

半干旱黄土丘陵区柠条林水分生产力和土壤干燥化效应模拟研究

李小芳¹, 李 军^{1,3*}, 王学春¹, 赵玉娟², 程积民³, 邵明安³

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100;

3. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 建立固原半干旱丘陵区 WinEPIC 模型土壤数据库、气象数据库, 修订柠条作物参数, 验证模型的精度及在该区适应性, 在此基础上对黄土高原丘陵区柠条林地水分生产力和 9 m 土层土壤有效含水量进行 30 a 长期动态模拟研究。结果表明, 前 10 a 柠条生长主要依靠土壤储水和降水, 水分生产潜力稳定且无水分胁迫, 但已出现土壤干层; 生长 10 a 以后随着柠条根系的下伸, 土壤水分亏缺加剧, 水分生产力随降水量变化呈波动性下降趋势。9 m 土层逐月土壤有效含水量均呈现明显的波动性降低趋势。模拟柠条生长初期 (1~10 a) 9 m 土层土壤有效含水量以 101.0 mm/a 的速度递减, 此后长期在较低水平上随降水量变化而波动。由此得出, 固原丘陵区柠条水分持续利用的合理年限为 10 a 左右。

关键词: 柠条灌木林地; 水分生产潜力; 土壤水分动态; EPIC 模型; 黄土丘陵区

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)03-0113-07

柠条 (*Caragana microphylla*) 是半干旱黄土丘陵区营造水土保持林、防风固沙林、薪炭林和饲料林的主要灌木树种之一。由于自然降水稀少、坡地水土流失和林地强烈耗水, 半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤干燥化普遍存在, 柠条林生长退化和衰败现象突出。近年来, 有关学者研究了半干旱黄土丘陵区柠条灌木林生理生态、水分循环和生产力^[1-4], 初步揭示了柠条生长与水分利用关系, 但对柠条林地水分生产力长周期变化动态和深层土壤干燥化效应的定量研究不足。鉴于柠条林地水分生产力和深层土壤水分动态变化的长周期定位试验观测难度较大, 本研究借助于美国研制的 EPIC 模型, 定量模拟和分析黄土丘陵区柠条林地水分生产力和深层土壤水分动态变化, 揭示黄土丘陵区长时段内自然降水、土壤贮水和柠条耗水的动态关系, 探讨半干旱区柠条林地水分生产力的稳定性和深层土壤水分生态效应, 为半干旱黄土丘陵区柠条林地水分可持续利用和植被建设提供科学依据, 同时, 探讨利用 EPIC 模型研究柠条林地水分生产力的理论和方法。

1 研究方法

本研究借助 WinEPIC 模型, 以位于半干旱黄土丘陵区的固原为代表点, 采用定位观测资料进行了

模型参数修订和模拟精度验证, 定量模拟研究了半干旱黄土丘陵区柠条林地水分生产力和深层土壤水分变化动态。

1.1 EPIC 模型简介

侵蚀和生产力影响计算模型 EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), 现在改称为环境政策综合气候模型 (Environmental Policy Integrated Climate), 是美国研制的定量评价“气候-土壤-作物-管理”综合系统的动力学模型, 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, 其它作物通用生长模拟模块包含 70 余种作物类型, 能够以天为时间步长, 定量模拟农田水土资源和作物生产力长周期动态变化过程, 可用来评价农田作物生产管理策略和水土资源环境效应^[5,6]。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综合性模拟分析和应用研究, 模型中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^[7,8]。EPIC 模型在世界范围内已广泛应用于大田作物和草地生产力模拟研究, 经过对黄土高原大田作物和苜蓿草地

收稿日期: 2006-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371077, 30471024)

作者简介: 李小芳 (1980-), 女, 陕西大荔人, 硕士研究生, 主要从事作物生产系统模型与决策研究。E-mail: xfangli2008@163.com。

* 通讯作者: 李 军 (1964-), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: nwlj@public.xa.sn.cn。

水分生产力的模拟研究表明, EPIC 模型在黄土高原具有较好的适用性^[9-11], 但在灌木林地研究方面尚未见报道。

1.2 模型数据库组建

在固原应用 EPIC 模型之前, 需要组建固原气象资料、土壤剖面理化性状、作物生长参数等模型数据库。固原年均气温 6~7℃, 年平均降水量 428 mm, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 2 100~3 200℃, 干燥度 1.5~2.0, 土壤为细黄土。

