

# LARS2WG 天气发生器在黄土高原的适应性研究

王幼奇, 樊军, 邵明安

(西北农林科技大学, 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤  
侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100, 陕西杨凌)

**摘要** 利用黄土高原地区西安、兰州、太原、银川、呼和浩特和延安 6 个气象站 1951) 1990 年的日序列的降雨量、最高温度、最低温度及日照时间, 用 LARS2WG 天气发生器模拟 1991) 2000 年的日气象资料, 并用 1991) 2000 年的实际观测值与之比较, 对 LARS2WG 天气发生器适应性进行了检验。通过线性回归、平方根误差和平均偏差评价表明: 通过长序列日气象资料, LARS2WG 天气发生器能准确地模拟黄土高原 6 个站点的日最高温度、日最低温度的月分布和年辐射总量。年降水及其月分布值普遍高于实际降水值。

**关键词** LARS2WG; 天气发生器; 适应性评价; 黄土高原

## Adaptability of climate generator of LARS2WG on the Loess Plateau

Wang Youqi, Fan Jun, Shao Ming an

(Northwest A&F University, State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, 712100, Yangling, Shaanxi, China)

**Abstract** Weather data generation is often used as input to computer programs such as hydrological and crop simulation models. Weather generators are also used to interpolate observed data to produce synthetic weather data at new sites, and they are employed in the construction of climate change scenarios. LARS2WG is one stochastic weather generator to produce the daily future weather scenarios for hydrological model and crop simulation models. It was well tested in many locations across the United Kingdom. This study was conducted to calibrate LARS2WG with 50 year daily precipitation, temperature, and solar radiation during data of six meteorological sites on the Loess Plateau of China. Meantime, we stimulated future climate conditions on the Loess Plateau. The results showed that annual and monthly distribution of daily maximum and minimum temperature and solar radiation can be simulated accurately. However, annual precipitation and its monthly distribution was little greater than observed value.

**Key words** LARS2WG; weather generator; adaptability assessment; the Loess Plateau

目前天气发生器被广泛的应用于土壤侵蚀模型、作物生长模型、水文学模型、气候变化、地球生态系统及极端气候事件发生的风险分析等方面<sup>[1]</sup>。它的优点是可以通过已有的气象数据模拟该地区未来的气象特征, 还可以为气象资料缺失地区提供系统的日序列气象资料, 从而为预测水文方面的灾害和

农作物产量提供参数保证。LARS2WG 天气发生器(以下简称 LARS2WG)是由英国洛桑实验室为了满足水文模型和作物模拟模型的需要而开发的一种随机气候发生器, 同时它也被大量地用于未来气候变化方面的研究<sup>[2]</sup>。LARS2WG 可利用某一地区历史气象资料和地形资料的统计特征生成未来若干年的

收稿日期: 2006012018 修回日期: 2007003013

项目名称: 中国科学院/西部之光0项目(2005YB01); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2005DI3); 西北农林科技大学人  
才基金资助(01140502)

第一作者简介: 王幼奇(1980), 男, 在读硕士生。主要研究方向: 植被蒸散过程与调控。E2mail: wyq0563@163.com

责任作者简介: 樊军(1974), 男, 助理研究员。主要研究方向: 土壤) 植被) 大气水分传输模拟。E2mail: fanjuniswc@163.com

com

降雨量、最高温、最低温和太阳辐射的日序列气象资料。国外许多学者将 LARS2WG 和其他气候发生器进行了适用性比较<sup>[3]</sup>, 与其他气候发生器之间的最大区别就是 LARS2WG 利用半经验分布来预测降雨量, 对罕见气候的模拟能力要比二阶马可夫链更具有优势<sup>[45]</sup>。LARS2WG 已在欧洲和美洲一些国家广泛应用, 但在国内的应用目前还未见报道。

LARS2WG 天气发生器是基于英国的气候特征建立的, 而英国的气候与世界其他地方尤其是我国的黄土高原地区存在显著差异<sup>[6]</sup>, 因此, 在应用 LARS2WG 之前必须对其适用性进行评价。笔者利用黄土高原地区西安、兰州、太原、银川、呼和浩特和

延安 6 个标准气象站 1951) 2000 年日序列的降雨量、最高温度、最低温度及日照时间, 对 LARS2WG 天气发生器在黄土高原的适应性进行检验。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源

