

延安油松人工林地水分生产力与土壤干燥化效应模拟研究

赵玉娟^{1a}, 李 军^{1b, 2}, 王学春^{1b}, 李小芳^{1b}, 邵明安²

(1 西北农林科技大学 a. 资源环境学院; b. 农学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 在 EPIC 模型模拟精度验证基础上, 应用 EPIC 模型定量模拟研究了延安 45 年(1957~2001 年)实时气象条件下, 油松人工林地的水分生产力、10 m 土层土壤有效含水量的变化动态和土壤湿度剖面分布特征, 以揭示较长时段内油松人工林地的水分生产力变化规律和土壤干燥化效应。模拟结果表明: (1) 1~13 年生(1957~1969 年)油松人工林水分生产力变化受降水量的影响不大, 土壤水分足够维持油松较高的生产力, 生物量平均值为 3.1 t/hm²; 14~45 年生(1970~2001 年)油松人工林水分生产力呈波动性下降趋势, 其波动与降水量波动呈相同的趋势, 生物量平均值为 2 t/hm²。(2) 延安油松人工林地 0~10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值, 模拟前期(1~8 年生)在较高(1300~1490 mm)水平上波动, 模拟中前期(9~15 年生)呈现明显的逐年降低趋势, 土壤干燥化趋势十分强烈, 模拟中后期(16~43 年生)在较低水平上(0~180.0 mm)波动, 模拟后期(44~45 年生)油松死亡后土壤有效含水量逐年上升。(3) 随着油松生长年限的延长和根系扎深, 油松林地土壤的干层逐年加深和加厚; 14 年生以后, 1~10 m 深层土壤湿度稳定维持在每米土层 0.12 m 左右的含水量状态, 表明油松人工林地 1~10 m 土层已经全部干燥化。综上所述, 延安油松人工林地水分持续利用的最大年限为 15 年左右。

[关键词] 油松人工林; 水分生产力; 土壤干燥化; EPIC 模型; 延安

[中图分类号] S718.51⁺6

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)07-0061-08

Simulation of water productivity and soil desiccation of artificial *Pinus tabulaeformis* forestland on the Loess Plateau

ZHAO Yurjuan^{1a}, LI Jun^{1b, 2}, WANG Xuechun^{1b}, LI Xiaofang^{1b}, SHAO Ming'an²

(1a. College of Resources Environment; b. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on precision validation of the EPIC model, dynamic changes of water productivity of biomass, available soil water amount in 0–10 m soil layers and soil moisture distribution in soil profile of artificial Chinese pine tree (*Pinus tabulaeformis* Carr.) forestland in the north Shaanxi were simulated with EPIC model in 45 years period, to uncover the law for changes of water productivity and soil's desiccating efficiency. The results showed that: (1) Water productivity of 1 year-old to 13 year-old artificial forest was influenced slightly by the rainfall and the soil water content was enough for persistent high productivity, the average annual biomass was 3.1 t/hm²; and water productivity of 14 year-old to 45 year-old (1970–2001) artificial forests declined with fluctuation gradually, its trend was similar with rainfall, its average

* [收稿日期] 2006-12-25

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(40371077; 30471024)

[作者简介] 赵玉娟(1978–), 女(锡伯族), 新疆伊犁人, 在读硕士, 主要从事农业生产系统模拟研究。E-mail: zyjhbw@126.com

[通讯作者] 李 军(1964–), 男, 甘肃泾川人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业生态、高效农作制度和农业生产系统模拟研究。

E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

was 2 t/hm², and it was zero in last several years. (2) Simulated available soil water amount in 0–10 m soil layers fluctuated at high level (1 300–1 490 mm) with the change of the rainfall in 1–8 years growth period, and decreased significantly with strong soil desiccation during 9–15 years growth period, and it was at low level (0–180.0 mm) in 16–43 years growth period, and increased again in 40–45 years after the tree died. (3) Thickness and distributed depth of desiccated soil layers on artificial forests increased gradually as artificial forest aged and root distribution depth increased, and the 1–10 m soil layers water content maintained at the level of 0.12 m/m (less than 0.16 m/m), which indicated that the 1–10 m soil layers of the forestland was in a strong desiccated condition. To sum up, a reasonable growth age for soil water sustainable use of artificial forests in Yan'an was 15 years.

