

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

中国生态学学会
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 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栢群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

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

张社红, 李军, 王学春, 王亚莉. 渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟. 生态学报, 2011, 31(13): 3767-3777.

Zhang S H, Li J, Wang X C, Wang Y L. Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3767-3777.

渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟

张社红, 李 军*, 王学春, 王亚莉

(西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100)

摘要:为了研究实时气象条件下渭北旱塬不同生长年限苹果园地产量变化趋势和深层土壤水分变化规律,在模型适用性与模拟精度验证基础上,应用 WinEPIC 模型模拟研究了 1962—2001 年期间洛川旱塬苹果园地产量演变动态和深层土壤水分效应。结果表明:(1) 在模拟研究期间,洛川旱塬 4—40 年生苹果园产量整体上呈波动性下降趋势,初期产量逐渐增加,11—23 年生达到最大值(平均为 28.8 t/hm^2),之后随降水量年际波动呈现出明显的波动性降低趋势。(2) 40a 间苹果园地遭受的干旱胁迫日数呈波动性上升趋势,与年降水量波动趋势相反。(3) 1—15 年生期间苹果园地平均年耗水量高于同期年降水量,导致苹果园地 0—10 m 土层土壤强烈干燥化,逐月土壤有效含水量波动性降低,1—10 年生、11—20 年生和 21—40 年生期间发生土壤干燥化并且程度逐渐加剧,但干燥化速率逐渐减缓,土壤干燥化速率分别为 95.4 、 12 、 1.5 mm/a 。(4) 随生长年限的延长,苹果园地 0—10 m 土层土壤湿度逐渐降低、土壤干层分布深度逐渐加大,在 14 年生时超过了 10 m,20 年生以后 2—10 m 土层形成稳定的土壤干层。因此,基于土壤水分利用的苹果生长与果园利用的合理年限为 20 a,最长不宜超过 23 a。

关键词:渭北旱塬;苹果园地;产量;土壤水分;WinEPIC 模型

Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland

ZHANG Shehong, LI Jun*, WANG Xuechun, WANG Yali

College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Based on model applicability and precision validation, the WinEPIC model was used to simulate the changes of yield and deep soil desiccation of rainfed apple orchards, using real-time weather data and soil data from 1962 to 2001. Variation of apple productivity and soil moisture in apple orchards were analyzed, based on the simulated results at Luochuan, one typical area of Weibei Rainfed Highland. The simulated results showed as follows: (1) Fruit yield showed a decline tendency with fluctuation as a whole from 4 year-old orchard to 40 year-old orchard during the simulation period. The fruit yield increased gradually from 4th year to 11th year, and reached the highest value (averaged 28.8 t/hm^2) during 11th year to 23th year, then decreased obviously with the fluctuation of annual rainfall. (2) During the simulation period, annual rainfall at Luochuan fluctuated and decreased gradually, therefore, water stress days of 1—40 year-old apple orchards showed an upward trend which was opposed to the change trend of annual rainfall. And a peak value of 147.8 stress days occurred at 38 year-old apple orchard (in 1999). (3) Mean annual consumption of soil water was higher than mean annual rainfall in apple orchards at Luochuan. Therefore, soil had been drying strongly in apple orchards, and the total amount of soil water overuse was 1009 mm during the 40 years. The monthly available soil water contents in 0—10 m soil layers declined obviously during the simulation period. However, the fluctuation range was higher in the beginning period than in the later period. The soil desiccation of apple orchards occurred in the period of 1—10 years, 11—20 years

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31071374,30771280)

收稿日期:2010-11-24; 修订日期:2011-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

and 21—40 years and aggravated gradually, but the desiccation rate slowed down, with the soil desiccation rates of 95.4, 12 and 1.5 mm per year, respectively. (4) As the soil moisture decreased in 0—10 m soil layers, the thickness of drying layers increased and became deeper gradually with the growth years of apple trees and the deeper of apple roots distribution, and the depth of drying layers distribution was more than 10 m in 14 year-old apple orchard. However, rainfall infiltrated no more than 2 m at Luochuan and there was no water supply below 2 m soil layers, so soil water content in 2—10 m soil layers was stable relatively in 15—40 year-old apple orchards. When apple trees grew to 23 years, soil water in 2—10 soil layers almost could not be used by apple trees, and soil water in 0—2 m soil became the main water resources for the growth of apple trees. Therefore, soil water content varied sharply with the variation of annual rainfalls in 0—2 m soil layers. Both fruit yield and soil desiccation were significantly different in different ages of apple orchards. Considering economic and ecological benefits, reasonable growth and utilization years of apple orchard is 20 years, the longest should not exceed 23 years.

Key Words: Weibei rainfed highland; apple orchard; yield; soil water; WinEPIC model

近 30 a 来,陕西渭北旱塬区苹果(*Malus domestica* Borkh)产业发展迅速,已成为陕西农村经济发展的主导特色产业^[1]。2009 年陕西苹果种植面积达 56.5 万 hm^2 ,总产量达 805 万 t,出口逾 250 万 t,总产值 120 亿元以上。其中,渭北旱塬 30 个苹果生产重点基地县苹果园地面积已占总耕地面积的 50%—70%。如洛川县总耕地面积 $4.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$,苹果园地面积 $3.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,果园面积已占耕地面积的 78%。但渭北旱塬苹果生产基地 80% 以上为旱作果园,由于苹果树耗水量高于 1 年生农作物,加之黄土高原气候干暖化趋势加剧^[2],旱作农田改种苹果后加剧了土壤供需水矛盾,苹果园地土壤干燥化现象普遍发生,苹果树生长逐渐衰败,产量逐渐降低,严重威胁到渭北旱作苹果生产基地健康稳定发展。

近年来,有关学者测定和分析了渭北旱塬苹果园地土壤水分状况、土壤干层分布特征及其水分环境效应^[3-12],初步揭示了旱地果园深层土壤干燥化现象及其对苹果生产的潜在危害,但对苹果园地长周期产量演变动态和深层土壤干燥化发生过程的定量研究不足。鉴于苹果园地长周期定位试验观测难度较大,本研究借助美国研制的 WinEPIC 模型,定量模拟和分析渭北旱塬区苹果园地深层土壤水分利用和产量效应动态变化,揭示长时段内“自然降水、土壤贮水和苹果树耗水”间的动态关系,探讨渭北旱塬旱作苹果园地深层土壤水分生态效应和产量的稳定性,为渭北旱塬苹果园地土壤水分可持续利用和苹果生产基地健康与稳定发展提供科学依据。

