

利用幂律尾指数的中国降水突变检测与归因^{*}

支 蓉[†] 龚志强

(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

(国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2007 年 10 月 12 日收到)

利用中国气象局国家气候中心 740 站点 1960—2000 年日降水观测资料, 研究日降水幂律尾指数随时间的演变特征. 结果表明中国华北、东北和西北地区 0—7 mm 日降水幂律尾指数在 1979—1980 年之间发生突变, 由此推测中国北方地区的大尺度气候背景在上世纪 70 年代末 80 年代初曾出现较大变化. 该突变与厄尔尼诺和南方涛动 (ENSO) 综合指数联系紧密, 可能是造成北方干旱化的重要原因之一. 进一步分析表明, 0—29 mm 日降水过程平稳性较好, 30 mm 以上日降水过程平稳性相对较差, 使得长期的暴雨预测面临严峻的挑战.

关键词: 幂律尾指数, 突变, 北方干旱化, 暴雨

PACC: 9260X

1. 引 言

在文献 [1] 中, 我们借助长度为 10 年的滑动窗口研究中国七个气候特征区日降水幂律尾指数随时间的演变特征. 分析表明, 对应于 0—7 mm 日降水, 中国华北、东北和西北地区(以下简称三北地区)在 1979 年前后发生突变, 其后幂律尾指数急剧增大, 1989 年之后, 幂律尾指数又逐渐变化缓慢, 进入另一个稳态变化的时段. 研究中, 我们将幂律尾指数按惯例赋值给窗口中的末尾年份, 由此造成无法精确确定突变发生的时间, 即同一窗口中的 10 个年份均有可能; 另外, 由于所检测到的两个突变点正好间隔 10 年(等于一个窗口的长度), 且其间幂律尾指数几乎呈线性上升的趋势, 对此我们不禁产生这样的疑问: 中国三北地区日降水幂律尾指数这种近似线性的增长会不会是窗口的滑动所造成的? 三北地区日降水在两个稳态之间的转变究竟是突变还是历时十年左右的渐变过程? 如果是突变, 引起突变的可能原因是什么? 如何确定突变发生的具体时间?

为了解决这些疑惑, 本文仍然基于中国气象局国家气候中心 740 站点 1960—2000 年日降水观测资料, 采用“逆向”研究的方法, 充分利用长度有限的观

测资料, 分析中国七个气候特征区日降水幂律尾指数随时间的演变特征, 检测日降水幂律尾指数随时间推移是否存在突变, 并进一步精确确定突变发生的具体时间及可能原因. 另外, 通过对不同降水段幂律尾指数随时间的演变情况的对比分析, 讨论了不同雨型降水过程的平稳性问题.

2. 统计方法

为了消除窗口长度对精确定位突变发生时间的的影响, 必须减小窗口长度, 但窗口长度过短(即样本量过少)必然导致结果(幂律尾指数)无法较好地反映日降水的统计特性. 为了解决这一矛盾, 我们类似文献 [2] 中的做法, 采用“逆向”思维, 在 1960—2000 年(共 41 年)数据的基础上依次去掉某一年份的数据, 对剩余的长度为 40 年的数据进行统计并计算幂律尾指数 γ_{40} , 将其赋值给相应被去掉的年份 π (例如, 去掉 1965 年的数据, 对(1960—1964 年)+(1966—2000 年)共 40a 的数据进行统计并计算幂律尾指数 γ_{40} , 将其赋值给 1965 年). 这样得到结果可以“逆向”反映每一年的降水状况对幂律尾指数的影响, 不仅充分利用了数据, 保证了统计结果的可靠性, 而且大大提高了结果的“分辨

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 40675044), 国家重点基础研究发展计划(973)项目(批准号: 2004CB418300)资助的课题.