Key words: artificial *Pinus tabulaeformis* forest; water productivity; soil desiccation; EPIC model; Yan'an

油松(*Pinus tabulaeformis*)为生长速度中等的乔木树种,根系发达,耐干旱、瘠薄,适应性强^[1],同时具有很好的保持水土、涵养水源及改良土壤的作用,被认为是黄土高原地区退耕还林工程中的优良树种。自20世纪60年代以来,陕北地区营造了大面积油松人工林,但在经营过程中出现了许多问题,其中包括林地出现的土壤干层,如在半湿润的陕西宜川,梁顶25年生油松人工林地,地表以下2~6 m存在着一个厚度至少在4 m以上的土壤干层^[2]。近年来,有关黄土高原油松人工林地的研究,主要集中在短期水分平衡和养分循环观测方面^[3],对油松林地水分生产力和土壤水分动态变化的长期观测研究鲜见报道。考虑到油松生长周期较长、林地土壤水分利用深度较深、定位试验观测难度较大,本研究应用美国研制的环境政策综合气候模型WinEPIC(3060版),定量模拟延安油松人工林地水分生产力和深层土壤水分的长周期变化动态,以揭示较长时段内油松人工林地的水分生产力变化规律和土壤干燥化效应,以为陕北地区油松人工林地建设和林地土壤水分可持续利用提供科学依据。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

延安市位于典型的半湿润半干旱黄土丘陵区,其地理坐标为E109°00′~109°45′,N36°55′~36°20′,总面积约1 162 km²,全区海拔900~1 400 m,气候属于暖温带半湿润半干旱季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干旱。年均气温8.5~9.5℃,无霜期165~190 d。多年平均降水量约520~550 mm,且分配不均;年降水多集中在7~9月,且暴雨较多。土壤多为黄绵土^[4]。区内植被主要有侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杨树(*Populus*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides L.*)、柠条(*Caragana microphylla*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens Pall*)、山杏(*P. armeniaca*)和山杨(*Populus davidiana*)等。

1.2 WinEPIC 模型简介

土壤侵蚀和生产力影响计算模型EPIC(Erosion Productivity Impact Calculator),又称为环境政策综合气候模型(Environmental Policy Integrated Climate),是美国于1984年研发的定量评价“气候-土壤-作物-管理”综合系统的动力学模型,自研发以来在世界范围内经过了多次修订和广泛验证,成为较有影响的水土资源管理和作物生产力评价模型之一。EPIC模型由气象模拟、水文学、侵蚀泥沙、营养循环、农药残留、作物生长、土壤温度、土壤耕作、经济效益和作物环境控制等模块组成,包含了350多个数学方程。其中作物生长模型是作物生长的通用模型,根据各种作物生理生态过程的共性研制模型的主体框架,再结合作物的生长参数和田间管理参数分别进行各作物的生长模拟。本研究采用的WinEPIC 3060版,是能够在Windows环境下运行的、用户界面友好的新一代EPIC模型,适用于作物生产系统的综合性模拟分析和应用研究,模型对土壤水分动力学过程描述比较细致,可以输出逐日分层土壤水分模拟结果,特别适合于旱地土壤水分生态环境效应的模拟和分析^[5-7]。在国内,EPIC模型在计算黄土塬区1年生作物和多年生苜蓿草地水分生产潜力及土壤水分动态上已有应用,并且效果较好^[6,8]。

1.3 模型数据库建设

在应用EPIC模型之前,首先需要建立延安地区模型运行的数据库。EPIC模型运行所需的数据库包括逐日气象要素序列数据库、土壤剖面理化性

状数据库、作物生长参数数据库等。

1.3.1 气象数据库数据输入 气象数据库中数据输入包括逐日气象数据输入和逐月气象统计要素参数输入。将收集到的延安试区 1957~2001 年共 45 年的气象数据(逐日太阳辐射、最高气温、最低气温、降水量、相对湿度和风速),在 Excel 中按照 EPIC 模型要求的格式处理后,导入模型气象数据库中,建成逐日实时气象数据库。逐日实时气象数据库将用在实际时段的模拟研究中。

以延安 1957~2001 年实时气象数据(主要来源于延安气象局)为基础,应用模型自带的 WXPARM 软件计算出试区逐月气象要素的统计参数,包括逐月最高气温(TMX)、逐月最低气温(TMN)、逐月最高气温标准差(SDMX)、逐月最低气温标准差(SDMN)、逐月平均降水量(PRCP)、逐月日降水量标准差(SDRF)、逐月日降水量偏态分布系数(SKRF)、逐月雨天之后为晴天的概率(PWID)、逐月雨天之后为雨天的概率(PWIW)、逐月平均降雨日数(DAYP)、逐月平均每日太阳辐射量(RAD)、逐月平均相对湿度(RHUM)等。将逐月气象要素统计参数编入试区气象数据库后,模型可以应用逐月气象要素统计参数,模拟生长时段的逐日气象要素序列,以用于本区油松人工林地水分生产力和土壤水分动态变化的长时段模拟研究。

1.3.2 土壤数据库数据输入 EPIC 模型的土壤数据库需要输入的参数主要有:试区代表地形资料(包

表 1 EPIC 模型中油松的部分重要生长参数修订值

Table 1 Some important revised crop parameters of *Pinus tabulaeformis* in the EPIC model