1 材料与方法

本研究以洛川为代表点,在模型数据库组建和模拟精度验证基础上,利用洛川站 1962—2001 年实时气象数据、土壤数据和已验证过的苹果树参数,应用 WinEPIC 模型定量模拟研究了洛川 1—40 年生(1962—2001 年)旱作苹果园地产量和深层土壤水分变化动态。

1.1 试区概况

试验区设置于陕西洛川县,位于渭北旱塬沟壑区,东经 $109^\circ 13' 14''$ — $109^\circ 45' 47''$,北纬 $35^\circ 26' 29''$ — $36^\circ 04' 12''$,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,平均海拔 1072 m,年均气温 9.2°C ,年均降水量 600 mm,主要集中在 7、8、9 月,年均日照 2552 h,无霜期 167 d。主要土壤类型为黏黑垆土,其质地为中壤土,土壤剖面质地分布均一,0—10 m 土层土壤平均田间持水量、土壤稳定湿度和凋萎湿度分别为 0.312 m/m (24%)、 0.202 m/m (15.5%) 和 0.112 m/m (8.6%),平均土壤容重为 1.30 g/cm^3 。本区热量资源丰富,夏无炎热,冬无严寒,气温日差较大,光能资源丰富,土层疏松深厚,符合优质苹果生产的各项指标要求,是我国苹果生产的优势产区之一。

1.2 WinEPIC 模型简介

环境政策综合气候模型(Environmental Policy Integrated Climate, EPIC)是美国农业部研究局研制的定量

评价“气候-土壤-作物-管理”综合系统的动力学模型^[13],能够以天为时间步长,定量模拟气候变化、径流与蒸散、水蚀与风蚀、养分循环、农药迁移、植物生长、土壤管理、经济效益分析等过程与环节,可用于水土资源利用规划与农田作物管理评价研究,社会与生态效益十分显著。本研究采用的 WinEPIC 3060,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数据,适用于作物生产系统综合性模拟分析和应用研究,特别适合于旱地土壤水分生态环境效益的模拟和分析研究^[14-15]。

1.3 WinEPIC 模型数据库组建

WinEPIC 模型的运行需要逐日气象要素、土壤剖面理化特性、作物生长参数和肥料管理等数据库的支持^[16]。逐日气象数据以洛川站为代表点,将洛川气象台站 1962—2001 年 40 a 实时气象观测的逐日太阳辐射、最高气温、最低气温、降雨量、相对湿度、风速等气象数据按照 EPIC 模型要求处理后,导入模型气象数据库中,建成逐日实时气象数据库。土壤数据库以洛川旱塬典型农田土壤——黏黑垆土为代表,通过实地测定和参阅相关文献^[17-18],建立黏黑垆土 0—10 m 土层土壤剖面理化性状参数数据库(表 1),其中黏黑垆土中砂粒、粉粒和黏粒含量分别为 11%、74.2% 和 14.8%^[19],其饱和导水率为 10 mm/h^[20]。WinEPIC 模型通过作物参数控制作物的生长发育阶段和产量形成过程,估算温度、水分、养分等环境因素对生物量积累和经济产量形成的胁迫^[21]。WinEPIC 模型中已经包括苹果生长参数,根据黄土高原旱塬地苹果树栽培技术和生理生态试验研究成果及《中国果树志》(苹果卷)^[22],对洛川苹果生长的 39 个生理生态参数进行了修订,使之符合黄土高原苹果生产实际情况。表 2 为 WinEPIC 模型中苹果部分重要生长参数修订值。

表 1 WinEPIC 模型中洛川旱塬黏黑垆土部分重要理化参数

项目 Item	土层编号 Layer Number									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
土层深度 Soil depth/m	0.01	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10
土壤容重 Bulk density/(g/cm ³)	1.18	1.23	1.33	1.35	1.43	1.38	1.38	1.34	1.34	1.34
凋萎湿度 Wilting point/(m/m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13
田间持水量 Field capacity/(m/m)	0.31	0.29	0.30	0.30	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
有机氮含量 Organic nitrogen/(mg/kg)	350	380	360	370	380	380	390	370	380	370
pH	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
有机质含量 Organic matter/%	0.75	0.90	0.91	0.85	0.83	0.64	0.57	0.41	0.30	0.21
碳酸钙含量 Calcium carbonate/%	4.4	1.5	1.4	1.03	11.3	14.6	11.7	11.72	11.72	11.72
阳离子交换量 Cation exchange capacity/(cmol/kg)	11.9	12.1	12.9	16.36	10.9	8.9	8.9	9	8.9	8.9
磷浓度 Phosphorus/(mg/kg)	3	3	3.2	3.2	3	3	2	0	0	0

表 2 WinEPIC 模型中苹果部分重要生长参数修订值

Table 2 Some important revised growth parameters of apple in WinEPIC model		
参数 Parameter	取值 Value	含义 Meaning
CPNM	APPLE	作物 作物名称
WA	40.0	潜在生物量-能量比率/(t·hm ⁻² ·MJ ⁻¹)
HI	0.50	收获指数(通常取值 0.01—0.95)
TG	20.0	作物生长最适温度/℃
TB	6.0	作物生长最低温度/℃
DMLA	3.0	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占整个生长期的比率(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-能量转换比率下降参数,1.00 代表线性(通常取值 0—10)

续表

参数 Parameter	取值 Value	含义 Meaning
HMX	4.00	最大株高/m
RDMX	10.00	最大根系分布深度/m
FRST1	15.01	生物量遭受霜冻曲线参数,当温度达到零下(小数点左面数值)时(℃),作物生物量损失(小数点右面数值)(%)
RFST2	25.05	生物量遭受霜冻曲线参数,当温度达到零下(小数点左面数值)时(℃),作物生物量损失(小数点右面数值)(%)
RWPC1	0.40	出苗时根重系数
RWPC2	0.20	成熟时根重系数

