

文章编号: 1006-4354 (2005) 05-0005-03

# 天气发生器对陕西降水的模拟

杨文峰<sup>1</sup>, 陈德亮<sup>2</sup>, 胡春娟<sup>1</sup>

(1. 陕西省气象台, 陕西西安 710014; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:**以两状态一阶马尔科夫链和两参数 GAMMA 分布为天气发生器, 利用陕西省 6 个代表站 1961—2000 年的逐日降水资料, 计算了降水转移概率  $P(WD)$ 、 $P(WW)$  及 GAMMA 分布参数 ALPHA 和 BETA。根据各地不同月份计算的 4 个降水模拟参数对各地的逐日降水进行模拟, 最后利用 1971—2000 年的实测数据对 30 a 模拟结果进行了检验, 结果较好。

**关键词:**天气发生器; 马尔科夫链; GAMMA 分布; 降水模拟

**中图分类号:** P466

**文献标识码:** A

天气发生器是气候影响评价研究的重要工具, 在气候变化、地球生态系统及极端气候事件发生的风险分析等方面有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。天气发生器又称天气数据模拟模型, 是研究某个地区天气或气候的一般特征, 并根据这些统计特征模拟出该地区一年内逐日天气数据的模型, 天气发生器是一种随机模型。可模拟的气候要素主要有降水量、最高气温、最低气温、太阳辐射等。国际上对天气发生器的研究最早开始于 20 世纪 60 年代<sup>[2]</sup>, 目前, 天气发生器已用于进行气候条件的影响评价, 并成为全球气候变化、极端气候事件发生及气候影响风险评估等研究的重要工具; 中国在天气发生器方面的研究始于 20 世纪 80 年代末, 主要是引进国外的天气模型, 对其参数化方案和模拟效果在中国部分地区进行检验<sup>[3]</sup>, 并在此基础上加以改进。但是受气候资料等方面的原因, 很难准确反映当地气候的基本状态, 近年廖要明等<sup>[1]</sup>在前人工作的基础上研究开发了适用于中国广大地区的中国天气发生器, 在模型参数的估计上使用了更长的时间序列, 更能反映当地的实际气候, 本文使用这些模型研究陕西省代表站的降水模拟。

## 1 资料和方法

在陕西省的陕北、关中、陕南各选 2 个代表

站, 分别是: 榆林、延安、宝鸡、西安、汉中、安康。为了使得到的降水模拟参数能较好地代表各地的实际气候状况, 至少需要 20 a 以上的逐日降水序列, 资料年代越长越能准确反映当地气候的基本态, 选取这些站 1961—2000 年共 40 a 的逐日降水观测资料, 分别计算各自 1—12 月的降水转移概率  $P(WW)$ 、 $P(WD)$  及两参数 GAMMA 分布的形态参数 ALPHA 和尺度参数 BETA, 从而实现对这些站的逐日降水的模拟。

降水的模拟主要包括两个过程, 首先是降水发生的模拟, 即确定当天是否产生降水, 用干、湿日来表示。降水的发生模拟模型用两状态一阶马尔科夫链, 因其简单、实用而成为大多数天气发生器采用的模拟模型。干、湿日序列确定下来后, 如果为干日, 则日降水量为 0 mm, 如果为湿日, 则要进行日降水量的模拟, 用常用的两参数 GAMMA 分布进行模拟。一阶马尔科夫链法, 假设日降水量  $> 0.1$  mm 为一个湿日, 用符号 W 表示, 用 D 表示干日, 设  $P(WW)$  表示前一天为湿日的条件下仍维持为湿日的转移概率,  $P(WD)$  表示前一天为干日的条件下转移为湿日的转移概率, 则马尔科夫链可以由  $P(WW)$ 、 $P(WD)$  唯一确定, 由于陕西省的降水都具有明显的季节性变化, 所以转移概率的计算按月 (1—12 月) 分别