参数名称 Parameter names	参数的意义 Meanings of parameters	参数取值 Parameters
CPNM	作物名称 Crop Name	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
WA	潜在生物量-能量比率 Energy to biomass conversion factor	16 t/(hm ² ·MJ)
HI	收获指数 Harvest efficiency	0.75
TB	作物生长最适温度 Plant growth	17 °C
TG	作物生长最低温度 Minimum temperature for plant growth	2 °C
DMLA	最大潜在叶面积系数 Maximum leaf area index	5.0
RLAD	叶面积下降参数 Leaf area index decline rate parameter	1.0
RBMD	生物量-能量比率 Biomass energy ratio decline rate parameter	1.0
DLAP2	当达到作物整个生长季的 25% 时,叶面积系数达到最大叶面积的 90.0% Leaf area index development parameters before	25.90
GSI	最大气孔导度 Maximum stomatal conductance	0.005 m/s
CAF	土壤临界通气状况因子 Critical aeration factor	0.85
SDW	播种量 Normal planting rate	80 kg/hm ²
HMX	最大株高 Maximum crop height	20 m
RDMX	最大根深 Maximum root depth	10 m
WAC2	未来大气 CO ₂ 浓度达到 660 mL/L 时,WA 为 14 The carbon dioxide concentration in future atmosphere is 660 ml/L, so the resulting WA value is 14	14
RWPC1	出苗时根重系数 Root weight/biomass partitioning coefficient	0.4
RWPC2	成熟时根重系数 Root weight/biomass partitioning coefficient(2)	0.2

括坡度、坡向、坡长等)和典型土壤剖面各层次的理化性状参数,主要包括土层厚度(m)、容重(t/m³)、凋萎湿度(m/m)、田间持水量(m/m)、沙粒含量(%)、粉沙粒含量(%)、有机氮浓度(g/t)、pH 值、离子总量(cmol/kg)、有机碳含量(%)、CaCO₃ 含量(%)、阳离子代换量(cmol/kg)、粗砾含量(%)、硝态氮浓度(g/t)、速效磷浓度(g/t)、作物残茬(t/hm²)、土壤比重等。由于油松根系分布较深,林地耗水深度超过 10 m,本研究参考《陕西土壤》^[9]、《山西土壤》^[10]和《中国土种志》^[11]中的黄绵土剖面特征,将延安试区的黄绵土土层厚度扩展到 10 m,并划分为 10 个土层,各土层深度依次为 0~0.01, 0.01~0.1, 0.1~0.3, 0.3~0.5, 0.5~1, 1~2, 2~3, 3~4, 4~8 和 8~10 m,输入各层的土壤理化性质参数。其中,黄绵土的凋萎湿度为 4.2%,田间持水量为 20%。

1.3.3 作物参数数据输入 EPIC 模型作物参数数据库中的每种作物都有唯一的生理生态参数集,通过设定作物参数控制作物的生长发育进程,描述阶段发育与形态发育状况,计算作物对土壤水分、养分的吸收数量,估算温度、水分、氮素和磷素对生物量积累和经济产量形成的胁迫。本研究依据 EPIC 模型中多年生树木生长参数取值,并参考黄土高原相关文献中油松生理生态实测数据^[12],对试区油松的最大叶面积系数、最低生长温度、最适生长温度、最大株高、最大根深等 39 个生理生态参数进行了设定,表 1 为油松模拟研究中部分重要的生长参数。

1.4 模型验证

为了验证 EPIC 模型对陕北地区油松人工林生物量的模拟精度,本研究应用所组建的延安 1957~2026 年逐日气象数据库(前 45 年为实时气象数据,后 25 年以 1957~2001 年的实时气象数据为基础,由 EPIC 模型模拟生成逐日气象要素序列)、10 m 土层土壤数据库以及修订的作物参数数据库运行模型,得到 1957~2026 年油松人工林累积生物量的模拟结果,将模拟所得的累积生物量与陕北地区 20~70 年生油松林分生物量观测值进行比较,结果如图 1 所示。油松人工林累积生物量观测值是经过密度和林龄订正后的生物量平均值,油松种植密度为 $1\ 000\text{株}/\text{hm}^2$ ^[13]。由图 1 可知,不同林龄油松林生物量模拟值和观测值吻合程度较高,只有 50~60 年生油松生物量模拟值稍高于观测值。经检验,20~70 年生油松林地生物量模拟值与观测值的平均值分别为 $182.3\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $166.8\text{t}/\text{hm}^2$,二者相对误差为 9.29%,相关系数为 0.989,达到极显著水平。表明 EPIC 模型能较为精确地模拟陕北地区油松的累积生物量。

