

# 黄土丘陵区农林地SVAT 系统水分传输模拟研究

卫三平<sup>1,2,3</sup>, 王 力<sup>1,2</sup>, 吴发启<sup>1</sup>

( 1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中科院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;  
3. 山西省水土保持科学研究所, 山西 离石 033001)

**摘 要:** 基于野外试验资料,应用 Coup Model 模型,对陕北黄土丘陵区 2006 年 6~9 月份农地(马铃薯)、林地(刺槐林)SVAT 系统水分传输进行了模拟。研究结果表明:6~9 月份农地作物截留降水仅为刺槐林群落的 26.05%;农地蒸发量大于刺槐林地,7 月中旬以前农地日蒸发量明显高于刺槐林地,7 月中旬以后二者基本相等;刺槐蒸腾量显著高于刺槐林下植被和农地马铃薯,而且日变幅较大;农地和刺槐林地均没有发生地表径流;农地土壤深层渗漏 4.08 mm,刺槐林地深层渗漏极小,可忽略不计;农地 0~600 cm 土层增加储水量 89.79 mm,而刺槐林地减少 16.34 mm,出现负补偿现象 SVAT 系统中,刺槐林地和农地水分收入均为 341.06 mm,支出分别为 357.41 mm 和 251.28 mm,刺槐林地是农地的 1.42 倍;刺槐林和农地作物对降水的利用率分别为 46.48%和 28.41%;刺槐林的截留蒸发量和蒸腾量是农地的 2.08 倍,显著大于农地,是导致刺槐林群落过度消耗土壤储水而呈现负补偿现象的主要原因。

**关键词:** SVAT 系统;农地;林地;水分传输;Coup Model 模型;黄土丘陵区

**中图分类号:** S 152.7<sup>+</sup>5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601( 2008) 04-0017-06

黄土高原气候干旱,植被稀疏,水土流失严重,水资源十分短缺,水分一直是该区生态环境建设中最关注的问题之一。20 世纪 80 年代,黄土高原人工林草地土壤出现强烈的干化现象,而且越来越严重,植被因水分极度亏缺而大面积衰退甚至死亡,严重制约了植被的可持续发展<sup>[1,2]</sup>。为了解植被对土壤—植被—大气传输(SVAT, Soil—Vegetation—Atmosphere transfer)系统中水分传输的影响及其对大气降水和土壤水分的利用状况,需要研究 SVAT 系统的水分传输过程。本文以陕北黄土丘陵区为研究区域,利用 SVAT 模型——Coup Model (Coupled heat and mass transfer model for soil—plant—atmosphere system) 模拟了 2006 年 6~9 月份农地、刺槐林地 SVAT 系统水分传输过程,分析了 SVAT 系统水分平衡状况,对揭示黄土丘陵区土壤干化成因,促进退耕还林等植被恢复和重建具有重要的指导意义。

## 1 试验地概况

试验地选在陕北延安市南部的燕沟流域。流域总面积 46.88 km<sup>2</sup>,位于 N 36°28'~36°32', E 109°20'~109°35',属黄土高原丘陵沟壑区第Ⅱ副区,地形

主要以黄土梁状丘陵为主,沟壑密度 4.8 km/km<sup>2</sup>,土壤侵蚀模数 6 000 t/(km<sup>2</sup>·a),多年平均降水量为 558.4 mm,年平均气温 9.8℃,无霜期约 170 d。成土母质为黄土,土壤以黄绵土为主,占 90%以上。流域内零星残存的天然次生林覆盖率不足 10%,现有人工林主要为刺槐、柠条,经济林主要为苹果<sup>[3,4]</sup>。

试验地刺槐林为 1979~1980 年栽植,郁闭度 0.71,密度 1 025 株/hm<sup>2</sup>,林分平均树高 11.85 m,平均胸径 14.02 cm,林下植被有黄刺梅、杠柳、悬钩子、蒿类、野菊花等;农地作物为马铃薯,5 月底播种,6 月 7 日开始出苗,密度 25 400 株/hm<sup>2</sup>,常规管理。农地和林地均为 25°的东北坡。

## 2 数据获取方法

### 2.1 气象要素

在林外荒草地上安装 1 台美国 Davis 仪器设备公司生产的便携式小气候站,连续观测记录气温、气压、相对湿度、风速、降水、太阳辐射。风速观测高度为 2 m,其他要素观测高度为 1.5 m。小气候站旁边安装一个雨量筒,用来校正小气候观测的降水量。