1.4 模拟研究方法

为了比较不同生长年限苹果园地产量和土壤水分利用演变状况,依据试区苹果种植方式,设定模型中苹果树种植密度为 825 株/hm²,最大根深设置为 10 m,最大株高设置为 4 m,在挂果后每年的 10 月 1 日收获,其他管理措施同大田。在 40 a(1962—2001 年)期间,定量模拟和比较分析洛川旱塬地不同生长年限苹果园地产量和土壤水分效应。在分析苹果园地逐月土壤有效含水量变化动态时,以每月 15 日土壤有效含水量代表该月土壤有效含水量;在分析苹果园地土壤湿度剖面分布变化特征时,采用模型输出的每年 8 月 15 日土壤湿度剖面分布特征代表该年土壤湿度剖面分布特征。

1.5 土壤干燥化评价方法

在黄土高原半湿润区,许多学者常利用土壤稳定湿度作为判断土壤干燥化的上限,凋萎湿度为下限^[19,23-24]。本研究中,半湿润区土壤稳定湿度值采用文献^[25]中提出的 0.202 m/m(15.5%)作为评判标准,若某一土层的土壤湿度低于土壤稳定湿度就视为该土层发生了干燥化现象。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行统计处理,SAS(Statistical Analysis System)8.0 软件进行方差及相关分析^[26-27]。

2 WinEPIC 模型模拟精度验证

利用 EPIC 模型连续模拟了 1979—2001 年实时气象条件下洛川旱塬 1—23 年生苹果园地逐年产量,并选择 13—23 年生(即 1991—2001 年期间)苹果园地产量模拟值和同龄果园产量观测值进行比较,以评价 EPIC 模型对苹果园产量的模拟准确性。其中观测值为延安农科所洛川苹果试验站于 1991—2001 年间对果农进行跟踪调查所得的统计数据。在 1991—2001 年试验研究期间,洛川 13—23 年生苹果园产量模拟值与观测值的平均值分别为 25.94 t/hm²和 25.82 t/hm²,产量模拟值和观测值的相关系数为 0.784,达到极显著水平,平均相对误差为 2.58%,模拟平方根误差 RMSE 为 1.84 t/hm²(表 3)。13—23 年生苹果园地产量模拟值和观测值基本上均匀分布在 1:1 直线附近(图 1),表明 WinEPIC 模型能够较为精确的模拟洛川旱塬苹果园地产量水平。

选择 EPIC 模型模拟的 15 年生(1991—2005 年)苹果园地 0—10 m 土层土壤含水量剖面分布数据和洛川同龄果园土壤含水量实地观测值比较,以评价 EPIC 模型模拟苹果园地土壤含水量的准确性。其中,土壤含水量观测值为 2005 年本课题组实地测定的 15 年生苹果园地 0—10 m 土层土壤湿度经单位转换而得。将 EPIC 模型中 0.5、1、2、3、4、5、6、8、10 m 土层 9 个土壤含水量模拟值与对应土层 9 个土壤含水量观测值进行对比分析。洛川 15 年生苹果园地 0—10 m 土层土壤剖面含水量模拟值与观测值的平均值分别为 0.173 m/m 和 0.181 m/m,各个土层土壤含水量模拟值和观测值的相关系数为 0.847,为极显著相关,平均相对误差为 -4.67%,RMSE 为 0.463 m/m(表 3)。15 年生果园土壤含水量模拟值和观测值基本上均匀分布在 1:1 直线附近,表明 EPIC 模型能够较为真实的描述洛川旱塬果园土壤水分变化过程和 0—10 m 土层土壤含水量剖面分布情况(图 2)。

综上所述,经过修订的 EPIC 模型能够满足研究苹果园地的产量和土壤水分效应的基本要求,可以用来研究本文设计的模拟研究长时段内渭北旱塬苹果园地的产量和土壤水分效应。

表 3 洛川旱塬苹果园产量和土壤含水量模拟值与观测值比较

Table 3 Comparison between simulated and observed fruit yield and soil water contents on apple orchards at rainfed highland of Luochuan				
	项目 Items	模拟值 Simulated	观测值 Observed	相对误差 Error/%
果实产量 Fruit yield/(t/hm ²)	平均值 Average	25.83	25.30	2.58
	RMSE		1.84	
	相关系数 Correlation coefficient		0.784	
	标准差 Std	2.80	3.14	8.40
土壤含水量 Soil water/(m/m)	平均值 Average	0.173	0.181	-4.67
	RMSE	0.463		
	相关系数 Correlation coefficient		0.847	
	标准差 Std	0.015	0.012	4.37

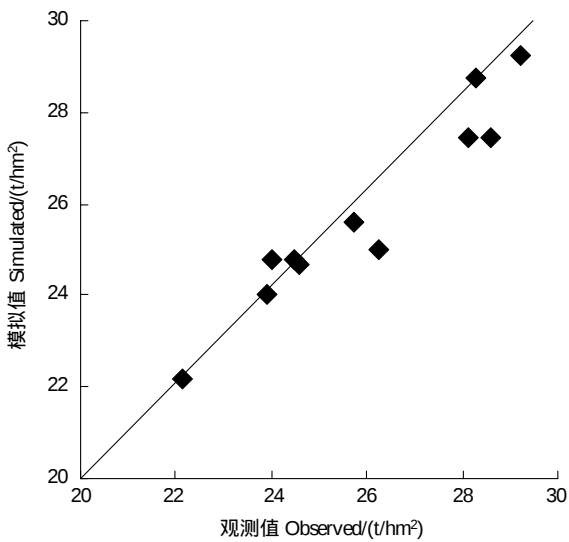


图 1 洛川旱塬不同生长年限苹果园地果实产量模拟值与观测值的比较

Fig.1 Comparison between simulated and observed yield on different ages of apple orchards at rainfed highland of Luochuan

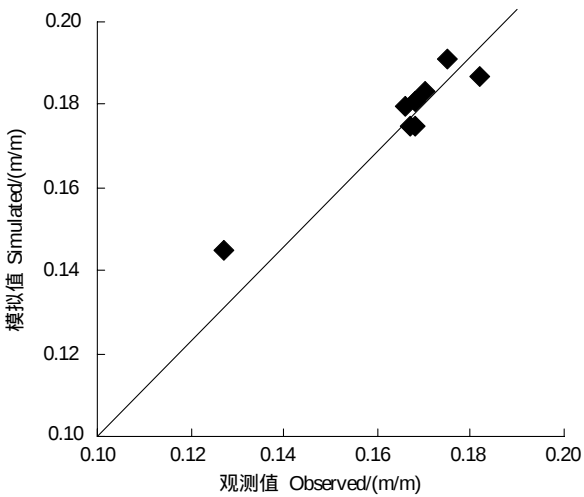


图 2 洛川旱塬地 15 年生苹果园地 0—10 m 土层土壤含水量模拟值与观测值的比较

Fig. 2 Comparison of statistic values between the simulated and observed soil water contents in 0—10 m profile on 15 years apple orchards at rainfed highland of Luochuan