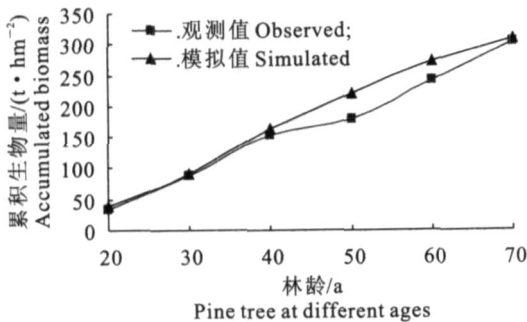


图 1 陕北油松人工林累积生物量模拟值与观测值的比较

Fig. 1 Simulated and observed accumulated biomass of *Pinus tabulaeformis* in north Shaanxi

由于缺乏油松林地土壤水分长周期连续定位观测数据,对不同生长年限油松林地土壤水分模拟精度验证比较困难。本研究利用 EPIC 模型对黄土高原小麦、玉米、苜蓿以及柠条林地土壤水分利用与变化的动态模拟结果显示,渭北旱塬冬小麦和春玉米 3 m 土层土壤含水量模拟值和观测值之间的相对误差分别为 11.7% 和 -16.0%,相关系数分别为 0.859 和 0.831,均达到极显著水平;宁夏固原苜蓿草地 8 m 土层和柠条林地 5 m 土层土壤含水量模拟值与观测值之间的相对误差分别为 -17.97% 和 -3.73%,亦均达到极显著水平,表明 EPIC 模型能

够较好地模拟农田和林地的水分利用过程。

2 模拟结果与分析

2.1 1957~2001 年陕北油松人工林地水分生产力的变化动态

2.1.1 实时降水特征 1957~2001 年,延安降水量为 330.0~871.7 mm,平均值为 535.0 mm,呈现明显的波动性降低趋势,标准差为 127.05,变异系数为 23.75%(图 2)。根据陕北地区的实际水文状况和陈兵等^[6]的划分方法,本研究将 1957~2001 年降水量进行了划分: $\geq 550\text{mm}$ 为丰水年, $\leq 400\text{mm}$ 为干旱年, 400~550 mm 为平水年。由图 2 可知,1958, 1959, 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1967, 1968, 1969 和 1973 等 11 年为丰水年; 1965, 1972, 1974, 1995, 1997, 1999, 2000 和 2001 等 8 年为干旱年,其余 26 年为平水年。

2.1.2 干旱胁迫程度的变化 在 1957~2001 年模拟研究的 45 年内,平均每年水分胁迫时间为 127.4 d;其中 1957~1966 年水分胁迫时间为 0 d,表明该时段土壤水分状况较好,油松生长不受干旱胁迫的影响;1967~2001 年,虽然在丰水年份干旱胁迫时间有所减少,但此时段内水分胁迫时间整体呈现波动性上升趋势,表明随着油松生长年限的延长,土壤水分不能满足油松的正常生长;2000 年水分胁迫最严重,全年有 260 d 出现了水分亏缺(图 2)。

2.1.3 油松林地逐年生物量 1957~2001 年,延安油松林地逐年生物量模拟值为 0~6.671 t/hm²,平均值为 2.34 t/hm²(图 2)。在 45 年间,油松人工林逐年生物量总体呈先升高后降低的趋势,1~13 年生(1957~1969 年)油松人工林逐年生物量呈线性上升,于第 13 年达到最大,为 6.67 t/hm²,13 年逐年生物量平均值为 3.1 t/hm²,变异系数为 60.20%;14~45 年生(1970~2001 年)逐年生物量值呈波动性下降趋势,32 年的平均值为 2 t/hm²,变异系数为 80.70%。

2.1.4 土壤水分、油松逐年生物量与降水的关系 在黄土丘陵区,降水是油松林地土壤水分的唯一来源。从图 2 可以看出,在延安试区油松生长的 45 年中,前 10 年(1957~1966 年)降水量曲线上下波动剧烈,但在此时段内,逐年生物量曲线并未随降水量的波动而波动,而是呈上升趋势,也未产生水分胁迫(水分胁迫时间为 0 d),说明油松在生长前期水分胁迫时间和逐年生物量的变化趋势受降水量的影响不大,靠深层土壤水分足够维持较高的生产力。

1967~1969 年, 虽然产生了水分胁迫, 但逐年生物量曲线仍表现为上升, 主要原因是这 3 年的降水量相当可观, 能够补充土壤水分的不足。1970~2001 年, 油松人工林地干旱胁迫时间、逐年生物量与降水量有一定的规律性: (1) 水分胁迫时间呈波动性上升趋势, 其波动与降水量波动呈相反趋势, 在丰水年由于水分供给较多, 水分胁迫时间减少, 逐年生物量较

高, 在干旱年则相反; (2) 逐年生物量呈波动性下降趋势, 与降水量的波动趋势相同, 其中 1995, 1997, 1999, 2000 和 2001 年逐年生物量均为 0 t/hm², 表明油松生长由于水分不足而趋于死亡。可见, 在延安的气象条件下, 随着油松生长年限的延长, 油松生长的水分来源从主要依靠土壤供给, 转向依靠当年降水供给, 而降水无法满足油松的正常生长。