### 2.2 植被生长特征

2006 年 6~9 月份每月测定 1~2 次植被冠层

收稿日期:2007-10-29  
基金项目:国家自然科学基金(40501031/90502006);西北农林科技大学 2007 年“青年学术骨干支持计划”;中国科学院“百人计划”资助项目(2004109)  
作者简介:卫三平(1973—),男,山西中阳县人,博士,主要从事水土保持和生态环境建设方面的研究。  
通讯作者:王 力.E-mail:wangli5208@163.com.  
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

平均高、叶面积指数。用英国 Delta-T Devices 公司生产的 Hemi-View(Delta-T 2000) 型冠层影像分析系统测定刺槐林叶面积指数。刺槐林下灌木、草本和农地马铃薯, 用叶面积仪(ST-YMJ) 量出选定标准株或样方内植物叶子的面积, 换算为叶面积指数。

### 2.3 土壤物理特性

取农地和林地土壤剖面不同层次原状土样 10 cm 以上分别在 0~5、5~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层取样, 100 cm 以下视土质变化分层取样, 2 次重复, 测定饱和导水率、机械组成以及水分特征曲线。农地和林地各埋设 600 cm 深中子管 4 根, 用中子仪测定土壤含水量, 每月 3 次, 大于 10 mm 降雨后加测 1 次。

### 2.4 林冠截留量

林冠截留量一般通过测定干流量和穿透降水量来间接计算, 林外降水量与干流量、穿透降水量之差即为林冠截留量。在刺槐林下随机均匀地安置 10 个简易雨量桶, 用于收集穿透降水。简易雨量桶用铁皮制作, 内径 20 cm, 高 30 cm。以径阶选择 10 株刺槐(中间径阶选 2 株, 其他径阶选 1 株)。将聚乙烯或胶皮管从直径处剖开, 在树干上(树皮被修整光滑)螺旋形地围绕 2~3 圈, 用万能胶和玻璃泥密封, 下部接入塑料桶收集干流。雨后及时观测干流量和穿透降水量, 推算出林冠截留量。

## 3 水分传输模拟

### 3.1 Coup Model 模型描述

Coup Model 由瑞典皇家技术研究所 Per-Erik Jansson 为首的科学家在 20 世纪 80 年代开发。这是一个沿用已久的 SVAT 模型, 由 SOIL 和 SOILN 两个模型集成而来, 已经数次被修正<sup>[3]</sup>。主要用来模拟土壤-植被-大气传输系统水、热过程和碳氮的生物过程, 在国外得到广泛应用。模型的核心是两个耦合的水热流偏微分方程, 遵循质量和能量守恒定律, 假定流动是由水势梯度(Darcy's Law)和温度梯度(Fourier's Law)产生的, 用有限差分法求解方程<sup>[4]</sup>。模型的一个重要优点是是使用有限的输入数据取得较为合理满意的模拟结果<sup>[7]</sup>。

3.1.1 土壤水过程 土壤水流过程的模拟主要基于达西定律和水量平衡方程:

$$q_w = -k_w \left[ \frac{\partial \Psi}{\partial z} - 1 \right] - D_v \frac{\partial C_v}{\partial z} + q_{\text{bypass}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q_w}{\partial z} + s_w \quad (2)$$

式中,  $q_w$  是水流量;  $k_w$  是非饱和导水率;  $\Psi$  是水势;  $z$  是土层深度;  $C_v$  是土壤空气中的水汽浓度;  $D_v$  是土壤中水汽扩散系数;  $q_{\text{bypass}}$  是大孔隙流;  $\theta$  是土壤体积含水量;  $s_w$  是源项。

3.1.2 植被冠层对降水的截留 植被冠层截留量用一个简单的临界公式计算:

$$I = \min \left[ P(1 - f_{th,d}), \frac{(S_{i,\max} - S_i(t-1))}{\Delta t} \right] \quad (3)$$

式中,  $I$  为截留量;  $P$  为降水量;  $f_{th,d}$  为直接穿透降水占总降水量的分数;  $S_{i,\max}$  为截留容量;  $S_i(t-1)$  为前期截留剩余储水量。

3.1.3 地表径流

$$q_{\text{surf}} = \alpha_{\text{surf}}(W_{\text{pool}} - w_{p,\max}) \quad (4)$$

式中,  $q_{\text{surf}}$  是地表径流;  $W_{\text{pool}}$  是地表洼陷中的总水量;  $w_{p,\max}$  是地表洼陷最大蓄水量;  $\alpha_{\text{surf}}$  是经验系数。

3.1.4 土壤蒸发 土壤蒸发基于改进的 Penman-Monteith 方程计算:

$$L_v E_s = \frac{\Delta(R_{ns} - q_h) + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_{as}}{\Delta + \gamma(1 + r_{ss}/r_{as})} \quad (5)$$