[†] E-mail: z_rongphy@126.com

率”。具体计算幂律尾指数的方法与文献[1,2]类似,此处不再赘述。

3. 结果分析

图1是中国三北地区及华南地区0—7 mm日降水幂律尾指数 γ_{40} 随时间的演变情况,由图可以清楚地看出:三北地区(图1(a)–(c))0—7 mm日降水幂律尾指数 γ_{40} 随时间演变在1979年和1980年之

间发生突变,突变前后 γ_{40} 随时间演化具有不同的均值,表明三北地区0—7 mm日降水在前后两个时间段处于不同的稳定态。这一结果也说明了文献[1]中检测到的两个突变点(1979年和1989年)之间幂律尾指数近似线性的增长是窗口滑动导致的,日降水幂律尾指数在两个稳定态之间的转换是突变而不是渐变过程,同样是0—7 mm日降水,华南地区(图1(d))则没有突变发生(其他气候特征区和其他降水段与之类似,图略)。

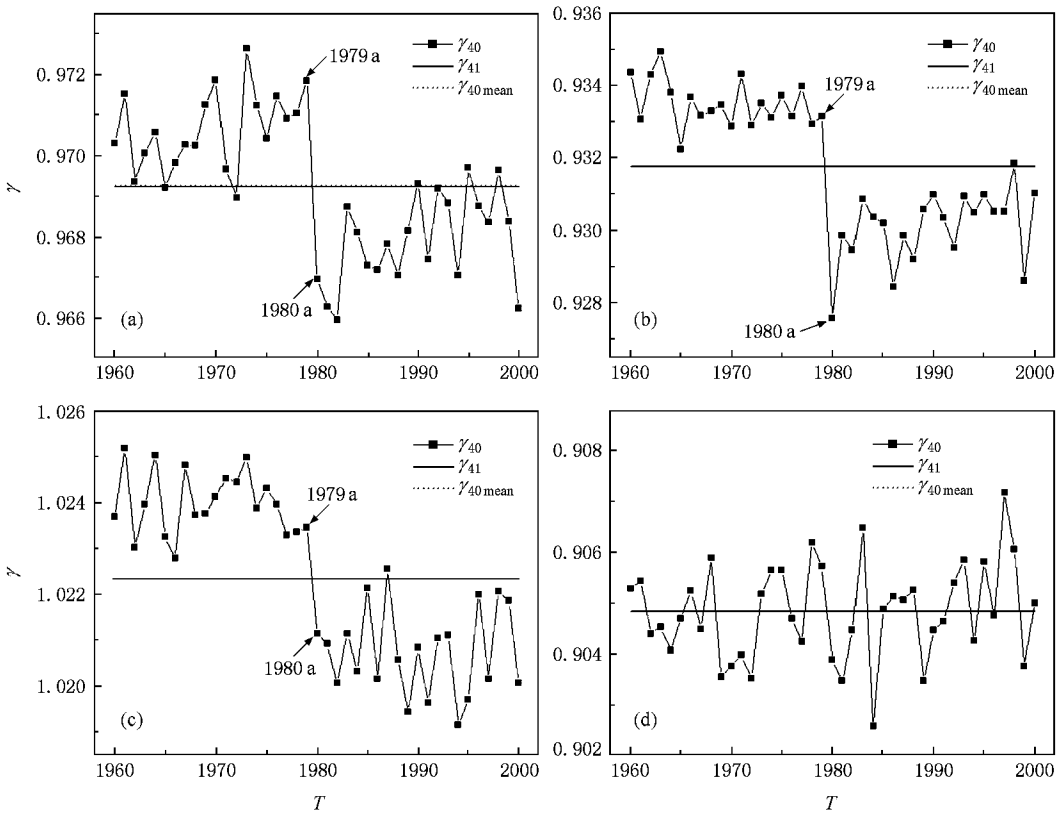


图1 0—7 mm日降水幂律尾指数 γ_{40} 随时间的演变情况 (a)华北 (b)东北 (c)西北 (d)华南

中国三北地区0—7 mm日降水幂律尾指数发生突变的时间与中国北方干旱化开始的时间相一致,二者之间的联系不容忽视。根据文献[2]中的结论,0—7 mm日降水是一个平稳性过程^[3–7],除非大尺度气候背景发生变化,否则其状态分布维持稳定,不依赖于时间,由此我们大胆推测,中国三北地区的大尺度气候背景在1979—1980年间经历了一次根本性的大变动,从而引起该地区小雨的雨情变化,1980年之后三北地区0—7 mm日降水状况变化至另一状态并维持相对稳定很可能是造成干旱化持续的重要原因之一。

大气中存在北太平洋涛动(NPO)和南方涛动