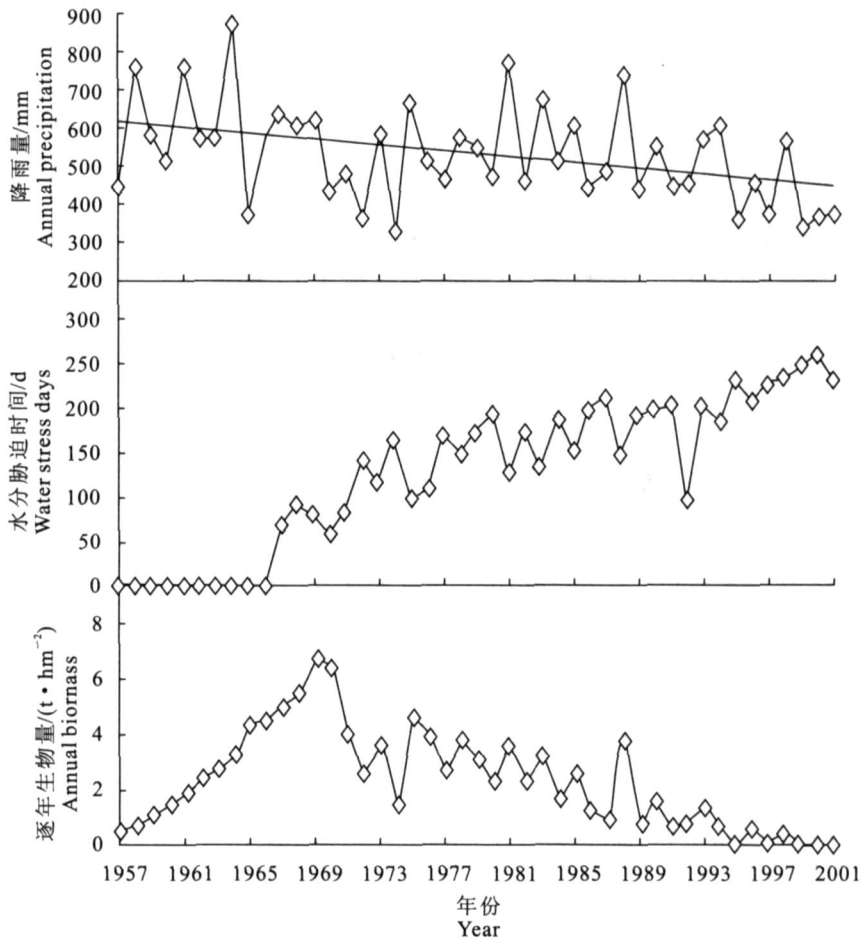


图 2 延安 45 年实时降水量、油松人工林水分胁迫时间与逐年生物量模拟值的变化动态
 Fig. 2 Changes of annual rainfall, simulated water stress days and annual biomass of *Pinus tabulaeformis* forests at Yan'an

2.2 1957~2001 年油松人工林地 0~10 m 土层土壤有效含水量的变化动态

EPIC 模型在模拟油松林地土壤水分时, 开初的土壤含水量由模型根据土壤水分性质和当地气候状况自动计算而设定, 在此基础上进行油松林地逐日土壤水分平衡计算。由图 3 可知, 1957~2001 年延安油松人工林地, 0~10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值在 0~1490 mm 剧烈波动, 540 个月的平均值为 565.86 mm, 标准差 616.82 mm, 变异系数 109.00%。受降水量年度和季节变化的影响, 1~8

年生(1957~1964 年)油松人工林地, 0~10 m 土层土壤有效含水量在较高水平上(1300~1490 mm)波动, 雨季(7 月下旬至 8 月)达最高值, 旱季(6 月初到 7 月中旬)达最低值, 平均值为 1404.74 mm, 标准差 44.79 mm, 变异系数 3.19%。1965~1971 年(9~15 年生)为油松生长旺盛和强烈耗水阶段, 林地 0~10 m 土层土壤有效含水量呈明显的逐年降低趋势, 由 1965 年的 1430.0 mm 减少到 1971 年的 70.0 mm, 表明林地干燥化进程十分强烈, 此时段内 0~10 m 土层逐月有效含水量平均值为 764.60 mm,

标准差 391.64 mm, 变异系数 51.22%。16~ 30 年生 (1972~ 1986 年) 油松人工林地, 10 m 土层土壤有效含水量在较低水平 (0~ 180.0 mm) 波动, 平均值为 25.50 mm, 标准差 31.15 mm, 变异系数 122.15%。31~ 43 年生 (1987~ 1999 年) 油松人工林地, 10 m 土层土壤有效含水量基本维持在 0 mm 左

右, 只有雨季土壤有效水含量出现低水平升高。44 和 45 年生油松因长期严重干旱胁迫而死亡, 林地土壤有效含水量升高, 在 2000 年雨季开始显著回升, 逐渐升高到 2000 年底的 330 mm 和 2001 年底的 700 mm (图 5c)。