1.2.1 气象数据库建立 气象数据库组建内容包括气象站基本信息、逐日气象数据和逐月统计气象要素等。将收集到的固原试区 1957~2001 的 45 年数据(历年各月逐日太阳辐射、最高气温、最低气温、降水量、相对湿度、风速、风向)在 Excel 中按照 EPIC 模型要求进行处理后, 经过气象处理软件转变为特殊的文本格式, 导入模型气象数据库中, 建成逐日实时气象库。逐日实时气象数据库将用在实际时段的模拟研究。本文对柠条 1971~2000 年的水分生产力预模拟研究, 模拟年限确定在有逐日实时气

象数据资料的时段内。

1.2.2 土壤数据库建立 固原试区细黄土土壤资料主要参考《中国土种志》^[12], 在土壤数据库组建中将土壤分为了 10 个剖层, 土层总厚度为 9 m。土壤参数包括: 试区代表地形资料(包括坡度、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/m^3)、凋萎湿度(m/m)、田间持水量(m/m)、沙粒含量(%)、粉粒含量(%), 有机氮浓度(g/t)、pH 值、离子总量(cmol/kg)、有机碳含量(%)、 CaCO_3 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/hm^2)、土壤比重、磷素吸收率、饱和导水率(mm/h)、地下水流转时间(d)、有机磷浓度(%), 各土层部分重要理化参数见表 1。其中, 模型中如凋萎系数、田间持水量等土壤含水量是由重量含水量换算为容积含水量(m/m)的方法, 即: 水分含量(m/m) = 土壤重量含水量(%) \times 土壤容重(t/m^3)。单位 m/m, 为国外模拟研究中土壤水分的通用单位。

表 1 WinEPIC 模型中固原细黄土部分重要理化参数

Table 1 The some important physical and chemical parameters of light yellow loess in the WinEPIC model at Guyuan

| 土壤参数 Soil parameter | 细黄土 Light yellow loess | | | | | | | | |
|---|------------------------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 土层编号 Layers Number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 土层厚度 Soil layer thickness(m) | 0~0.1 | 0.1~0.5 | 0.5~1 | 1~2 | 2~3 | 3~4 | 4~5 | 5~7 | 7~9 |
| 土壤容重 Bulk density of soil layer(g/cm^3) | 1.3 | 1.3 | 1.31 | 1.31 | 1.32 | 1.32 | 1.34 | 1.34 | 1.35 |
| 萎蔫系数 Wilting point(m/m) | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 田间持水量 Field capacity(m/m) | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| 有机氮含量 Organic nitrogen(ppm) | 500 | 450 | 420 | 400 | 380 | 360 | 320 | 280 | 0 |
| pH | 7.55 | 7.59 | 7.64 | 7.68 | 7.72 | 7.76 | 7.8 | 7.84 | 7.88 |
| 有机质含量 Organic matter(%) | 0.48 | 0.42 | 0.38 | 0.38 | 0.32 | 0.26 | 0.09 | 0.09 | 0.06 |
| 碳酸钙含量 Calcium carbonate(%) | 14.8 | 16.1 | 15.4 | 15.2 | 15.2 | 15.2 | 15.2 | 15.2 | 15.2 |
| 阳离子交换量 Cation exchange capacity(cmol/kg) | 13.58 | 13.88 | 13.95 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 初始硝态氮浓度 Initial nitrate concentration(ppm) | 45 | 35 | 30 | 25 | 20 | 10 | 5 | 0 | 0 |
| 磷浓度 Phosphorus(ppm) | 2.8 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0 | 0 |

1.2.3 作物参数修订 WinEPIC 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。本研究中通过查阅相