(SO)等气压涛动现象,大气涛动的研究揭示了大气环流变率的空间分布类型,涛动随时间的变化对全球气候变化有重要影响^[8]。许多研究表明,北太平洋涛动(NPO)、南方涛动(SO)、北方涛动(NO)、厄尔尼诺和南方涛动(ENSO)综合指数(MEI)、El Niño指数(TNI)、西太平洋涛动(WPO)等可能是影响中国气候异常的重要因子,它们中任何一个因子的前期变化都可导致几个月后中国发生旱涝、高温、冷害等异常气候灾害^[9–23]。我们选取美国国家海洋与大气管理委员会官方网站(National Oceanic & Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce)^[24]的这六种遥相关指数

序列, 计算它们与三北地区 0—7 mm 日降水幂律尾指数序列的相关系数并进行信度检验 结果如表 1.

表 1 γ_{40} 与六种遥相关指数的相关系数

指数 区域	NP	SOI	NOI	MEI	TNI	WP
东北	0.35 (0.05)	0.28 (0.1)	0.35 (0.05)	-0.38 (0.02)	0.07 (>0.1)	0.15 (>0.1)
华北	0.19 (>0.1)	0.25 (>0.1)	0.20 (>0.1)	-0.28 (0.1)	0.09 (>0.1)	0.27 (0.1)
西北	0.35 (0.05)	0.36 (0.05)	0.41 (0.01)	-0.42 (0.01)	0.10 (>0.1)	0.25 (>0.1)

注 () 中为信度检验.

由表 1 可以看出 : 三北地区 0—7 mm 日降水幂律尾指数 γ_{40} 与 ENSO 综合指数 (MEI) 之间的关系显得非常“特别”. 首先, γ_{40} 与 MEI 之间的相关均为负相关, 而与其他指数之间则为正相关 ; 其次, γ_{40} 与 MEI 之间的相关程度均为最高 (特别是华北地区), 与另外 5 个遥相关指数之间的相关系数均未通过 0.1 的信度检验 (即信度 < 90%). 这一结果表明, 无论是对三北地区降水的研究, 甚至是对北方干旱化这一重大课题的研究, ENSO 综合指数 (MEI) 都是一个值得我们关注的重要因素.