3 结果与分析

3.1 苹果园地年耗水量与产量变化动态

1962—2001 年洛川旱塬年降水量为 342—912 mm,40 a 平均值为 607.9 mm,标准差为 124.2 mm,变异系数为 20.4%。在这 40 a 期间,洛川年降水量呈波动性降低趋势(图 3),如第 4 个 10a(1992—2001 年)较第 1 个 10a(1962—1971 年)年均降水量减少了 86.7 mm。

在 40 a 模拟研究期间,洛川苹果园地年耗水量介于 412—854 mm,平均值为 633.1 mm,标准差为 120 mm,变异系数为 19%,整体上呈现波动性降低的变化动态(图 3)。在 40 a 期间,苹果园地年耗水量平均值分别比同期年降水量平均值高 25.2 mm,40 a 共多耗水 1009 mm。在 1—15 年生(1962—1976 年)期间,苹果园地年耗水量值普遍高于当地同期年降水量值,此期年均多耗水 64 mm,16—40 年生(1977—2001 年)苹果园地年耗水量值和年降水量值基本接近或者相等,波动趋势完全吻合和一致,表明苹果园地深层土壤发生干燥化后,苹果树生长耗水主要依靠当年雨季降水供给。

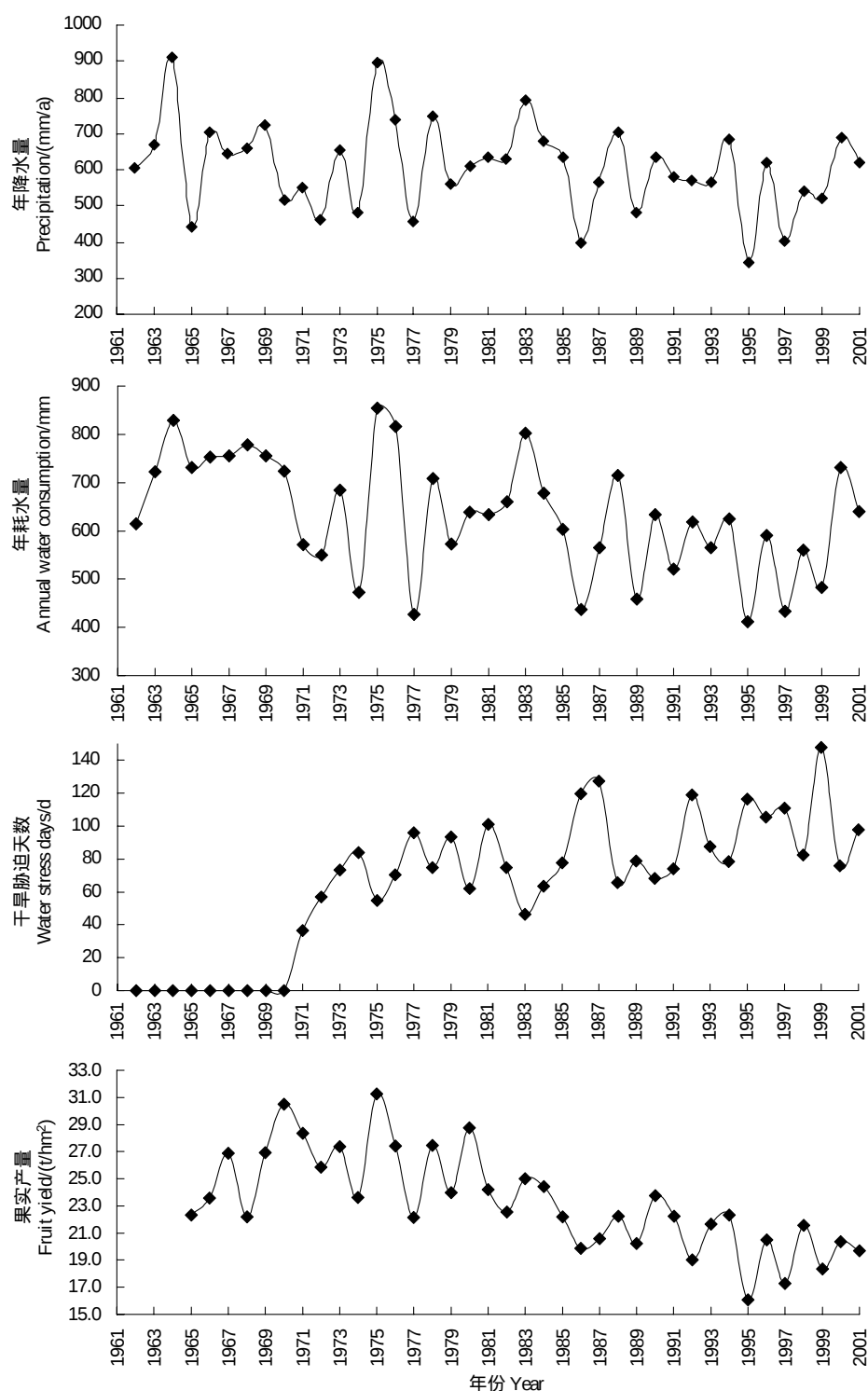


图3 洛川旱塬实时降水量、苹果园地年耗水量、干旱胁迫天数和果实产量模拟值变化动态

Fig.3 Dynamic of real-time annual precipitation, simulated annual water consumption, water stress days, and fruit yield at rainfed highland of Luochuan

在1962—2001年模拟研究期间,洛川4—40年生苹果园地连年产量为16.1—31.3 t/hm²,平均为23.3 t/hm²,标准差为3.59 t/hm²,变异系数为15.4%。在模拟初期,苹果园地连年产量呈波动性增加趋势,在11—23年生(1972—1984年)平均值达到最大,为28.8 t/hm²,此后,24—40年生(1985—2001年)平均值仅为20.7 t/hm²,此时苹果园地产量随降水量年际波动呈现出明显的波动性降低趋势(图3)。