关文章和实测数据, 对试区柠条的 39 个生理生态参数进行了设定。表 2 为 WinEPIC 模型中柠条部分重要生长参数修订值。

表 2 WinEPIC 模型中部分柠条重要生长参数修订值

Table 2 Some important revised vegetal parameters of *Caragana microphylla* in the WinEPIC model

| 参数名称 Parameter names | 参数取值 Parameters | 参数的意义 The meanings of parameters |
|-------------------------|--------------------|--|
| WA | 2 | 潜在生物量- 能量比率 [$t/(hm^2 \cdot MJ)$] |
| HI | 0.75 | 收获指数 (通常取值 0.01 ~ 0.95) |
| TB | 20 | 作物生长最适温度($^{\circ}C$) |
| TG | 5 | 作物生长最低温度($^{\circ}C$) |
| DMLA | 1.2 | 最大潜在叶面积系数 |
| DLAI | 0.99 | 播种至作物叶面积系数达到最大时段占整个生长期的比率 (通常取值 0.4~ 0.99) |
| RLAD | 1.0 | 叶面积下降参数, 1.00 代表线性 (通常取值 0~ 10) |
| RBMD | 1.0 | 生物量- 能量比率, 1.00 代表线性 (通常取值 0~ 10) |
| GSI | 0.005 | 最大气孔导度(m/s) |
| HMX | 5.0 | 最大株高为 5.0 m |
| RDMX | 9 | 最大根深为 9.0 m |
| FRST1 | 5.01 | 生物量遭受霜冻曲线参数, 当温度达到零下 $5^{\circ}C$ 时, 作物生物量损失 1.0% |
| FRST2 | 15.05 | 生物量遭受霜冻曲线参数, 当温度达到零下 $15^{\circ}C$ 时, 作物生物量损失 5.0% |
| RWPC1 | 0.4 | 出苗时根重系数 |
| RWPC2 | 0.2 | 成熟时根重系数 |
| IDC | 10 | 作物类别代码 |

1.3 模型验证

以中国科学院水利部水土保持研究所宁夏固原生态站为试点, 应用所组建的当地土壤数据和实时气象资料, 应用 WinEPIC 模型对柠条林地水分生产力和土壤水分变化动态进行连续模拟试验, 得到 1985~ 1999 年实时气象数据下柠条林地逐年生物量生长量和土壤含水量的模拟结果, 并与固原试区水平阶柠条林地长期定位试验观测值^[13, 14]进行了比较。其中, 供试验观测的柠条林地种植密度为 $2200株/hm^2$, 逐年生物量观测值是由逐年柠条生长初期(4 月)和生长终期(10 月)生物量观测值之差计算而得, 由于未能涵盖柠条全部生长期, 而且受落叶、放牧等因素的影响, 逐年生物量观测值要比实际值稍低; 由于实际土壤水分只有 5 m 剖层观测数

据, 所以只能对柠条林地年生长量和 5 m 土壤水分含量的模拟值与观测值进行模型验证, 模拟值与观测值的变化动态和统计结果列于图 1、2 和表 3。

图 1 显示, 固原试区 1985~ 1999 年柠条逐年生物量生长量模拟值与观测值除 1996 和 1997 年差异较大, 其它年份变化趋势较为类似, 模拟值和观测值的平均值分别为 $0.446 t/hm^2$ 和 $0.346 t/hm^2$, 相对误差为 28.9%, 相关系数为 0.678, 达到极显著水平(表 3)。柠条逐年生物量模拟值平均值高于其观测值, 二者的误差除模型模拟精度外, 观测值本身低于实际值也是误差产生的重要原因。图 2 显示, 固原试区 1991~ 1999 年柠条林地 0~ 500 cm 土层土壤水分含量模拟值与观测值变化趋势相同, 但模拟值普遍稍低于观测值, 土壤水分模拟值和观测值的平均值分别为 462.7 mm 和 480.8 mm, 相对误差 - 3.75%, 相关系数为 0.675, 达到了极显著水平(表 3)。模型验证结果表明, WinEPIC 模型适用于黄土高原丘陵区的柠条水分生产潜力及土壤水分变化规律的长时段模拟研究。