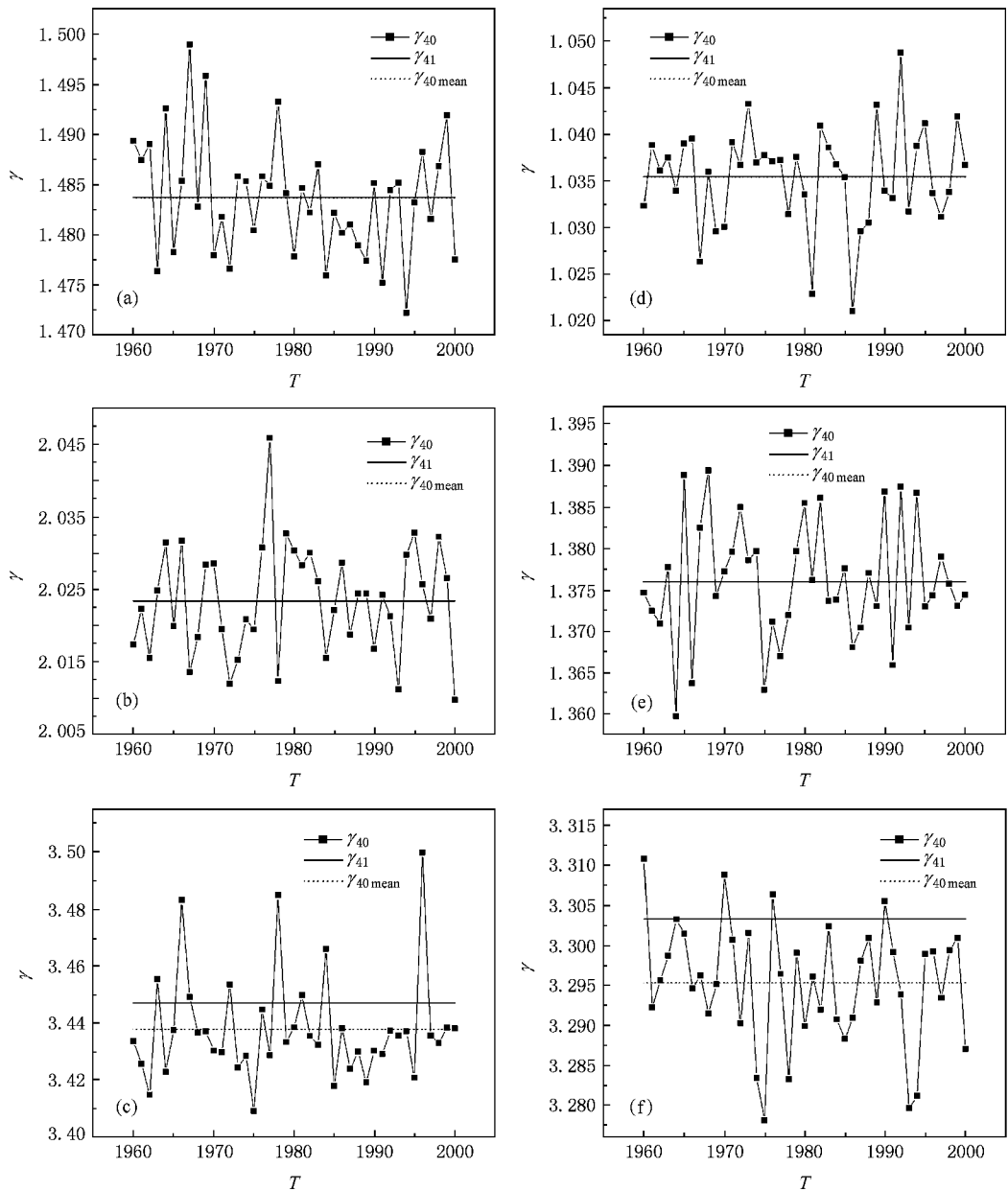


图 2 华北和华南 8—15 mm, 15—29 mm 和 30 mm 以上日降水幂律尾指数 γ_{40} 随时间的演变情况 华北 (a) 8—15 mm (b) 15—29 mm (c) 30 mm 以上 ; 华南 (d) 8—15 mm (e) 15—29 mm (f) 30 mm 以上