收稿日期: 2005-04-21

作者简介: 杨文峰 (1967-), 男, 江西樟树人, 硕士, 高工, 从事天气气候的开发和研究工作。

进行计算较为合理。

日降水量的变化用两参数的 GAMMA 分布来描述, 其分布密度为:

$$f(x) = x^{(\alpha-1)} e^{-x/\beta} / \beta^\alpha \Gamma(\alpha),$$

式中  $\alpha$  (又用 ALPHA 表示) 为形态参数, 其大小主要依赖于偏差系数  $C_s$ , 其关系式为:

$$\alpha = 4/C_s^2,$$

因而  $\alpha$  的大小决定了 GAMMA 分布的形状,  $\beta$  又用 BETA 来表示, 为尺度参数, 在  $\alpha$  一定的前提下, 其大小主要决定于序列的均方差  $\sigma$ , 它们之间有关系式:

$$\beta = \sigma/\alpha^{1/2},$$

因而  $\beta$  的大小决定了 GAMMA 分布的尺度 (分散度)。经检验, 中国大部分地区各月及全年日降水量的分布均接近于两参数的 GAMMA 分布。一阶马尔科夫链的转移概率和分布的形态参数尺度参数称为降水模拟参数, 对于陕西省来说, 降水具有明显的季节性变化, 所以按月份进行统计求算模型模拟参数, 如果一个地区各月的降水转移概率  $P(WW)$ 、 $P(WD)$  确定下来后, 就可以与计算机产生的  $[0, 1]$  之间的随机数进行比较产生该月的干湿日系列。假设模拟时段的第 1 年第 1 天为干日, 降水量为 0 mm, 如果产生的随机数大于该月的  $P(WD)$ , 即干日转化为湿日的概率小于随机数, 则第 2 天仍维持为干日, 降水量为 0 mm, 否则, 转移概率大于等于随机数, 第 2 天转换为湿日, 需要通过两参数的 GAMMA 分布来产生该日的降水量。在模拟过程中, 当前一天为湿日时, 则将产生的随机数与该月的降水转移概率  $P(WW)$  比较, 如果随机数大于  $P(WW)$  则当天为干日, 降水量为 0 mm。依此类推, 即可产生若干年的逐日降水序列。

## 2 结果分析

### 2.1 转移概率 $P(WD)$ 、 $P(WW)$ 变化

由代表站  $P(WD)$  (见图 1)、 $P(WW)$  (图略) 随时间变化可知, 安康  $P(WD)$  为三峰型, 峰值分别为: 5 月、7 月、9 月, 而 6 月、8 月为相对低值, 表明安康在 5 月、7 月、9 月晴天第二天降水的概率大, 6 月、8 月连续晴天的概率大, 其余 5 站均为单峰型, 峰值均为 7 月, 降水相对

集中。6 个代表站的  $P(WW)$  随时间变化趋势基本一致, 一年中变化幅度相对较小, 陕北的最大值在 7 月, 关中、陕南的最大值在 9 月, 说明关中、陕南 9 月降水持续的概率大。

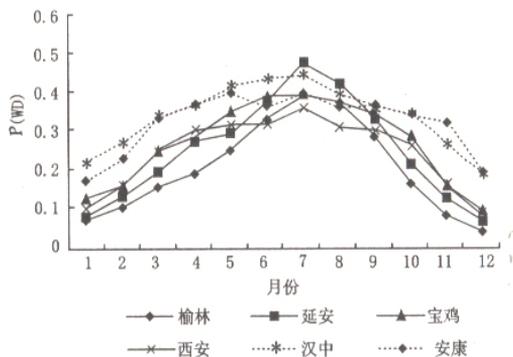


图 1 陕西 6 个代表站点  $P(WD)$  随时间变化

### 2.2 GAMMA 分布参数 ALPHA、BETA 变化

由 6 个代表站的 ALPHA、BETA 变化可知, 各月的 ALPHA 相差较大, 在 0.3~0.8 之间, ALPHA 夏季较小, 冬季较大, 表明冬季日降水量的分布偏度较小, 而夏季相对较大, 各代表站的 ALPHA 在一年中变化趋势基本一致。BETA 的大小 (图 2) 反映了降水量分布的离散程度, BETA 各月变化很大, 在 0~25 之间, 冬季小, 夏季大, 表明夏季降水量的日际变化很大, 而冬季降水量的日际变化较小。