EPIC 模型中干旱胁迫日数是指每年生长季节中苹果树生长遭受土壤干旱胁迫的天数,用以描述土壤水分亏缺对当季苹果树生长的胁迫程度。在 1—40 年生期间,苹果树生长遭受年干旱胁迫天数介于 0—147.8 d,平均 65.5 d,标准差为 41.5 d,变异系数为 63.3%。在 1—9 年生(1962—1970 年)苹果园地土壤干旱胁迫日数为零,表明此期尚未出现土壤干旱胁迫。在 10—40 年生(1971—2001 年)苹果园地土壤干旱胁迫日数呈现明显的波动性上升趋势,并且其波动趋势与年降水量波动趋势相反,表明苹果树生长遭受土壤干旱胁迫的程度日趋增加(图 3),此期,在 1999 年土壤干旱胁迫天数达到最大值 147.8 d。

3.2 苹果园地 0—10 m 土层逐月土壤有效含水量变化动态

土壤有效含水量是指苹果园地土壤含水量减去凋萎湿度含水量的差值,其含义是果树能够吸收利用的土壤水分含量。在 1962—2001 年模拟研究期间,苹果园地 0—10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值介于 560—1780 mm,480 个月平均值为 785.1 mm,标准差为 368.5 mm,变异系数为 46.7%。在 40 a 期间,苹果园地逐月土壤有效含水量下降趋势十分明显(图 4)。

1—10 年生(1962—1971 年)苹果园地 0—10 m 土层土壤有效含水量呈显著下降趋势(图 4),由 1962 年 1 月份的 1780 mm 迅速减少到 1971 年 12 月份的 760 mm,平均减少了 954.2 mm,此期土壤干燥化速率为 95.4 mm/a;11—20 年生(1972—1981 年)苹果园地 0—10 m 土层土壤有效含水量在 780—620 mm 范围内波动(图 4),平均值为 667.5 mm,标准差为 38.7 mm,变异系数为 5.8%,平均减少了 119.8 mm,此期土壤干燥化速率为 12 mm/a;21—40 年生(1982—2001 年)苹果园地 0—10 m 土层土壤有效含水量在 700—560 mm 的范围内发生小幅度波动(图 4),平均值为 616.3 mm,标准差为 27.2 mm,变异系数为 4.4%,平均减少了 30.8 mm,此期土壤干燥化速率为 1.5 mm/a。苹果园地在 20 a(1962—1981 年)生长过程中土壤有效含水量呈显著减少趋势,而后 20 a(1982—2001 年)在较低水平上发生小幅度波动,表明随苹果树生长年限的延长,土壤干燥化速度逐渐减小(图 4)。

3.3 苹果园地 0—10 m 土层土壤湿度剖面分布变化动态

在 1962—2001 年模拟研究期间,洛川 1—10 年生苹果园地 0—10 m 土层土壤湿度剖面分布变化剧烈,随着苹果树根系不断下扎和旺盛生长耗水,苹果园地土壤湿度逐年降低,土壤干层逐渐形成并且逐年加厚,苹果园地土壤干层最大分布深度在 1—2 年生时不超过 1 m,3 年生时超过了 1 m,4 年生时超过了 2 m,6 年生时达到了 3 m,7 年生时超过了 4 m,8 年生时达到了 6 m,9 年生时达到了 7 m,10 年生时超过了 8 m,11—12 年生时超过了 9 m,14 年生时超过了 10 m,20 年生以上苹果园地 2—10 m 土层土壤湿度基本接近凋萎湿度,并在此后长期保持稳定的土壤干层,只有上层土壤湿度随降水量发生变化(图 5)。此后深层土壤水库调节作用的丧失使苹果树生长基本完全依靠当季降水供给,再加上降水量的趋势性减少和土壤干旱胁迫程度的加剧,导致苹果园地产量逐渐下降。

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 关于渭北旱塬苹果园地产量和土壤干燥化效应

(1) 土壤干层^[28]作为一种特殊的土壤水文现象,广泛分布于黄土高原地区,它的形成严重恶化了土壤水分生态环境,对林草建设带来了不利影响^[19]。渭北旱塬苹果园地土壤干燥化现象是气候暖干化趋势和苹果树强烈耗水综合作用的结果。渭北旱塬 1955—1997 年气候暖干化趋势明显^[2],年均气温上升 0.02 ℃,年均降水量减少 1.5 mm。据笔者对 1962—2001 年洛川 40 a 降水量变化趋势分析显示,前 20 a 降水量平均值为 633.2 mm,而后 20 a 降水量平均值仅为 582.7 mm,前后平均年降水量减少了 50.5 mm,表明传统的半湿润区正在向半湿润偏旱区演变。在这种气候暖干化环境下,苹果园地蒸腾耗水作用不断增强,不仅消耗掉当季降水入渗量,还不断利用土壤水库贮水,导致苹果园地深层土壤水分逐年降低,加剧了深层土壤的干燥化。

(2) 由于苹果树根系发达和生物量大,苹果园地耗水强度和耗水深度都远高于一般农作物,也高于渭北旱塬半湿润区年降水量和降水入渗深度。8 年生、15 年生和 28 年生苹果园地多年平均蒸散量比同期多年降