研究气象资料全部来自国家气象资料中心, 西安、兰州、太原、银川、呼和浩特和延安气象站 1951) 2000 年的逐日气象资料被用来分析, 6 站在黄土高原的地形和气象资料见表 1, 这些站点在黄土高原具有很好的代表性。

表 1 各气象站的基本情况

Tab. 1 The main climatic parameters in the selected stations

站点	纬度	经度	海拔/m	平均最低气温/ e	平均最高气温/ e	降水量/mm
西安	34°18'	108°56'	397.5	9.3	20.0	575
兰州	36°03'	103°53'	1517.2	4.2	16.8	384
太原	37°47'	112°33'	778.3	6.8	17.2	447
银川	38°29'	106°13'	1111.4	3.9	15.9	195
呼和浩特	40°49'	111°44'	1063.0	0.2	13.2	411
延安	36°36'	109°30'	958.5	4.6	17.3	535

### 1.1.2 LARS2WG 天气发生器与模拟过程

LARS2WG 模型中利用半经验分布模型来模拟日降雨量、太阳辐射和干湿序列, 气温的模拟服从高斯分布曲线<sup>[7]</sup>。

1.1.2.1 降雨量和干湿序列 日降雨量和干湿序列分布服从半经验分布模型( $E_{mp}$ ), 其模型表达式为

$$E_{mp} = \{a_0, a_i, h_i, i = 1, \dots, 10\} \quad (1)$$

式中:  $[a_{i-1}, a_i]$  中  $a_{i-1} [a_i; h_i$  表示出现的范围在  $i$  中;  $i$  为间隔数。其中间隔  $[a_{i-1}, a_i]$  的选择是根据各个不同的气象因子而定的, 而对于降雨量和干湿序列的间隔  $[a_{i-1}, a_i]$  是随  $i$  的增加而增大的。

1.1.2.2 温度 LARS2WG 模型中温度的模拟是独立于降雨量的。日最高温和最低温的模拟被视为完全随机的过程。季节的循环利用高斯分布曲线, 而每个月的平均温度和标准差遵循傅里叶序列, 并利用傅里叶序列校正日最高温和最低温。

$$T_{max} = T_{mx} + S_{T_{mx}}v \quad (2)$$

$$T_{min} = T_{mn} + S_{T_{mn}}v \quad (3)$$

式中:  $T_{max}$  和  $T_{min}$  为日最高温度和日最低温度;  $T_{mx}$  和  $T_{mn}$  为特定月日最高温度和日最低温度的平均值;  $S_{T_{mx}}$  和  $S_{T_{mn}}$  为该月日最高温度和日最低温度的

标准差;  $v$  为标准正态偏差。

1.1.2.3 太阳辐射 太阳辐射分布也服从半经验分布模型, 其表达式同式 (1)。对于太阳辐射的间隔  $[a_{i-1}, a_i]$  则是月观测值中最低值和最高值之间, 然后利用半经验分布模型模拟出日辐射值。

### 1.1.3 基础数据处理和分析

在利用 LARS2WG 天气发生器模拟长序列日气象资料时, 要对原始数据进行以下几个步骤的处理。首先, 建立  $/* .sr0$  的数据文件, 将数据按照年份、天数、最低温、最高温、降雨量、日照或辐射的格式排列。然后, 将各个气象站点的地形资料编写入程序文件  $/* .st0$  中。若气象站点没有日辐射资料可以输入日照时间, 软件根据输入的站点位置信息将日照时数计算为日辐射量。最后运行软件, 将会产生模拟数据  $/* .sr0$  文件, 同时还会产生描述气象站点综合资料的  $/* .st0$  文件。

### 1.1.4 分析方法

利用线性回归、平方根误差和平均偏差进行分析。平方根误差(RMSE)为

$$S_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - M_i)^2}{n}} \quad (4)$$

平均偏差(MBE)为

$$S_{MBE} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - M_i}{n} \quad (5)$$