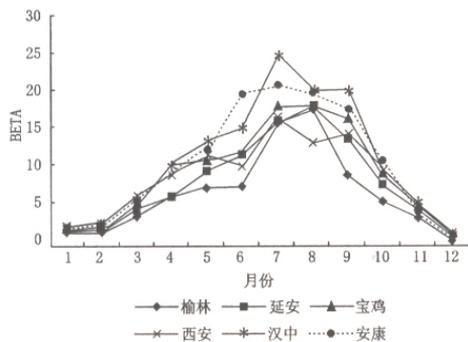


图 2 陕西 6 个代表站 BETA 随时间变化

### 2.3 降水模拟结果分析

由于代表站的降水资料较短, 而确定模型参数和检验模型又需要 30 a 以上的数据, 所以独立

检验不好实现,因此仅检验降水模型的拟合效果。为了检验降水模型的拟合效果,用代表站 1971—2000 年的实测资料和模型拟合结果进行比较,选择各月降水日数、年大雨(日降水量 $\geq 25$  mm)日数、各月最大降水量 3 个指标来比较拟合值和实测值。由图 3(仅给出西安站的图,其它站也基本相同)可知,各月降水日数实测值与拟合的趋势基本一致,但拟合值比实测值系统偏大。

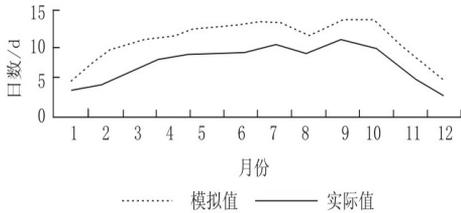


图 3 天气发生器对西安站平均降水日数的模拟值与实际值比较

由图 4(仅给出西安站的图,其它站也基本相同)可知,年大雨(日降水量 $\geq 25$  mm)日数实测值与拟合值的趋势较为一致,数值也很接近,模拟效果很好。

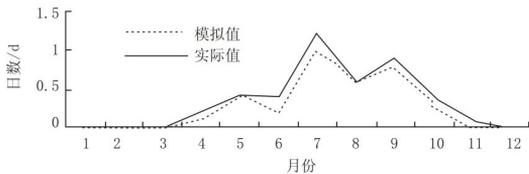


图 4 天气发生器对西安站年大雨日数的模拟值与实际值比较

由图 5(仅给出西安站的图,其它站也基本相同)可知,各月最大降水量实测值与拟合值,除夏季误差较大外,其余季节拟合效果尚可。

由以上分析可知,用两状态一阶马尔科夫链建立陕西省降水发生器,对陕西降水进行模拟是可行的,且效果较好。

### 3 结论

3.1  $P(WD)$  安康为三峰型,峰值分别为:5月、

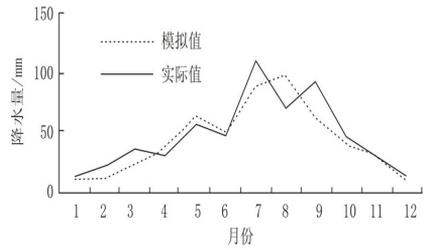


图 5 天气发生器对西安站最大降水量的模拟值与实际值比较

7月、9月,而6月、8月为相对低值,表明安康在5月、7月、9月晴天第二天降水的概率大,6月、8月连续晴天的概率大,其余5站均为单峰型,峰值均为7月,降水相对集中。陕西6个代表站的 $P(WW)$ 随时间变化趋势基本一致,一年中变化幅度相对较小,陕北的最大值在7月,关中、陕南的最大值在9月,说明关中、陕南9月降水持续的概率大。

3.2 ALPHA、BETA 变化,各月降水日数实测值与拟合的趋势基本一致,但拟合值比实测值系统偏大。年大雨(日降水量 $\geq 25$  mm)日数实测值与拟合值的趋势较为一致,数值也很接近,模拟效果很好。各月最大降水量实测值与拟合值,除夏季误差较大外,其余季节拟合效果尚可,总的拟合效果较好。

3.3 用两状态一阶马尔科夫链建立陕西省降水发生器,对陕西省降水进行模拟是可行的,且效果较好。

### 参考文献:

- [1] 廖要明,张强,陈德亮.中国天气发生器的降水模拟[J].地理学报,2004,59(5):698.
- [2] Gabriel R. A Markov chain model for daily rainfall occurrence in Tel Aviv Israel[J].Q J R Met Soc., 1962, 88: 90-95.
- [3] Richardson C W. Weather simulation for crop management models[J]. Trans. ASAE, 1985, 28: 1602-1606.