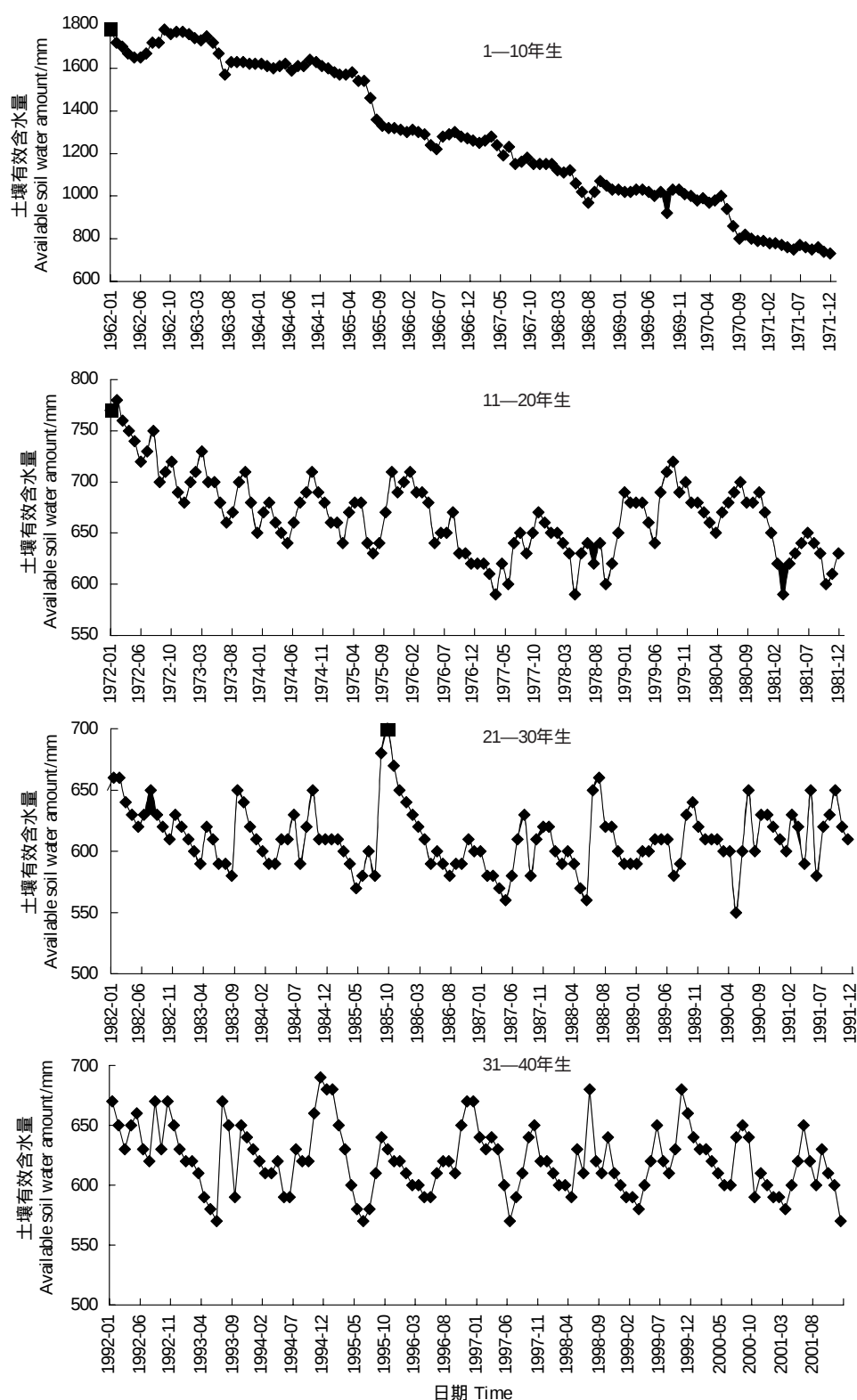


图4 洛川旱塬实时气象条件下苹果园地0—10 m 土层逐月土壤有效含水量模拟值变化动态

Fig. 4 The simulated monthly available soil water content changes in 0—10 m soil layers of apple orchards under real-time weather condition at rainfed highland of Luochuan

水量平均值分别高出 21.6、50.9、28.1 mm^[5]。据刘贤赵、冉伟等测算^[3, 6], 7 年生以上苹果园地最大降水入渗深度仅为 2—3 m, 而苹果树根系耗水深度可达 10 m^[5]。渭北旱塬地苹果树根系最大耗水深度尚缺少实际观