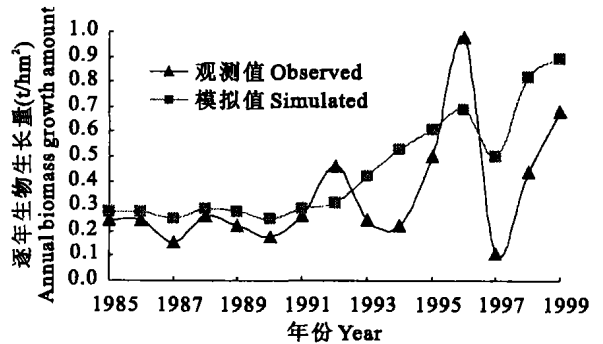


图 1 固原黄土丘陵区柠条年生物量模拟值与观测值比较
Fig. 1 The comparison of simulated and observed *Caragana microphylla* biomass in Loess Hilly Region

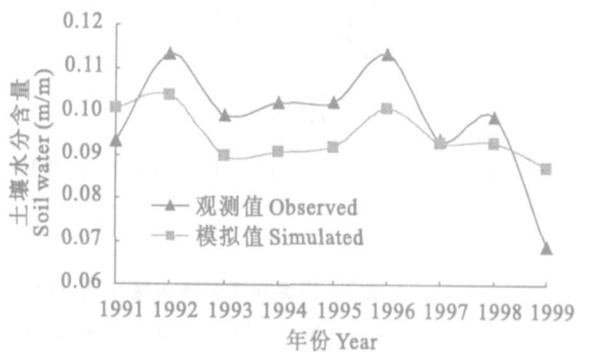


图 2 固原黄土丘陵区柠条 0~ 5 m 土壤水分含量模拟值与观测值比较
Fig. 2 The comparison of simulated and observed *Caragana microphylla* soil water in Loess Hilly Region

表 3 固原试区柠条年生长量、土壤水分含量模拟值与观测值(1985~ 2001 年)的统计比较

Table 3 The comparison of statistic values of simulated and observed annual biomass growth and soil water amount of *Caragana microphylla* shrub land at Guyuan

| 项目 Items | 逐年生物生长量(t/hm^2) Annual biomass growth | | | 林地土壤含水量(mm) Soil water amount | | |
|---------------------------------|--|-----------------|------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|
| | 模拟值 Simulated | 观测值 Observed | 相对误差 Error(%) | 模拟值 Simulated | 观测值 Observed | 相对误差 Error(%) |
| 平均值 Average value | 0.446 | 0.346 | 28.9 | 462.7 | 480.8 | - 3.75 |
| RMSE | | 0.479 | | | 49.08 | |
| 回归方程 Regression equation | $y = 0.6345x + 0.2264$ | | | $y = 0.2295x + 352.42$ | | |
| 相关系数 Correlation coefficient | 0.678** | | | 0.675** | | |

2 结果与分析

2.1 柠条林地水分生产力变化动态模拟

利用 WinEPIC 模型对 1971~ 2000 年固原柠条林地生物量水分生产力进行了连续动态模拟研究,

分析柠条林地生物量生长和林地土壤水分变化动态。1971~ 2000 年固原年降水量为 282~ 591 mm, 平均值为 434.4 mm, 标准差 87.4 mm, 变异系数为 20.1%, 30 年内降水量呈显波动性下降趋势〔图 3 (a)〕。