式中,  $E_s$  为土壤蒸发量;  $R_{ns}$  为地表净辐射通量;  $q_h$  为土壤热通量;  $\rho_a$  为空气密度;  $C_p$  为空气定压比热容;  $e_a$  为实际饱和水汽压;  $e_s$  为饱和水汽压;  $r_{as}$  为地表空气动力学阻抗;  $r_{ss}$  为地表阻抗;  $L_v$  为蒸发潜热;  $\Delta$  为平均气温时的饱和水汽压曲线斜率;  $\gamma$  为干湿表常数。

3.1.5 植被蒸腾 植被的潜在蒸腾也是用改进的 Penman-Monteith 方程计算:

$$L_v E_{tp} = \frac{\Delta R_n + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s/r_a)} \quad (6)$$

式中,  $E_{tp}$  为潜在蒸散量;  $R_n$  为植被冠层净辐射通量;  $r_a$  为空气动力学阻抗;  $r_s$  为冠层表面阻抗。

实际蒸腾量根据下式计算:

$$E_{ta} = E_{ta}^* + f_{\text{umov}} \times (E_{tp}^* - E_{ta}^*) \quad (7)$$

$$E_{ta}^* = E_{tp}^* \int_{z_r}^0 f(\Psi(z)) f(\tau(z)) f(T(z)) r(z) \quad (8)$$

$$E_{tp}^* = \max \left[ 0, E_{tp} - E_{ia} / e_{ra} \right] \quad (9)$$

式中,  $E_{ta}$  为实际蒸腾量;  $E_{ta}^*$  为不考虑补偿吸水的蒸腾量;  $E_{tp}^*$  为截留蒸发折减后的潜在蒸腾量;  $f_{\text{umov}}$  为根系吸水补偿度;  $z_r$  为根系深度;  $f(\Psi(z))$ 、 $f(\tau(z))$  和  $f(T(z))$  分别为土壤水势、渗透势和土壤温度的响应函数;  $r(z)$  为相对根系密度分布;  $E_{ia}$  为截留蒸发量;  $e_{ra}$  为截留潜在蒸发量与潜在蒸腾量之比。

3.1.6 深层渗漏 土壤剖面非饱和和下边界的水流通量用下式计算:

$$q_{\text{deep}} = k_{\text{wlow}} \tag{10}$$

式中, $q_{\text{deep}}$  是深层渗漏; $k_{\text{wlow}}$  是土壤剖面最下层土壤的非饱和导水率。

3.2 模型参数设置

模拟从 2006 年 6 月 1 日开始至 9 月 30 日结束

(农地马铃薯生育期)。土壤分为 31 层,土壤水分的模拟深度为 600cm。农地植被为 1 层,刺槐林地植被分为刺槐林冠层和林下植被 2 层。模型调试过程中调整了部分参数值(见表 1),其他参数均为模型的默认值。

表 1 模型中被调整的参数

Table 1 The parameters adjusted in the simulations

| 项目<br>Items                                            | 刺槐林<br>Acacia forest | 农地<br>Farmland | 来源<br>Source              |
|--------------------------------------------------------|----------------------|----------------|---------------------------|
| Water capacity base 植被冠层截留容量 (mm)                      | 2.3                  | 0.5            | 校正 Calibrated             |
| Water capacity per LAI 单位叶面积指数持水量 (mm/m <sup>3</sup> ) | 0.15                 | 0.15           | 文献 [8] Literature         |
| Direct throughfall 直接穿透降水占总降水量的分数                      | —                    | 0.3            | 测定 Measured               |
| Flexibility degree 根系吸水补偿度                             | 0.9                  | 0.6            | 校正 Calibrated             |
| Crit threshold dry 根系吸水折减临界水头 (cm)                     | 1000                 | 1000           | 校正 Calibrated             |
| Cond VPD 叶气孔半开时的水气压差 (Pa)                              | 200                  | 300            | 校正 Calibrated             |
| Psi Rs -1p 表征地表阻抗与最上层土壤水势关系的经验系数                       | 500                  | 200            | 校正 Calibrated             |
| Albedo dry 干土反照率 (%)                                   | 25                   | 25             | 文献 [9] Literature         |
| Plant Albedo 植被反照率 (%)                                 | 15                   | 20             | 文献 [10] ~ [12] Literature |
| Prec A QCorr 降雨量校正因子                                   | 1.08                 | 1.08           | 测定 Measured               |
| Alt of sim position 试验地海拔 (m)                          | 1195                 | 1235           | 测定 Measured               |
| Latitude 试验地纬度 (°)                                     | 36.5                 | 36.5           | 测定 Measured               |
| Organic layer thickness 有机质层厚 (cm)                     | 2.2                  | 0              | 测定 Measured               |
| Root depth 最大根深 (m)                                    | 7                    | 0.9            | 文献 [13] [14] Literature   |
| Canopy height 冠高 (m)                                   | 11.85                | 0~0.5          | 测定 Measured               |
| LAI 叶面积指数 (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )            | 0~5.4                | 0~3.5          | 测定 Measured               |