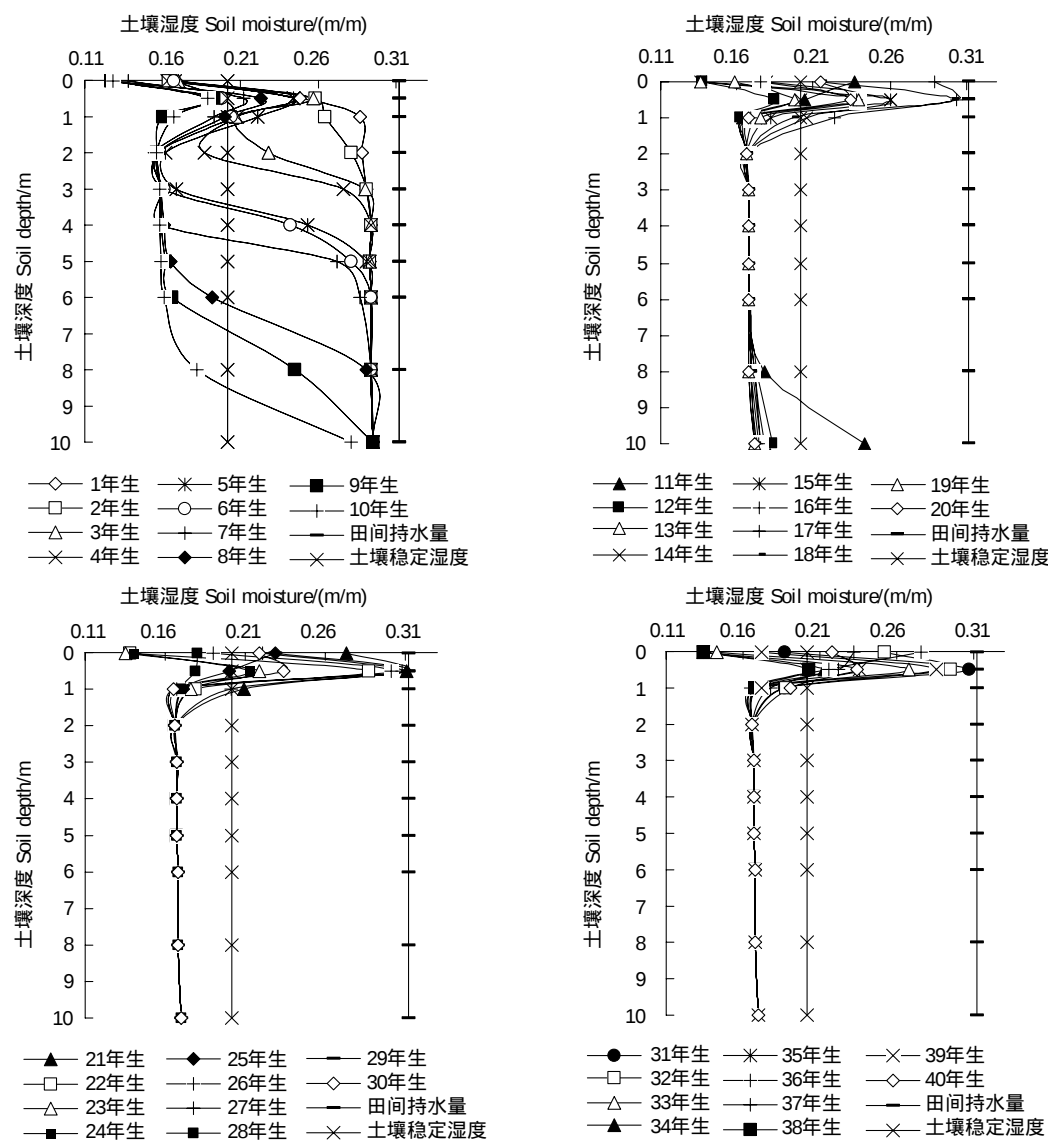


图5 洛川塬地不同生长年限苹果园地0—10 m 土层土壤湿度剖面分布特征比较

Fig.5 Comparison of soil moisture distributions in 0—10 m soil layers on different ages of Apple orchards at Luochuan highland

测数据,据本课题组对洛川试点苹果园地土壤湿度测定结果显示,26 年生以上苹果树根系耗水深度都在 13 m 以上,而且随苹果树生长年限的延长,根系深层耗水使苹果园地土壤水分利用深度和土壤干层分布深度不断加大,因此渭北旱塬 40 年生以上苹果园地最大耗水深度极有可能超过了 15 m。

(3)在苹果树生长初期,土壤水分条件较好,苹果树生长旺盛,产量不断增加,受当季降水量的影响较小,但苹果园地均出现了土壤干层,并且随着苹果树生长年限的延长,土壤干燥化剧烈,土壤干层分布深度逐年加大,到一定年限(14 年生)后,土壤干层分布深度超过了模型中设置的最大土层深度(10 m),2 m 以下土层土壤湿度减少幅度较小,而且在一定生长年限(20 年生)以后 2—10 m 土层土壤干燥化进程极为缓慢(图 5),但土壤干燥化程度还在加剧。由于土壤干层的出现及其分布深度的增大削弱了土壤水库对年际和季节性干旱的调节作用,最终导致苹果园地产量随降水量的自然变化呈现较大波动。

(4)许多学者对苹果园地土壤干燥化现象已有不少研究报道,并指出果园土壤水分状况对苹果的产量有重要影响,但至今无人明确提出适合渭北旱塬苹果园生长和利用的年限。本研究借助 EPIC 模型,定量模拟和分析了渭北旱塬苹果园地土壤干燥化效应对其产量水平的影响,并对苹果园产量的稳定性进行了分析。苹

果园地土壤干燥化进程在前期(1—10年生)快、中期(11—20年生)较慢、后期(21—40年生)极为缓慢(图5),从苹果园地土壤含水量考虑,中期苹果园地深层土壤含水量减少幅度逐渐下降,到后期苹果园地2—10 m土层形成了稳定的土壤干层,在土壤含水量相对较好的中期阶段种植苹果比在后期更有生态效益;苹果园在前期处于初果期(4—10年生)、中期处于盛果期(11—23年生)、后期处于衰退期(24—40年生)^[6],从苹果产量水平考虑,在产量较高的中期阶段种植苹果比在初期更有经济效益。据此,兼顾经济效益和生态效益,渭北旱塬苹果园地生长和利用的合理年限以20 a左右为宜,最长不宜超过23 a。

4.1.2 关于苹果园地产量和土壤水分效应模拟方法

由于苹果树生长周期较长,苹果园地土壤水分变化过程较长,采取长期定位方法测定苹果园地产量和土壤水分效应的工作难度较大。目前尚未见到关于苹果园地产量和深层土壤水分动态的长周期定位试验研究报道。因此,在较长时段内,运用“气候-土壤-植物-管理”复合系统动力学模型WinEPIC定量模拟研究渭北旱塬苹果园地产量和土壤水分效应,是一种简便和有效的研究方法。在本研究中,WinEPIC模型模拟结果是在实时气候、土壤和管理措施下对理想状态苹果园地树体生长和土壤水分利用潜在能力的反映,现实生产中老果园遭受干旱和病虫胁迫加剧,果园实际产量显著降低,使得果园产量模拟值较实际值偏高、而深层土壤含水量模拟值较实际观测值偏低,这应该是一种不可避免的、但尚可接受的模型误差。

在WinEPIC模型中最多可建立的土层数为10层,由于受土层数的限制,本研究建立的数据仅为10 m。本课题组于2010年7月中旬在洛川试点进行实地调查时发现,苹果树根系对土壤水分的利用深度可以达到15 m,因此本研究已建立的土壤数据库,不能完全满足模拟苹果园地土壤含水量的需要。如果按照15 m深度建立土壤数据库则会因土壤剖面厚度过大,而使模拟精度降低。因此,扩大模型中土层数或许会提高模型对苹果园地土壤含水量的模拟精度。

4.2 结论

(1)在1962—2001年模拟研究期间,洛川年均降水量和苹果园地年耗水量均呈波动性降低趋势,但40 a间年耗水量平均值比同期年降水量平均值高。4—40年生苹果园地产量整体呈降低趋势,在模拟初期苹果园地产量逐渐增加,在11—23年生期间平均值达到最大,此后随降水量年际波动呈现出明显的降低趋势。苹果园地出现土壤干旱胁迫后,干旱胁迫天数波动性上升。

(2)在模拟研究期间,苹果园地0—10 m土层逐月土壤有效含水量整体上呈降低趋势,在1—10年生期间下降趋势较为明显,此后降低幅度逐渐减小,1—10年生、11—20年生和21—40年生期间发生土壤干燥化并且程度逐渐加剧,但苹果园地土壤干燥化速度减缓。随着苹果树生长年限的延长,土壤湿度逐渐降低,土壤干层分布深度逐渐增大,到一定生长年限(14年生)后,土壤干层分布深度超过了10 m。

(3)兼顾苹果园地的经济效益和生态效益,洛川旱塬苹果园地生长和利用的合理年限应为20 a,最长不宜超过23 a。

References:

- [1] Li H K, Zhang G J, Zhao Z Y, Li K R. Effects of different herbage on soil quality characteristics of non-irrigated apple orchard in Weibei Loess Plateau. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(7): 2070-2076.
- [2] Yin S Y, Huang C C, Yan J P. On warming and drying of climate in Weibei dry land of Shaanxi province in recent 43 years. *Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2000, 28(1): 119-122.
- [3] Liu X Z, Huang M B. Status of soil water environment in apple orchards located in the area of Loess Plateau. *Journal of Fruit Science*, 2002, 19(2): 75-78.
- [4] Fan J, Shao M A, Hao M D, Wang Q J. Desiccation and nitrate accumulation of apple orchard soil on the Weibei Dryland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1213-1216.
- [5] Huang M B, Yang X M, Li Y S. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei Upland of the Loess Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 7-13.
- [6] Ran W, Xie Y S, Hao M D. Study on change of soil water in orchards of different planting-life in gully region of Loess Plateau. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2008, 17(4): 229-233.
- [7] Gao M S, Liao Y C, Li X, Huang J H. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the

- Weibei Plateau. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(10): 2080-2087.
- [8] Hu L J, Shao M A. Review on water eco-environment in vegetation restoration in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [9] Liu R L, Tong Y A, Gao Y M, Zhao Y. Study on soil nutrients in apple orchard and balanced fertilization in Shaanxi Weibei Dryland. *Journal of Northwest A and F University: Natural Science Edition*, 2008, 36(3): 135-140.
- [10] Wang L, Shao M A, Hou Q C. The primary research on dried soil layer in the Loess Plateau. *Journal of Northwest A and F University: Natural Science Edition*, 2001, 29(4): 34-38.
- [11] Li J, Chen B, Li X F, Zhao Y J, Ciren Y J, Jiang B, Hu W. Soil desiccating effects of forestlands, grasslands and croplands in zones different in rainfall pattern on the Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(1): 40-49.
- [12] Yin S Y, Huang C C. Soil dryization of the apple base in the Loess Plateau and its countermeasures. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(2): 76-80.
- [13] Williams J R. WinEPIC3060 Researcher's Guide. Texas A and M University, USA; Blackland Research Center, 2001.
- [14] Williams J R, Jones C A, Kiniry J R, Spauld D A. The EPIC crop growth model. *Transaction of American Society of Agricultural Engineering*, 1989, 32(2): 475-511.
- [15] Harman W L, Gerik T J. Researcher's guide to WinEPIC, version 1.0. Texas: Blackland Research and Extension Center, 2004.
- [16] Williams J R, Dyke P T, Fuchs W W. EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator; User Manual. US Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768, 1990.
- [17] The National Soil Survey and Investigation Office. Record of Chinese Soil Survey, Vol. 5. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1995: 244-254.
- [18] Shaanxi Province Soil Survey and Investigation Office. Soils of Shaanxi Province. Beijing: Science Press, 1992.
- [19] Yang W Z, Shao M A. Study on Soil Moisture in Loess Plateau. Beijing: Science Press, 2000: 30-34, 107-111.
- [20] Wang H S, Huang M B. The difference and accuracy of four methods in determining soil hydraulic parameters. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(2): 76-80.
- [21] Renard K G. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Loss Soil Equation (RUSLE). Washington DC: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1997.
- [22] Lu Q N, Jia D X. China Fruit Trees, Apple. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
- [23] Yang W Z, Yu C Z. Governing and Evaluated in Loess Plateau. Beijing: Science Press, 1992: 241-297.
- [24] Yang W Z, Tian J L. Essential exploration of soil aridization in Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 1-6.
- [25] Li J, Chen B, Li X F, Cheng J M, Hao M D. Effects of deep soil desiccations on alfalfa grasslands in different rainfall areas of the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 75-89.
- [26] Gai J Y. The Methods of Trial Statistics. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 99-190.
- [27] Hu X P, Wang C F. SAS Basic and Statistical Example Course. Xian: Xian Map Press, 2001: 73-85.
- [28] Li Y S. Effects of forest on water circle on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 427-432.

参考文献:

- [1] 李会科, 张广军, 赵政阳, 李凯荣. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 2070-2076.
- [2] 殷淑燕, 黄春长, 延军平. 陕西渭北旱塬近 43 年气候暖干化研究. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2000, 28(1): 119-122.
- [3] 刘贤赵, 黄明斌. 渭北旱塬苹果园土壤水分环境效应. *果树学报*, 2002, 19(2): 75-78.
- [4] 樊军, 邵明安, 郝明德, 王全九. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1213-1216.
- [5] 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. *地理学报*, 2001, 56(1): 7-13.
- [6] 冉伟, 谢永生, 郝明德. 黄土高原沟壑区不同种植年限果园土壤水分变化. *西北农业学报*, 2008, 17(4): 229-233.
- [7] 高茂盛, 廖允成, 李侠, 黄金辉. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(10): 2080-2087.
- [8] 胡良军, 邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [9] 刘汝亮, 同延安, 高义民, 赵营. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(3): 135-140.
- [10] 王力, 邵明安, 侯庆春. 黄土高原土壤干层初步研究. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2001, 29(4): 34-38.
- [11] 李军, 陈兵, 李小芳, 赵玉娟, 次仁央金, 蒋斌, 胡伟. 黄土高原不同降水类型区林地、草地与农田土壤干燥化效应比较. *土壤学报*, 2008, 45(1): 40-49.
- [12] 殷淑燕, 黄春长. 黄土高原苹果基地土壤干燥化原因及其对策. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(2): 76-80.
- [17] 全国土壤普查办公室. 中国土种志 (第五卷). 北京: 中国农业出版社, 1995: 244-254.
- [18] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 1992.
- [19] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究. 北京: 科学出版社, 2000: 30-34, 107-111.
- [20] 王红闪, 黄明斌. 四种方法推求土壤导水率参数的差别与准确性研究. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(2): 76-80.
- [22] 陆秋农, 贾定贤. 中国果树志 (苹果卷). 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [23] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社, 1992: 241-297.
- [24] 杨文治, 田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源. *土壤学报*, 2004, 41(1): 1-6.
- [25] 李军, 陈兵, 李小芳, 程积民, 郝明德. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应. *生态学报*, 2007, 27(1): 75-89.
- [26] 盖钧镒. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 2000: 99-190.
- [27] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程. 西安: 西安地图出版社, 2001: 73-85.
- [28] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 427-432.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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