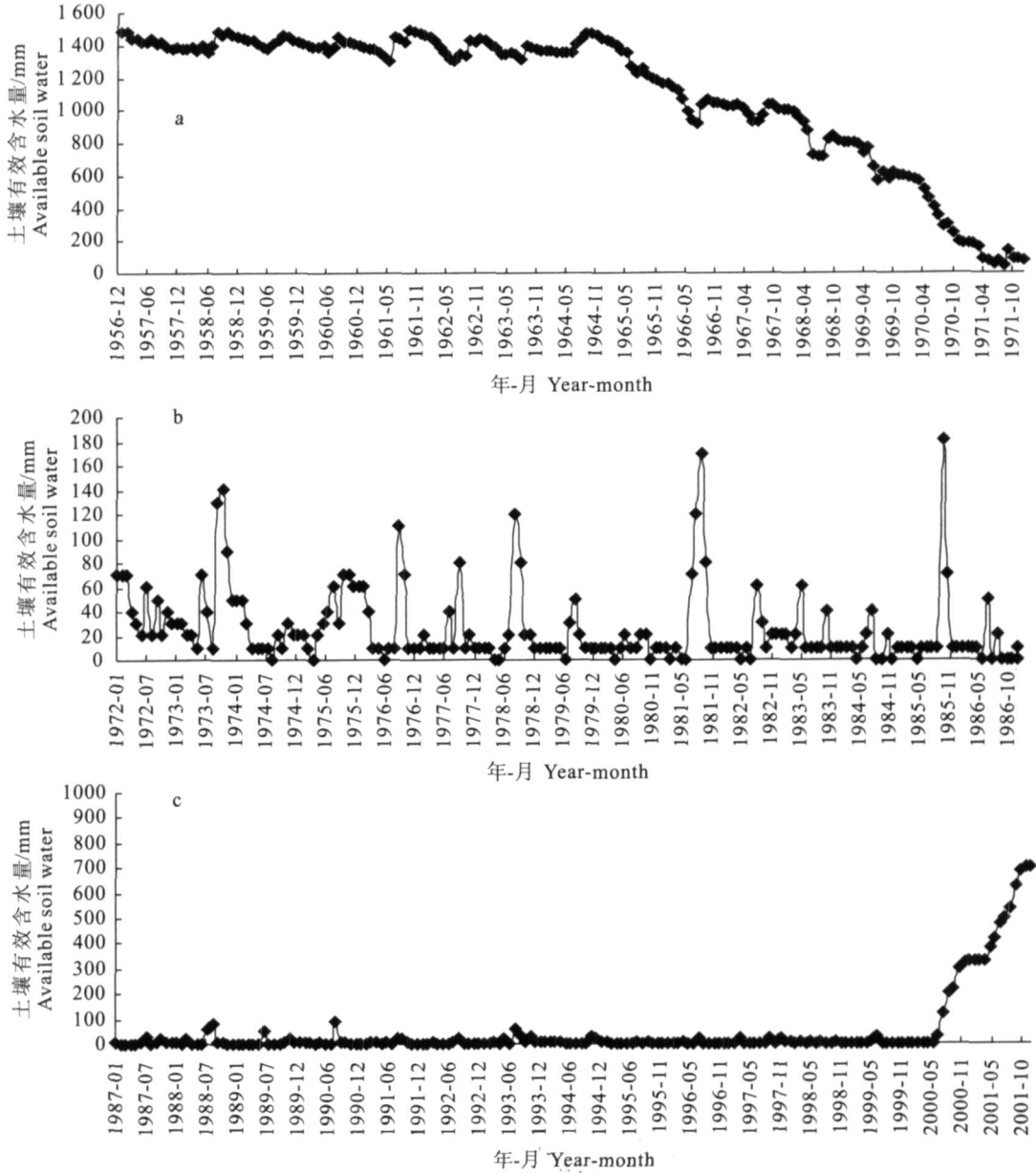


图 3 1957~ 2001 年延安实时气象条件下油松人工林地 0~ 10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值的动态变化

Fig.3 Simulated monthly available soil water amount change in 0~ 10 m soil layers of the artificial *Pinus tabulaeformis* forests under real time weather condition at Yan' an

2.3 不同生长年限油松人工林地 0~ 10 m 土层土壤湿度的分布特征

延安 1~ 20 年生 (1957~ 1976 年) 油松人工林地, 0~ 10 m 土层土壤湿度剖面分布模拟结果如图 4 所示。由图 4 可知, 8 年生以前, 除表层 0~ 0.2 m

土层土壤湿度低于土壤稳定湿度 0.16 m/m (12%) 外, 0.2~ 10 m 深层土壤湿度在 0.25 m/m 左右; 9 年生油松林地 0~ 2 m 土层土壤湿度低于 0.16 m/m, 开始出现土壤干燥化现象; 10 年生油松林地虽然上层土壤水分含量有所上升, 但 2~ 5 m 土层土