3.3 模拟结果的验证

值进行比较来检验模型的模拟效果(见图 1)。

以 10、50 和 200cm 土壤水分的实测值和模拟

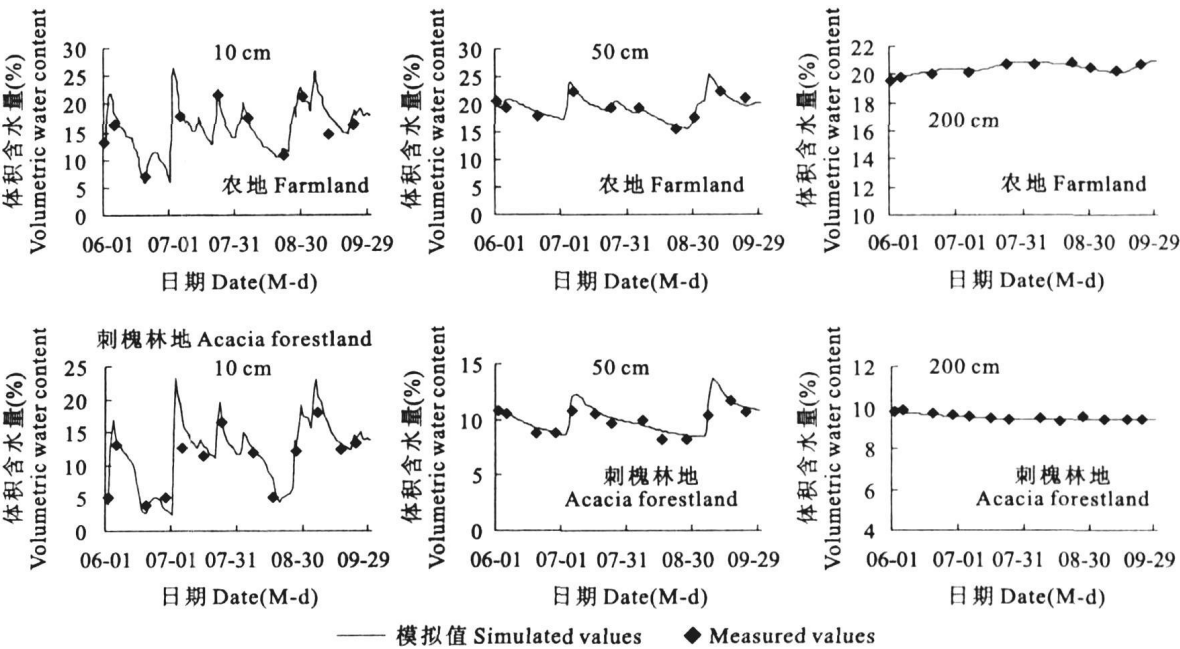


图 1 土壤水分的实测值和模拟值对比

结果显示,模拟值与实测值非常吻合。农地 10、50 和 200cm 土壤水分的实测值和模拟值直线回归的决定系数分别为 0.92、0.80 和 0.94,均方根误差(RMSE)分别为 0.67、0.12 和 0.04;刺槐林地 10、50 和 200cm 土壤水分的实测值和模拟值直线回归的决定系数分别为 0.97、0.82 和 0.83,均方根误差分别为 0.59、0.28 和 0.10,说明 Coup Model 模型模拟结果是可靠的。

4 结果与分析

黄土丘陵区地下水位较深,一般没有灌溉,SVAT 系统中的水分主要来自于大气降水。植被储水只占大气降水的很小一部分,本文忽略不计。SVAT 系统中,大气与植被、植被与土壤、大气与土壤界面之间水分传输的平衡方程可表示为:

$$P = I + q_{surf} + E_s + E_{ta} + q_{deep} + \Delta S \quad (11)$$

式中,ΔS 为土壤储水增量;其他量的意义同前方程。大气降水到达植被冠层后被截留一部分后,以干流和穿透降水的形式到达土壤表面。到达地表的水量再分配为地表径流和土壤渗入量。进入土壤的水分主要消耗于土壤蒸发、植被蒸腾、深层渗漏以及增加土壤储水。模拟期间试验地均未发生径流,因此仅