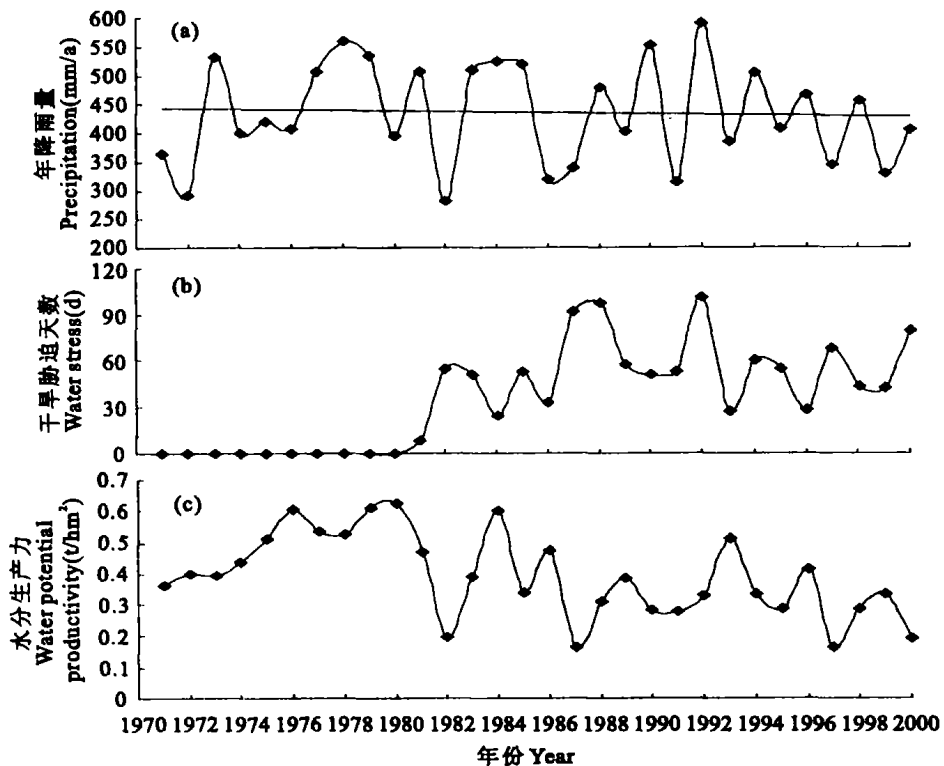


图 3 固原丘陵降水、柠条林地干旱胁迫天数与水分生产潜力模拟值变化动态

Fig. 3 The changes of annual rainfall, simulated water stress days and water productivity of *Caragana microphylla* forestland at Guyuan

在 30 a 实时气象条件下, 固原试区柠条逐年生物量水分生产力为 0.171~ 0.659 t/hm^2 , 平均值为 0.413 t/hm^2 , 标准差为 0.142 t/hm^2 , 变异系数为 34.4%。其中 1971~ 1980 年期间的柠条逐年生物

量水分生产力平均值为 0.50 t/hm^2 , 由于土壤贮水和降水补给充足, 柠条生长过程中无干旱胁迫, 1981~ 1990 年期间柠条逐年生物量水分生产力平均值为 0.36 t/hm^2 , 土壤贮水量显著降低, 柠条生长主

要依靠当季降水供给, 出现干旱胁迫, 平均干旱胁迫日数 52.2 d; 1991~ 2000 年期间柠条逐年生物量水分生产力平均值为 0.31 t/hm^2 , 由于干旱胁迫生物量生长缓慢, 平均干旱胁迫日数为 55.8 d [图 3(b) 和(c)]。可以看出, 随着降水量变化柠条林地逐年生物量水分生产力呈波动性下降趋势, 而柠条连续生长 10 a 后干旱胁迫日数波动性增加。此处干旱胁迫是表示一年中柠条生物量生长遭受干旱胁迫的天数, 当柠条根系所分布的整体土层接近凋萎系数时才会产生干旱胁迫, 并非某几个土层湿度低于凋萎系数就会产生胁迫。

2.2 柠条林 9 m 土层有效含水量变化动态模拟

在 1971~ 2000 年模拟研究时段内, 柠条林地 0~ 9 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值在 0~ 1170 mm 范围内剧烈波动, 360 个月平均值为 263.1 mm, 标准差为 364.1 mm, 变异系数为 138.1% (图 4)。1~ 10 a 生 (1971~ 1980 年) 柠条林地 0~ 9 m 土层土壤有效含水量呈现出显著的逐年降低趋势 [图 4(a)], 由 1971 年的 1171.0 mm 迅速减少到 1980 年的 162.0 mm, 平均每年减少 101.0 mm, 表明黄土丘陵区固原柠条林地 0~ 9 m 土层土壤干燥化速度为 101.0 mm/a ; 11~ 20 a 生 (1981~ 1990