壤湿度显著降低, 土壤干层开始加深和加厚, 土壤干层最大分布深度超过 4 m (图 4a 和图 4b); 11~ 13 年生油松林地 2~ 4 m 土层已经接近土壤凋萎湿度, 4~ 8 m 土层土壤湿度开始逐年降低, 11 年生土壤干层分布最大深度不到 8 m, 12 年生已经超过 8 m, 14 年生超过 10 m; 15 年生以后, 2~ 10 m 土层土壤湿度稳定维持在凋萎湿度附近 (图 4c); 16 年生以后, 除上层 0~ 1 m 土层土壤湿度年际变化有差异外, 1~ 10 m 深层土壤湿度基本稳定, 维持在每米土层 0.12 m 左右的含水量状态, 表明油松人工林地 1~ 10 m 土层已经全部干燥化 (图 4d)。模拟结果表

明, 随着油松生长年限的延长和根系分布深度加深, 油松人工林地土壤湿度逐年降低, 土壤干层逐年加深和加厚。本研究模拟油松人工林地 0~ 10 m 土层土壤湿度剖面分布年限为 45 年, 由于 20 年生以后, 林地 0~ 10 m 土层土壤湿度剖面分布特征与图 4d 相近, 在此省略。

油松人工林上层 0~ 2 m 土层, 土壤湿度年际变化存在差异, 主要与降水入渗深度有关, 在丰水年降水补给深度为 0~ 1 m, 在干旱年降水补给深度仅为 0~ 0.5 m。

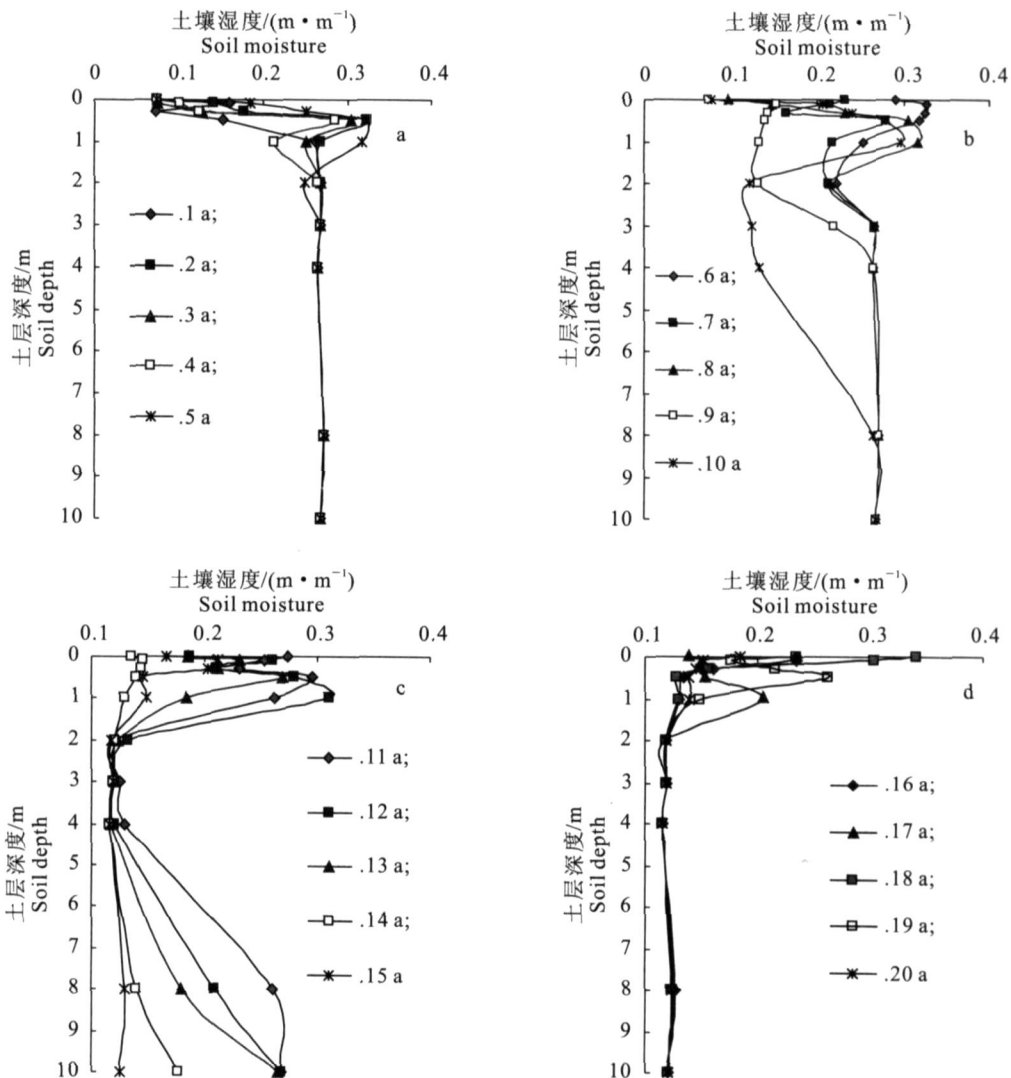


图 4 不同生长年限油松人工林地 0~ 10 m 土层土壤湿度的分布

Fig. 4 Soil moisture distributions in 0~ 10 m soil layers of different growth age in the artificial *Pinus tabulaeformis* forests