对截留量、土壤蒸发量、蒸腾量、深层渗漏、土壤储水增量进行分析。

4.1 降水

2006 年 6~9 月份试验地降水 341.06 mm(校正后降水量),为同期延安市多年平均值的 89.35%。各月降水分布为:6 月降水 54.65 mm,7 月 133.27 mm,8 月 81.00 mm,9 月 72.14 mm。7 月降水较为充沛,8 月降水偏少,分别为同期延安市多年平均值的 115.10%、67.76%,降水季节分配极不均(见图 2)。

4.2 植被冠层截留

模拟结果(见图 3)显示,试验期间刺槐林地植被冠层截留量为 94.77 mm,其中刺槐林冠截留 58.44 mm,林下植被截留 36.33 mm;农地马铃薯冠层截留 24.69 mm,仅为刺槐林群落总截留量的 26.05%。6~9 月份林外降水 341.06 mm,实测刺槐林冠层截留量 56.71 mm,林内降雨 284.35 mm。马铃薯 6 月 7 日出苗,10 月 1 日收获,生长 116 d,且叶面积指数比刺槐林群落小,因此截留量较小。试验地刺槐林为阴坡,林下有黄刺梅、杠柳、悬钩子、蒿草等多种草灌,植被生长茂密,截留量比农地稍大。

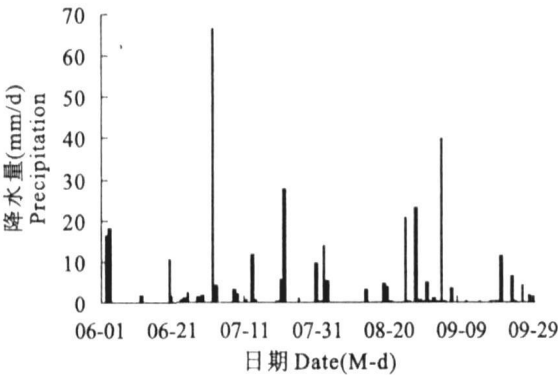


图 2 试验地降水量

Fig. 2 The precipitation in experimental plots

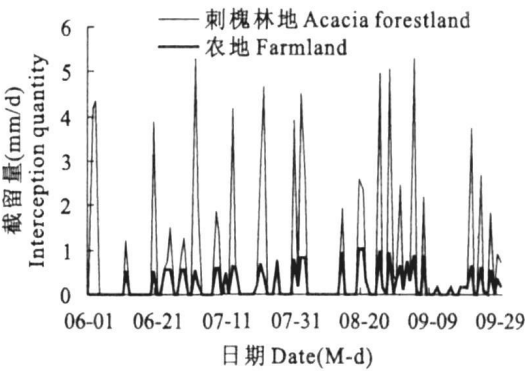


图 3 植被冠层截留量

Fig. 3 The interception quantity of vegetation

4.3 土壤蒸发

模拟期间农地蒸发量为 125.61 mm,刺槐林地 为 104.09 mm。由图 4 可以看出,7 月中旬以前农地蒸发量明显高于刺槐林地,7 月中旬以后相差不大。7 月中旬以前农地马铃薯较小,覆盖度低,地表裸露面积大,土壤水分易于蒸发,而刺槐林地 7 月中旬以前郁闭度已经较高,地表接受的可用于蒸发的能量较少,因此蒸发量显著低于农地。7 月中旬以后随着农地马铃薯覆盖度的增加,土壤水分蒸发强度逐渐下降,与刺槐林地基本一致。模拟期间农地

和刺槐林地土壤日蒸发量均表现为前期(9 月 1 日以前)逐渐减少、后期略有增加的趋势;而且农地变化较为剧烈,刺槐林地变化缓和。

4.4 植被蒸腾

模拟期间刺槐林日蒸腾量显著高于刺槐林下植被和农地马铃薯,而且变幅较大。农地随马铃薯的生长蒸腾强度逐渐增大,7 月下旬~8 月中旬达到高峰,然后随着马铃薯的成熟蒸腾强度逐渐减弱。由图 2 和图 5 看出,刺槐的蒸腾强度与降水量密切相关,降水量大时蒸腾强度显著增大。这主要是因为

刺槐林地土壤比较干燥限制了刺槐的蒸腾耗水,降雨后土壤水分增加,刺槐蒸腾随之增加。农地土壤水分较高,土壤供水可使马铃薯正常生长,所以马铃薯蒸腾受降水限制微弱,主要与自身生长需水有关。