年) 柠条林地 0~ 9 m 土层土壤有效含水量在 0~ 160 mm 之范围内的较低水平上波动 [图 4(b)], 随生长期和降水变化明显, 平均值为 49.9 mm, 标准差 46.2 mm, 变异系数为 92.7%; 21~ 30 a 生 (1981~ 2000 年) 柠条林地 0~ 9 m 土层土壤有效含水量在 0~ 120 mm 之范围内的较低水平上波动 [图 4(c)], 随生长期和降水变化明显, 平均值为 34.9 mm, 标准差 31.7 mm, 变异系数为 90.9%。可以看出, 柠条在前 10 a 生长过程中土壤有效水呈显著递减趋势, 柠条耗水量强烈, 在后 20 a 柠条林地土壤含水量在 0~ 150 mm 范围内波动, 土壤基本完全干燥化, 只有降水量超过蒸散量时, 土壤有效含水量才会有结余, 土壤有效含水量才会大于零; 在 1987、1988、1991、1992 年和个别年的生长季中出现了土壤有效含水量为 0 的情况, 表明柠条林地 0~ 9 m 土层土壤湿度已接近凋萎系数, 柠条生长主要靠当年雨季降水调节。模型模拟过程中, 根对不同根层土壤水分的吸收状况都是一致的, 然而, 实际中根系对深层土壤水分的吸收能力是有限的, 并且当土壤水分含量很低时, 柠条的耗水量也会随之降低, 所以, 实际中 9 m 土层土壤有效含水量为零的情况比较少见。

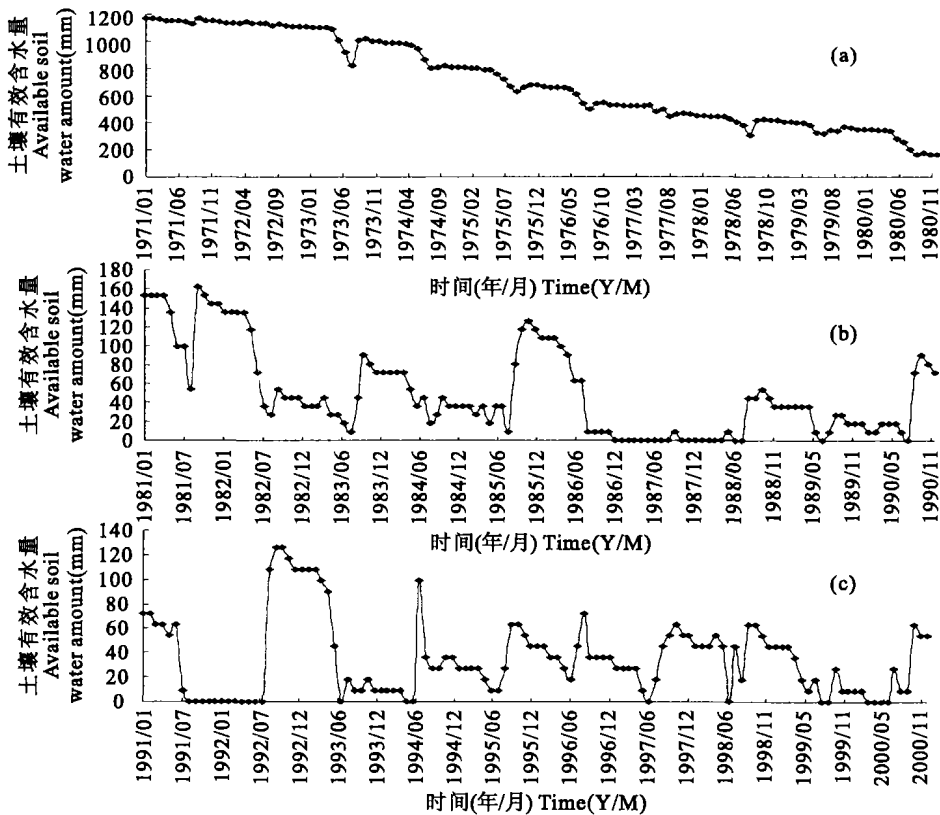


图 4 固原实时气象条件下柠条林地 9 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值变化动态

Fig. 4 The simulated monthly available soil water amount change in 0~ 9 m soil layers of *Caragana microphylla*

forestland under real time weather condition at Guyuan

2.3 不同生长年限柠条林地土壤湿度剖面分布特征模拟

固原丘陵区 1~15 a 生(1971~1985 年)8 月中旬柠条林地 0~9 m 土层土壤湿度剖面分布特征模拟结果表明(图 5),随着柠条生长年限延长和柠条根系下伸,柠条林地土壤干层逐年加深和加厚,3 a 生柠条林地土壤干层分布深度超过 1 m,5 a 生已达 3 m,7 a 生超过 4 m,10 a 生接近了 7 m,柠条 11 a

