黄土沟坡刺槐林地土壤水分垂直变化的数学模型. *林业科学*, 2009, 45(10): 9-13.
- [2] 王国梁, 刘国彬, 党小虎. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤含水率的影响. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 31-35.
- [3] 徐学选, 刘江华, 高鹏, 王炜. 黄土丘陵区植被的土壤水文效应. *西北植物学报*, 2003, 23 (8): 1347-1351.
- [4] 程积民, 万惠娥, 王静, 雍绍萍. 半干旱区柠条生长与土壤水分消耗过程研究. *林业科学*, 2005, 41(2): 37-41.
- [5] 穆兴民, 徐学选, 王文龙. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响. *土壤学报*, 2003, 40(2): 210-2171.
- [6] 何小武, 刘广全, 郭孟华. 黄土高原植被建设的水资源环境及对策. *水利学报*, 2008, 39(7): 843-847.
- [7] 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.
- [8] 牛俊杰, 赵景波, 王尚义. 汾河流域上游人工林地深层土壤干燥化探讨. *地理研究*, 2007, 26(7): 773-781.
- [9] 曹扬, 赵忠, 渠美, 成向荣, 王迪海. 刺槐根系对深层土壤水分的影响. *应用生态学报*, 2006, 17 (5): 765-768.
- [10] 王志强, 刘宝元, 张岩. 不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响. *地理学报*, 2008, 63, (7): 703-713.
- [11] 张建军, 张岩, 张波. 晋西黄土区水土保持林地的土壤水分. *林业科学*, 2009, 45(11): 63-69.
- [12] 王孟本, 李洪建. 林分立地和林种对土壤水分的影响. *水土保持学报*, 2001, 15(6): 43-46.
- [13] 穆兴民. 黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用. *农业工程学报*, 2000, 16(2): 41-45.
- [14] 王力, 邵明安, 王全九, 贾志宽. 黄土高原子午岭天然林与刺槐人工林地土壤干化状况对比. *西北植物学报*, 2005, 25(7): 1279-1286.
- [16] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元