刺槐林下植被受刺槐林冠的遮掩,林下植被冠层获得的净辐射较小,林内气温、风速、湿度等变化缓和,因此林下植被蒸腾强度表现为季节变化不明显,蒸腾强度小而且变化较为缓和。

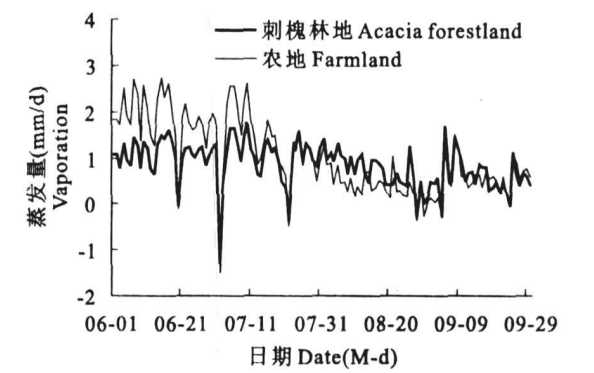


图 4 土壤蒸发量

Fig. 4 The evaporation of far mland and forestland

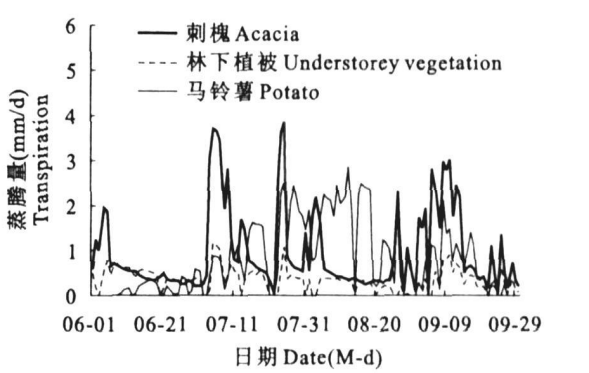


图 5 植被蒸腾量

Fig. 5 The transpiration of far mland and forestland

4.5 深层渗漏

黄土丘陵区黄土层深厚,地下水埋藏较深,模拟土壤剖面(600cm 深)的下边界为不饱和状态,最下层土壤中水分的运动通常是以水势梯度为主的非饱和水流,其流动速度与土壤湿度关系密切。土壤湿度越大,非饱和导水率也越大。农地 560~600cm 土层(最下一层)体积含水量为 18.51%,刺槐林地 为 7.85%,农地非饱和导水率较高,土壤水分移动较快,有较多的水分从模拟土壤剖面中移动出去。模拟结果表明,模拟期间刺槐林地深层渗漏量仅 0.00154 mm,可忽略不计,农地为 4.08 mm。

4.6 土壤储水变化

降水是试验地土壤水分的唯一补给源。来自大气的降水渗入土壤的部分经蒸发、蒸腾、深层渗漏后多余的水分储存于土壤水库中,对植被需水起到调节作用。农地在干旱的 6 月中旬和下甸土壤储水量轻微减少(见图 6),7 月 1 日以后土壤水库很快得到充分的降水补偿,储水量增加,总体上 6~9 月份 0~600cm 土层增加储水量 89.79 mm。刺槐林地在 6 月上旬、7 月上旬和下甸、9 月上旬土壤储水量有所增加,其余时间土壤水分一直处于负补偿状态。虽然经过雨季的补充,但刺槐林地 600cm 土层储水仍然减少了 16.34 mm。

4.7 SVAT 系统水分传输平衡

农地和刺槐林地SVAT 系统各界面之间水分传输过程见图 7。6~9 月份农地水分主要消耗于土壤蒸发和植被蒸腾,占降水量的 65.24%,72.48% 的降水通过蒸发(土壤蒸发和截留蒸发)、蒸腾进入