生以后,除上层 0~1 m 土层土壤湿度受降雨的影响年际变化较为明显外,2~9 m 深层土壤湿度基本稳定,都接近土壤凋萎湿度,表明柠条林地 2~9 m 土层已经全部干燥化。由此得出,柠条灌木林在生长的前 10 a 大量利用土壤水分和天然降雨,10 a 以后土壤水分亏缺严重,植株的生长主要依靠自然降水,与程积民等^[3]研究结果一致。

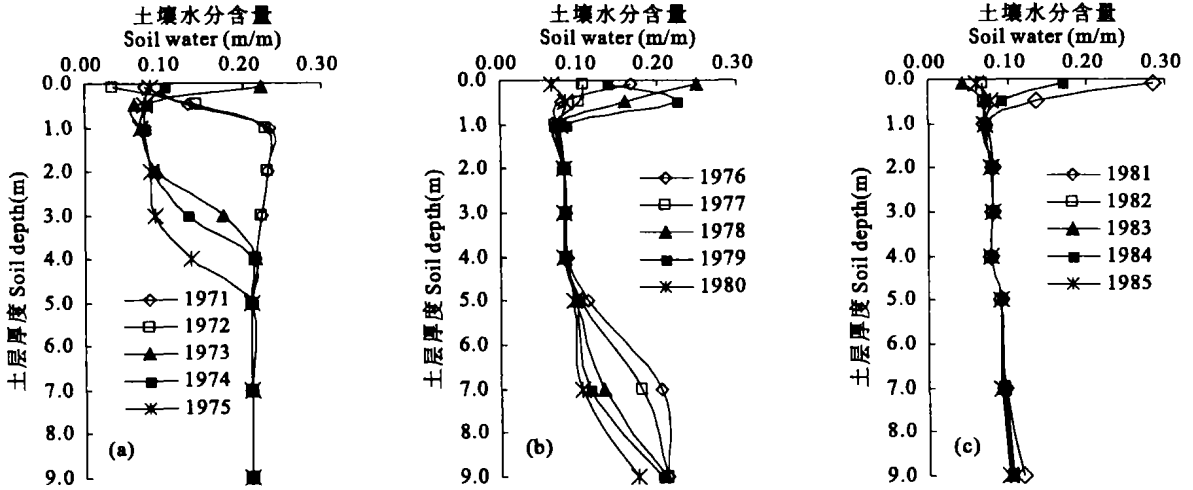


图 5 固原丘陵区不同生长年限柠条林地 0~9 m 土层土壤湿度剖面分析

Fig. 5 Soil moisture distributions in 0~9 m soil layers of different growth age *Caragana microphylla* shrub land at Guyuan

3 结论与讨论

本研究初步尝试了 WinEPIC 模型在黄土高原地区灌木林水分生产潜力研究中的应用,表明利用 WinEPIC 模型模拟研究灌木水分生产潜力有较好的适用性。模型经过对固原试区的土壤、气象数据库和柠条作物参数的输入和修订后,对黄土高原丘陵区柠条水分生产潜力的研究表明,模拟的柠条年生长量较为准确,柠条生长量及土壤水分含量模拟值与该试区长期定位试验中观测值的变化趋势较为类似,年生长量的模拟值与实际观测值之间平均误差为 28.9%,5 m 土层水分含量的模拟值和实际观测值之间平均误差为 -3.75%,说明 WinEPIC 模型参数修正较为合理,适用于长时段的模拟研究黄土高原丘陵区的柠条水分生产潜力及土壤水分变化规律。

依据 1971~2000 年实时气象数据,利用 WinEPIC 模型模拟研究了固原试区 30 a 柠条林地水分生产潜力、9 m 土层土壤有效含水量变化动态及土壤湿度剖面分布等特征。由长期模拟试验得出了黄土高原丘陵区气候条件下的柠条生物量水分生