式中:  $E_i$  为模拟值;  $M_i$  为观测值;  $i$  为 1~ 12。

## 2 结果与讨论

### 2.1 观测值与模拟值的年分布

利用 1951) 1990 年 40 a 的日气象资料, 用 LARS2WG 模拟的 1991) 2000 年的最高温和最低温

的年均值与观测值之间的差异很小(表 2), 其模拟值普遍稍低于观测值。对降雨量的模拟值中延安和呼和浩特站模拟值低于观测值, 其他 4 个站点均高于观测值。对于年辐射总量的模拟中, 延安和呼和浩特的模拟值偏高, 这表明 LARS2WG 对于黄土高原各个气象特征累积值的模拟能力很强, 而对该地区特别干旱情况的模拟能力和对中等强度降水概率的模拟能力均较好, 对于年辐射总量的模拟结果与计算得出的辐射值有较好的一致性。

表 2 1991) 2000 年实测年均值与模拟值比较

Tab. 2 Comparison of observed and estimated yearly means of meteorological data

项目	西安		兰州		太原		银川		呼和浩特		延安	
	实测	模拟	实测	模拟								
最低温/ e	9.82	8.56	5.20	3.64	4.32	3.33	3.42	3.55	1.38	- 0.31	4.80	3.61
最高温/ e	19.82	18.87	17.26	16.44	17.54	16.41	16.27	16.71	13.81	12.81	17.78	17.07
降雨量/mm	525	606	320	335	419	496	183	204	405	390	405	390
辐射/(MJ#m <sup>-2</sup> )	5 434	4 718	5 324	5 541	5 236	5 509	5 185	5 511	4 951	5 755	4 951	5 755

### 2.12 观测值与模拟值的月分布

表 3 给出了 1991) 2000 年月观测值和模拟值的决定系数 ( $R^2$ ) 和斜率, 结果显示, 除了西安月降水量平均值、银川月最低温最高温的  $R^2$  值小于 0.19 以外, 其余的  $R^2$  值均大于 0.19。对于 LARS2WG 模拟的各站点的最低温除了银川站外, 其他站点都与观测值很接近, 其中西安、银川和延安低温观测值均略低于观测值, 因为它们的斜率小于 1。对于最高温的模拟值和最低温模拟值的情况相似, 经 Q-Q 图检验, 它们的均值分布曲线服从正态分布。这与 LARS2WG 中对日最高温度和日最低温度服从独立

正态分布的假设是一致的, 且二者之间也存在密切的相关性。这与张光辉等<sup>[8]</sup>利用 CLIGEN 模拟黄河流域的气温以及史婉丽等<sup>[9]</sup>利用 CLIGEN 模拟安塞站气温的结果一致。在月降水量均值的模拟中 6 站点的模拟降水量与观测值接近, 仅西安站的模拟降水量略高于观测值, 主要因为西安站的 9、10 月降水量的模拟值偏高。6 个站点中的辐射量的模拟值和观测值之间均有很好的相关性。这也充分的说明在对降水量和辐射量的模拟中使用半经验分布模型有很好的效果, 这与 Mavromatis 等<sup>[10]</sup>比较了 4 种不同的天气发生器所得出的结论一致。

表 3 1991) 2000 年实测月均值与模拟值决定系数

Tab. 3 Regression coefficient of observed and estimated monthly means

项目	西安		兰州		太原		银川		呼和浩特		延安	
	$R^2$	斜率										
最低温	0.996	0.984	0.998	1.041	0.998	1.002	0.85	0.878	0.998	1.001	0.999	0.983
最高温	0.996	0.991	0.998	0.995	0.994	1.003	0.83	0.839	0.998	0.985	0.996	0.991
降雨量	0.864	1.035	0.905	0.833	0.940	0.969	0.94	0.969	0.944	0.914	0.957	1.173
辐射	0.974	1.079	0.979	1.084	0.989	1.124	0.99	1.127	0.954	1.279	0.964	1.009

根据公式计算黄土高原 6 站点最低温、最高温、降雨量和辐射观测值和模拟值之间的平方根误差与平均偏差, 结果如图 1 所示。根据平方根误差的结果, 其值越小, 表明观测值和模拟值之间的关系越密切, 差异越小。就最低温和最高温而言, LARS2WG

对于银川站的模拟效果不如其他 5 个站点。这可能和银川地处沙漠边缘, 气温受到沙漠气候的严重影响有关。降水量的平方根误差结果显示, 对兰州、银川和呼和浩特的模拟比西安、太原和延安的效果要好。对于辐射量的模拟中, 呼和浩特和西安的模拟