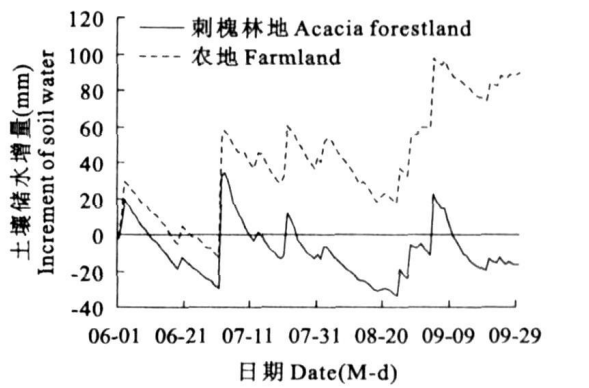


图 6 土壤储水量变化

Fig. 6 The change of soil water storage

大气,27.52%的降水用于增加土壤储水。刺槐林地水分主要消耗于截留蒸发、土壤蒸发和植被蒸腾并以气态形式返回大气,为降水量的 1.05 倍,不仅消耗了全部降水,还消耗了土壤水库中的部分水分。植被有效利用的水分主要为蒸腾量,截留蒸发和土壤蒸发是无效耗水,刺槐林和农地马铃薯对降水的利用率分别为 46.48%和 28.41%。SVAT 系统中水分的收入刺槐林地和农地均为 341.06 mm,支出分别为 357.41 mm 和 251.28 mm,刺槐林地是农地的 1.42 倍。刺槐林的截留蒸发量和蒸腾量是农地的 2.08 倍,显著大于农地,是引起刺槐林群落过度消耗土壤储水而呈现负补偿现象的主要原因。可见,农地退耕还林后会增加SVAT 系统水分支出,如果植被群落耗水过大很有可能使土壤干化。

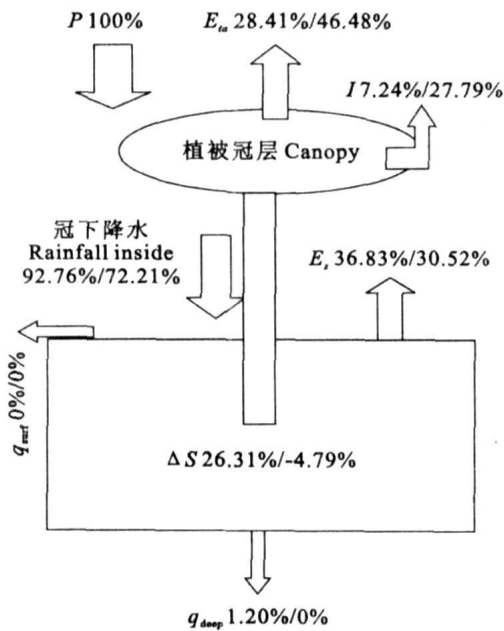


图 7 SVAT 系统水分传输示意图

Fig. 7 The schematic structure of water transfer in SVAT system

注：“/”前后数字分别为农地和刺槐林地的数值。

Note: The figures before and after “/” stand for the values of farmland and forestland respectively.

## 5 结 论

1) 6~10 月份农地马铃薯截留降水 24.69 mm, 刺槐林群落截留 94.77 mm, 马铃薯仅为刺槐林群落的 26.05%。

2) 6~10 月份农地蒸发量为 125.61 mm, 刺槐林地 104.09 mm。7 月中旬以前农地日蒸发量明显高于刺槐林地, 7 月中旬以后基本相等。农地和刺槐林地土壤日蒸发量均表现为前期 (9 月 1 日以前) 逐渐减少、后期略有增加的趋势。农地蒸腾量为 96.89 mm, 刺槐林地 158.54 mm。刺槐日蒸腾量显著高于刺槐林下植被和农地马铃薯, 而且变幅较大。

3) 6~10 月份农地和刺槐林地均没有发生地表径流。农地土壤深层渗漏 4.08 mm, 刺槐林地深层渗漏极小, 可忽略不计。农地 600 cm 土层增加储水量 89.79 mm; 刺槐林地减少 16.34 mm, 出现负补偿现象。

4) SVAT 系统中, 刺槐林地和农地水分收入均为 341.06 mm, 支出分别为 357.41 mm 和 251.28

mm, 刺槐林地是农地的 1.42 倍。刺槐林和农地对降水的利用率分别为 46.48% 和 28.41%, 同期蒸腾耗水率分别为 60.37% 和 43.55%。刺槐林的截留蒸发量和蒸腾量是农地的 2.08 倍, 显著大于农地, 是导致刺槐林群落过度消耗土壤储水而呈现负补偿现象的主要原因。