产潜力变化规律,生长前期 10 a 柠条柠条生长主要依靠土壤水和降水,水分生产潜力稳定且无水分胁迫,但已出现土壤干层;生长 10 年以后随着柠条根的下伸,土壤水分亏缺加剧,水分生产潜力随降水量变化呈波动性下降趋势。固原柠条林地 0~9 m 土层逐月模拟研究得出,土壤有效含水量均呈现明显的波动性降低趋势。模拟初期 1~10 a 土壤有效含水量以 101.0 mm/a 的速度递减,此后长期在较低水平上随降水量变化而波动。由此认为柠条在生长前 10 a 主要依靠土壤储水和自然降水,而到生长的中后期则完全依赖于自然降水,柠条在固原丘陵区水分持续利用的合理年限为 10 a 左右。

参考文献:

- [1] 王孟本,李洪建,柴宝峰.柠条的水分生理生态学特性[J].植物生态学报,1996,20(6):494-501.
- [2] 牛西午,丁玉川,张强,等.柠条根系发育特征及有关生理特性研究[J].西北植物学报,2003,23(5):860-865.
- [3] 程积民,万惠娥,王静,等.半干旱区柠条生长与土壤水分消耗过程研究[J].林业科学,2005,41(2):37-41.
- [4] 程积民.宁南黄土丘陵区灌木林生产力的研究[J].水土保持研究,1996,3(1):129-136.

- [5] Williams J R, Jones C A, Kiniry J R, et al. The EPIC crop growth model[J]. Trans ASAE, 1989, 32(2): 475—511.
- [6] Williams J R, Dyke P T, Fuchs W W, et al. EPIG Erosion/ Productivity Impact Calculator: 2. User Manual[M]. USDA: Agriculture Technical Bulletin No. 1768, 1990.
- [7] Texas A&M Blackland Research Center. Researcher's Guide to WinEPIC, Version 1.0[M]. BRC report No. 0406, 2004.
- [8] Gerik T J, Harman W L, Williams J R, et al. User's Guide: CroPMan (Crop Production and Management) Model, Version 3.2[M]. Temple, Texas: Blackland Research and Extension Center, 2003.
- [9] 李 军, 王立祥, 邵明安. 黄土高原地区小麦生产潜力模拟研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 161—165.
- [10] 王宗明, 梁银丽. 应用 EPIC 模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 481—487.
- [11] 陈 兵, 李 军, 李小芳. 黄土高原南部旱塬地苜蓿水分生产潜力长期模拟研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 31—35.
- [12] 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. 244—254.
- [13] 赵艳云, 程积民, 等. 半干旱区环境因子对柠条灌木林结构的影响[J]. 水土保持通报, 2005, 25(3): 10—14.
- [14] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 208—209.

Simulation of water productivity and soil desiccation of *Caragana microphylla* shrub land on semi-arid hilly region of the loess plateau

LI Xiao-fang¹, LI Jun^{1,3*}, WANG Xue-chun¹, ZHAO Yu-juan², CHENG Ji-min³, SHAO Ming-an³

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

2. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

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

Abstract: By setting the databases of soils and weather, revising and validating the adaptability of the parameter of *Caragana microphylla*, the dynamic changes of water potential productivity of *Caragana microphylla* shrub land and available soil water amount in 0~ 9 m soil layers were simulated with WinEPIC model at Guyuan on loess hilly areas. The results show as following: *Caragana microphylla* growth depended on soil water and precipitation in the earlier 10 years. Water potential productivity of *Caragana microphylla* shrub land stabilized and the brush land had no water stress but desiccated soil layers occurred. The water deficits of the shrub land aggravated as root deepening of *Caragana microphylla*. Simulated water productivities of *Caragana microphylla* brush land declined with fluctuation gradually. Simulated available soil water amounts in 0~ 9 m soil layers of *Caragana microphylla* shrub land at Guyuan declined obviously with fluctuation, decreased by 101.0 mm/a in the earlier 10 years and available soil water amounts fluctuated with rainfall change for a long period at low level in the later. So, seasonable growth years for soil water sustainable use on *Caragana microphylla* shrub land are about 10 years on semi-arid loess hilly region.

Keywords: *Caragana microphylla* shrub land; water potential productivity; soil water dynamic; WinEPIC model; loess hilly region