对比图 1 和图 2 可以看出,各降水段幂律尾指数随时间推移上下波动,虽然由于每次计算时只在原序列(41 年)的基础上去掉了 1 年的数据,因此波动的“振幅”大小有限,但仔细比较可以发现:对应 0—7 mm 降水段,“振幅”保持在 10^{-3} 量级以内;8—15 mm 和 16—29 mm 降水段,“振幅”约为 10^{-2} 量级(均小于 5×10^{-2});而对应 30 mm 以上降水段,“振幅”大小位于 10^{-2} — 10^{-1} 量级(均大于 5×10^{-2});总体而言,降水量越大,幂律尾指数随时间演变波动的剧烈程度越强,越不稳定.另外,我们还计算了幂律尾指数随时间演变的均值 $\overline{\gamma_{41}}$ 以及原序列的幂律尾指数 γ_{41} ,对于 0—7 mm,8—15 mm 及 16—29 mm 降水段, $\gamma_{41} \approx \overline{\gamma_{41}}$, γ_{40} 围绕 γ_{41} 和 $\overline{\gamma_{40}}$ 上下“规律”波动(γ_{40} 大于和小于 γ_{41} (和 $\overline{\gamma_{40}}$)的年份数基本相当);但对于 30 mm 以上降水段, γ_{41} 明显大于 $\overline{\gamma_{40}}$, γ_{40} 大于 γ_{41} 的年份明显较少.因此以上两方面的分析表明,0—29 mm 日降水随时间的变化相对平稳,各年份的降水状况基本符合平均态,仅有微小偏移;而对于 30 mm 以上日降水,其稳定性相对较差,每一年的降水状况都会对总体统计结果(γ_{41})产生较大影响,造成 γ_{41} 和 $\overline{\gamma_{40}}$ 之间差异明显.这一结论恰与文献 2 的结论相符,进一步证明幂律尾指数的大小确实可以反映出降水过程的平稳性特征,0—29 mm 日降水(γ

< 3)是平稳性过程或包含有部分平稳性成分,提取和分离其中的平稳性分量可以成为提高预报水平的努力方向和突破口,而 30 mm 以上日降水 $\gamma > 3$ 则是非平稳过程,给长期的暴雨预报提出了严峻的挑战^[25—28].

4. 结 论

1. 为了克服窗口长度对精确定位突变发生时间的影响,“逆向”研究中国七个气候特征区日降水幂律尾指数随时间的演变特征,结果发现中国三北地区 0—7 mm 日降水幂律尾指数随时间演变在 1979 年和 1980 年之间发生突变,由此我们推测该地区大尺度气候背景在上世纪 70 年代末 80 年代初经历了一次较大的变化,引起该地区小雨的雨情随之改变,这一变化与 ENSO 综合指数(MEI)联系紧密,可能是造成北方干旱化的重要原因之一.

2. 0—29 mm 日降水是一个相对平稳的过程,各年份的降水状况均围绕某一稳定的平均态左右,仅有微小偏移,而 30 mm 以上日降水是非平稳过程,每一年的降水状况都会对幂律尾指数产生较大影响,这也给长期暴雨预报带来了严峻的挑战,这一结论恰与我们之前的研究结果相符.

- [1] Zhi R ,Gong Z Q ,Wang D Y 2006 *Acta . Phys . Sin .* **55** 6185 (in Chinese) 支 蓉、龚志强、王德英 2006 物理学报 **55** 6185]
- [2] Zhi R ,Lian Y 2007 *Acta . Phy . Sin .* **56** 1837 (in Chinese) [支 蓉、廉毅 2007 物理学报 **56** 1837]
- [3] Schertzer D ,Lovejoy S 1987 *J . Geophys Res .* **92** 9693
- [4] Davis A ,Marshak A ,Wiscombe W ,Cahalan R 1994 *J . Geophys Res .* **D99** 8055
- [5] Yang P C ,Bian J C ,Wang G L ,Zhou X J 2003 *Chinese Science Bulletin* **48** 1470 (in Chinese) 杨培才、卞建春、王革丽、周秀骥 2003 科学通报 **48** 1470]
- [6] Yang P C ,Zhou X J 2005 *Acta Meteorologica Sinica* **63** 556 (in Chinese) 杨培才、周秀骥 2005 气象学报 **63** 556]
- [7] Wang G L ,Yang P C 2005 *Inter J . of Climatology* **25** 1265
- [8] Wang S W 2000 *Advances in Earth Science* **15** 277 (in Chinese) 王绍武 2000 地球科学进展 **15** 277]
- [9] Chao J P ,Chao Q C ,Liu L 2005 *Acta Meteorologica Sinica* **63** 594 (in Chinese) 巢纪平、巢清尘、刘 琳 2005 气象学报 **63** 594]
- [10] Alley R B ,Marotzke J ,Nordhaus W D 2003 *Science* **299** 2005
- [11] David R E ,Gerald A M 2000 *Science* **289** 2068
- [12] Goswami B N ,Venugopal V ,Sengupta D 2006 *Science* **314** 1442