**致谢:**模型应用过程中得到张树兰老师的精心指导, 表示衷心感谢。

## 参 考 文 献:

- [1] 杨文治, 韩仕峰. 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境 [J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1985, (2): 18—28.
- [2] 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.
- [3] 刘普灵, 郑世清, 琚彤军, 等. 黄土高原燕沟流域生态环境建设模式及效益研究 [J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 88—91.
- [4] 徐 勇, Roy C. Sidle. 黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控 [J]. 地理学报, 2001, 56(6): 657—666.
- [5] Christiansen J R, Elberling B, Jansson P E. Modeling water balance and nitrate leaching in temperate Norway spruce and beech forests located on the same soil type with the Coup Model [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 237: 545—556.
- [6] Jansson P E, David S M. A coupled model of water, heat and mass transfer using object orientation to improve flexibility and functionality [J]. Environmental Modeling & Software, 2001, 16: 37—46.
- [7] Jansson P E, Karlberg L. Coupled Heat and Mass Transfer Model for Soil-Plant-Atmosphere Systems [M]. Stockholm: Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, 2004.
- [8] Manzi A O, Pianto S. Implementation of the ISBA parametrization scheme for land surface processes in a GCM—an annual cycle experiment [J]. Journal of Hydrology, 1994, 155(3—4): 37—46.
- [9] Zhang S L, Lars Lovdahl, Harald Grip, et al. Modelling the effects of mulching and fallow cropping on water balance in the Chinese Loess Plateau [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(2): 283—298.
- [10] 贺康宁, 田 阳, 张光灿. 刺槐日蒸腾过程的 Penman—Monteith 方程模拟 [J]. 生态学报, 2003, 23(2): 251—258.
- [11] 徐 明, 贺庆棠. 几种植被能量平衡的差别 [J]. 华北农学报, 1994, 9(2): 81—87.
- [12] 贺庆棠. 气象学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [13] 薛智德, 杨 光, 梁一民, 等. 燕儿沟人工植被营造模式与快速建设研究 [J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 128—132.
- [14] 白雅梅. 马铃薯的需水特性及水分胁迫对其生理特性的影响 [J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(2): 117—120.

(英文摘要下转第 32 页)

Slope soil moisture environment of acacia forestland of the Loess Plateau

MENG Qin qian<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>, WU Fa qi<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>. College of Water Conservancy and Architectural Engineering ;

<sup>2</sup>. College of Environment and Resources , Northwest A & F University , Yangling Shannxi 712100, China)

**Abstract :** Based on the measurement of soil moisture in different depths for slope acacia forestland and slope farmland of Chunhua County , Yan 'an Prefecture and Mizhi County of Shaanxi Province in China 'a Loess Plateau ,the soil moisture environment characters for slope acacia forestland is analyzed subsequently . The results show that the soil moisture content of slope forestland is less than slope farmland from 8.5% , 31.2% to 34.2% separately in Chunhua , Yan 'an and Mizhi . The results indicate that the soil moisture content of Chunhua is little higher than Yan 'an and Mizhi . With the increase of stand density and age , slope soil moisture content gets lower . Also the soil moisture of shadow side is obviously higher than that of the sunny side . Only the soil moisture in 0~40cm depth from the soil surface should be influenced and fluctuated by the precipitation in the satiation of a continual drought season while the 100~200cm depth soil moisture under soil surface takes on a successive depletion and the depth can not be influenced .

**Key words :** acacia forest ;loess plateau ;soil moisture

( 上接第 22 页)

Water transfer simulation in SVAT system of farmland and forestland in the loess hilly region

WEI San ping<sup>1,2,3</sup>, WANG Li<sup>1,2\*</sup>, WU Fa qi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>. College of Resources and Environment , Northwest A & F University , Yangling , Shaanxi 712100;

<sup>2</sup>. Institute of Soil and Water Conservation , CAS & MWR , Yangling , Shaanxi 712100;

<sup>3</sup>. Shanxi Institute of Soil and Water Conservation Science , Lishi , Shanxi 033001, China)

**Abstract :** In the loess hilly region in northern Shaanxi Province from June to September ,the Simultaneous Heat and Water ( Coup Model ) model was applied to simulate and study water transfer of Soil -Vegetation -Atmosphere Transfer (SVAT) system in the acacia forest and the potato farmland . The simulation indicated that during the experimental period the interception quantity of potato was only 26.05% of the acacia community . The total evaporation of farmland was greater than that of acacia forestland . The daily evaporation of farmland was obviously higher than that of acacia forestland before the middle of July and they were almost equal after the middle of July . The daily transpiration and its variation of acacia forestland were markedly greater than that of farmland and understory vegetation . No surface runoff took place in farmland and acacia forestland . The deep percolation in farmland was 4.08mm and that in acacia forestland was so little that it could be neglected . The soil water storage of 600cm depth in farmland increased by 89.79 mm while that in acacia forestland decreased by 16.34 mm . The water incomes of SVAT system in farmland and acacia forestland both were 341.06 mm , and the outgoing were 357.41 mm , 251.28 mm respectively e .g . the former was 1.42ti mes greater than the later . The utilization rate of precipitation in farmland and acacia forestland was 46.48% , 28.41% respectively . The interception evaporation and transpiration in acacia forestland was 2.08ti mes larger than it in farmland , which were the main reasons to lead to excessive consumption of the acacia community to soil water and a negative compensation phenomenon for soil water storage .

**Key words :** SVAT system ;farmland ;forestland ;water transfer ; Coup Model ;loess hilly region