效果不如兰州、太原、银川和呼和浩特 4 个站点。因

此, LARS2WG 对于气象因子的模拟也存在地域差异。

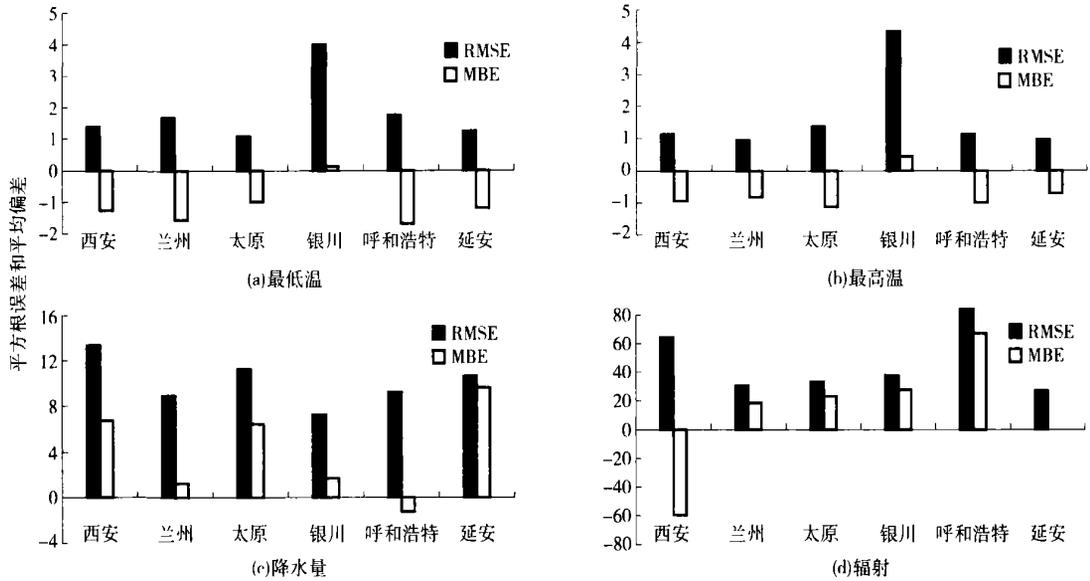


图 1 月模拟值的平方根误差和平均偏差

Fig. 1 RMSE and MBE between observed and estimated values

### 3 小结

利用黄土高原地区西安、兰州、太原、银川、呼和浩特和延安 6 个标准气象站 50 a 日气象资料, 对 LARS2WG 天气发生器在黄土高原的适应性进行了检验。结果表明, 不论从年值分布还是月值分布, 最高温和最低温的模拟值和观测值之间都很好的吻合。对于降水量的模拟除西安站模拟值偏高外, 其他 5 个站点的模拟效果均较好, 辐射的年值和月均值的模拟效果也较为满意, LARS2WG 可以用来模拟产生黄土高原地区的日气象资料。

### 4 参考文献

[1] Castellvi F, Stockle C O. Comparing the performance of WGEN and CLIMGEN in the generation of temperature and solar radiation. American Society of Agricultural Engineers, 2001, 44(6): 1683D1687

[2] Semenov M A, Barrow E M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic Change, 1997, 35: 39D414

[3] Richardson C W, Wright D A. WGEN: a model for generating daily weather variables. Washington, DC: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1984

[4] Semenov M A, Brooks R J, Barrow E M, et al. Comparison of the WGEN and LARS2WG stochastic weather generators in diverse climates. Climate Research, 1998(10): 95D107

[5] Semenov M A, Brooks R J. Spatial interpolation of the LARS2WG stochastic weather generator in Great Britain. Climate Research, 1999(11): 137D148

[6] Semenov M A, Barrow E M. LARS2WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User manual 3.0[R/OL]. [2002008]. <http://www.rothamsted.ac.uk/ma2/models/download/LARS2WG2Manual.pdf>

[7] Racsó P, Szeidl L, Semenov M A. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modeling, 1991(57): 27D41

[8] 张光辉. CLIGEN 天气发生器在黄河流域的适应性研究. 水土保持学报, 2004, 18(1): 175D178, 196

[9] 史婉丽, 杨勤科, 穆婉红. 随机气候生成器在黄土高原的适用性检验. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 18023

[10] Mavromatis T, Hansen J W. Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. Agricultural and Forest Meteorology, 2001(109): 283D296

(责任编辑:程云)