- [13] Easting D R ,Evana J L ,Grosman P Y 2000 *Bull . Amer . Meteor . Soc .* **81** 417
- [14] Bonsal B R ,Zhang X B ,Vincent L A 2001 *J . Climate* **5** 1959
- [15] Frich P ,Alexander L V ,Della-Marta P M 2002 *Clim . Res .* **19** 193
- [16] Manton M J ,Dell-Marta P M ,Haylock M R 2001 *Int . J . Climatol* **21** 269
- [17] Easterling D R ,Evans J L ,Groisman P Y 2000 *Bulletin of the American Meteorological Society* **81** 417
- [18] Render S ,Mark R P 2006 *Phys . Rev . E* **74** 061114
- [19] Eicher J F ,Kantelhardt J W ,Bunde A 2006 *Phys . Rev . E* **73** 016130
- [20] Bunde A ,Eicher J F ,Kantelhardt J W 2005 *Phys . Rev . Lett .* **94** 048701
- [21] Eduardo G A ,Kantz H 2005 *Phys . Rev . E* **71** 056106
- [22] Shi N ,Chen L W ,Xia D D 2002 *Advances in Atmospheric Sciences* **19** 993
- [23] Shi N ,Chen L W ,Feng G L ,Gao H ,Lin Z M ,Guo L N 2004 *Plateau Meteorology* **23** 435 (in Chinese) 施 能、陈绿文、封国林、高 鸿、林振敏、郭丽娜 2004 高原气象 **23** 435]
- [24] <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/>

- [25] Schertzer D ,Lovejoy S 1987 *J. Geophys. Res.* **92** 9693 *Science* **13** 1182 (in Chinese) 戴新刚、汪 萍、张培群、丑纪范
 [26] Davis A ,Marshak A ,Wiscombe W ,Cahalan R 1994 *J. Geophys. Res.* **D99** 8055 2003 自然科学进展 **13** 1182]
 [27] Dai X G ,Wang P ,Zhang P Q ,Chou J F 2003 *Progress in Natural* [28] Dai X G ,Wang P ,Chou J F 2003 *Chinese Science Bulletin* **48** 2483
 (in Chinese) 戴新刚、汪 萍、丑纪范 2003 科学通报 **48** 2483]

The detection and attribution of the abrupt change of precipitation in China based on the power-law exponent^{*}

Zhi Rong[†] Gong Zhi-Qiang

(Department of Atmospheric and Science ,Lanzhou University ,Lanzhou 730000 ,China)

(Laboratory for Climate Studies ,National Climate Center ,China Meteorological Administration ,Beijing 100081 ,China)

(Received 12 October 2007)

Abstract

Based on the daily precipitation observations of 740 stations in China from 1960 to 2000 ,the abrupt change point of power-law exponents of daily precipitation of 0—7 mm in north China ,northeast China and northwest China is located exactly on 1979 . This indicates that the large-scale climate background of these regions has changed at that time ,and it has close relation with the index MEI . This maybe one of the main reasons for the drying trend of north China . The 0—29 mm daily precipitation is to some extent a stationary process ,and the daily precipitation being ≥ 30 mm is obviously non-stationary ,which makes the long-term prediction of heavy rainfall very difficult .

Keywords : power-law exponent , abrupt change , drying trend of north China , heavy rainfall

PACC : 9260X

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40675044) and the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2004CB418300).

[†] E-mail : z_ rongphy@126 . com