3 结论与讨论

1) 本研究结果表明, EPIC 模型能够较为精确地模拟陕北地区油松人工林累积生物量的变化动态,

可以作为陕北地区油松人工林生态系统模拟分析的重要工具, 以评价长时段内油松人工林地水分生态的环境效应。

2) 在 1957~ 2001 年实时气象条件下, 应用 EP-

IC 模型模拟了延安 45 年生油松人工林的水分生产力, 0~10 m 土层土壤有效含水量的变化和土壤湿度剖面的分布特征。模拟结果表明: ①0~10 年生(1957~1966 年)油松人工林的水分胁迫时间均为 0 d, 之后水分胁迫时间随油松人工林林龄的增加而呈波动性上升趋势, 其波动与降水量波动呈相反趋势; ②0~13 年生(1957~1969 年)油松林地, 一直保持了较高的水分生产力, 之后呈明显的波动性下降趋势, 其波动趋势与降水量波动同步, 直至 1999 年油松逐年生物量为 0 t/hm²; ③在模拟前期(1~8 年生), 油松人工林地 0~10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值, 随降水量年度和季节变化在较高水平上波动; 模拟中期(9~15 年生), 由于油松生长旺盛和强烈耗水, 林地 0~10 m 土层土壤有效含水量呈现出显著的逐年降低趋势, 土壤干燥化趋势十分强烈; 模拟中后期(16~43 年生), 林地 0~10 m 土层土壤有效含水量, 随降水量年度和季节变化在极低的水平上波动; 模拟后期(44 年生以后), 林地含水量逐年恢复; ④14 年生以后, 林地土层 1~10 m 深层土壤湿度稳定维持在每米土层 0.12 m(低于土壤稳定湿度值 0.16 m/m)左右的含水量状态, 表明林地 1~10 m 土层已经全部干燥化, 是油松水分生产力从 1970 年(14 年生)开始下降的原因。

3) 根据模拟结果, 油松人工林 15 年生以后林地, 土壤干燥化导致水分胁迫急剧增加, 土壤水分难以维持油松生长需要, 油松生长停滞直至死亡; 另一方面, 徐春达等^[14]根据对油松自然分布和土壤特性的分析发现, 油松适生的土壤酸碱度范围为微酸性(pH 5.5~6.5)至中性(pH 6.5~7.5), 而延安地区的黄绵土 pH>7.5, 不适宜油松生长。在陕北绥德县辛店沟小流域, 22 年树龄的油松人工纯林和侧柏油松混交林中的油松全部死亡^[15]。因此, 本研究认为, 延安油松人工林地水分利用的最大年限为 15

年。所以, 在退耕还林工程实施中, 应根据土壤水分状况合理布局, 以维护林地土壤水分生态环境健康, 不可盲目造林。

[参考文献]

- [1] 肖扬. 林木培育[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [2] 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): 78-84.
- [3] 张社奇, 王国栋, 时新玲. 黄土高原油松人工林地土壤水分物理性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 21(1): 60-64.
- [4] 韩蕊莲, 侯庆春. 延安试区刺槐林地不同立地条件下土壤水分变化规律[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(1): 74-76.
- [5] 李军, 邵明安, 张兴昌. EPIC 模型中土壤氮磷运转和作物营养的数学模拟[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 166-173.
- [6] 陈兵, 李军, 李小芳. 黄土高原南部旱塬地苜蓿水分生产潜力模拟研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 31-35.
- [7] 李军, 邵明安, 张兴昌. 黄土高原地区 EPIC 模型数据库组建[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(8): 21-26.
- [8] 王宗明, 梁银丽. EPIC 模型在黄土高原地区的应用[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 44-47.
- [9] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [10] 山西省土壤普查办公室. 山西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [11] 全国土壤普查办公室. 中国土种志: 第五卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 410-477.
- [12] 徐化成. 油松[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [13] 马钦彦. 中国油松生物量的研究[J]. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1-10.
- [14] 徐春达, 刘宝元, 王志强, 等. 从土壤适宜性分析陕北黄土高原种植油松的可行性[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(1): 129-132.
- [15] 王志强, 刘宝元, 徐春达, 等. 连续干旱条件下黄土高原几种人工林存活能力分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 25.