

# 1948~2000 年全球陆地年降水量场 趋势变化的时、空特征\*

施 能 黄先香 杨 扬

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

**摘 要** 用全球陆地月降水资料 (PREC/L), 计算了 1948~2000 年全球陆地年降水量场的趋势变化。结果表明, 在 1948~2000 年期间, 全球陆地年降水量场有明显的趋势变化, 全球大约 2/3 左右的陆地年降水量是负趋势 (降水量减少), 1/3 左右的年降水量是正趋势, 正负趋势面积及强度的差异在统计上是显著的。年降水量明显减少的地区是: 热带非洲, 加拿大的东南部及美国的东北部, 中国的淮河以北, 蒙古、俄罗斯的中、西西伯利亚及朝鲜、韩国和日本等 9 个地区。陆地年降水量增加地区是: 加拿大的北部、南美的阿根廷及智利、格陵兰等 6 个区域。分别研究了 36 个纬圈的年平均降水量的趋势系数, 指出有 13 个纬圈的年平均降水量的趋势变化达到 0.05 的信度的显著性, 其中有 1 个纬度带 (75~80°N) 是正趋势。全球年降水量正趋势的范围是很小的, 仅在 70°N 以北。初步研究了全球年降水量场趋势变化的原因。

**关键词:** 全球陆地年降水; 趋势变化; 时、空特征

## 1 引言

由于资料的限制, 全球降水量气候变化问题的研究一直比较少。但是 20 世纪 90 年代中后期开始, 相继出现了许多全球陆地及全球海洋的降水量资料库。这使我们有可能比较客观地研究全球降水量的气候变化。研究全球降水量的长期趋势变化是个重要的问题。特别是在近 20 年全球变暖的情况下研究这个问题, 有利于了解全球降水及季风降水对全球变暖的响应等一些理论问题。

1981 年, Gruza 等<sup>[1]</sup>分析了北半球 1891~1975 年 1 月和 7 月的降水趋势。1987 年, Bradley 等<sup>[2]</sup>研究了 1855~1984 年北半球年/季的降水变化, 他们发现在 1950~1984 年, 5~35°N 的副热带降水是负趋势, 35~70°N 的中高纬度降水是正趋势, 北半球降水作为整体, 有相当大的年代际变化, 但趋势变化不大。他们还指出在 1949~1964 年的 15 年中, 年降水维持正距平, 50 年代是最异常的年代, 并指出降水变化有季节差异。Diaz 等<sup>[3]</sup>对南半球进行了研究, 指出与北半球相反, 南半球的低纬度与中高纬度的降水变化趋势是一致的。Hulme<sup>[4]</sup>研究了 1951~1980 年全球及北半球的平均降水, 指出 1950~1980 年全球平均降水略有减少 ( $0.4 \text{ mm a}^{-1}$ ), 北半球的减少为 1.3

mm a<sup>-1</sup>；其中降水的减少主要是来自北半球的热带的 0~30°N (3.4 mm a<sup>-1</sup>)，而热带降水的减少强烈地受到 20 世纪 60 年代中期开始的非洲降水减少的影响。北半球中纬度，在 1951~1980 年的年降水量是增加的，但是不显著。南半球 1951~1980 年的年降水量略有增加 (1.4 mm a<sup>-1</sup>)，但不显著。Hulme 等<sup>[5]</sup>用降水量与蒸发量之比 (称湿度指数) 作为衡量某一地区干旱程度的标准，发现 1961~1990 年与 1931~1960 年相比，全球只有 1.7% 的大陆变湿，而全球 7.3% 的大陆变干，得出在近几年大陆变干旱的结果。但这是 1990 年以前资料的结果。Dai 等<sup>[6]</sup>创建与研究了 1900~1988 全球陆地降水变化，他们将降水量大 (小) 于 1 倍的均方差 ( $\sigma$ ) 作为湿 (旱) 月的标准，计算了二个干旱月之间的平均持续时间，得到从 1900~1944 年到 1945~1988 年，二个干旱月之间的平均的时间间隔增加了 28%。Hulme<sup>[7]</sup>给出了 1900~1992 年的全球陆地年降水量距平距平百分率图 (对 1951~1980 年) 的时间变化。结果表明，在 50°N 以北，年降水量在 1940 年以后是比较明显的一致的线性增加的趋势；23.4~50°N 的年降水量在整个时间段无趋势；0~23.4°N 的年降水量，在 20 世纪 50 年代以后是负趋势。对于全球的年降水量，Hulme<sup>[7]</sup>的结果是 20 世纪 70 年代初开始是负趋势，直到 20 世纪 80 年代中期，以后负趋势明显减小，转变为正趋势，直到 1990 年。但是，Eischeid 等<sup>[8]</sup>的结果是从 20 世纪 50 年代中期开始，直到 1993 年，全球年降水量都是一致的负趋势。Eischeid 等的结果<sup>[8]</sup>与 Hulme 的结果<sup>[7]</sup>在 20 世纪 70 年代有很大差别，在 20 世纪 80 年代中后期的差别也比较大。Kattsov 等<sup>[9]</sup>研究了 1900~1993 年北极高纬度地区 (55~85°N) 的降水趋势，指出在这个时段，该地区降水增加了 8%，降水迅速增加是发生在 20 年代。Vinnikov 等<sup>[10]</sup>研究了 1988 年以前的上一个世纪 35~70°N 的陆地年降水，指出降水量增加了 6%，这变化与 CO<sub>2</sub> 倍增时的若干模拟结果在符号上一致，但是在数量上超过模式的计算值许多。鉴于许多作者研究结果的差异及可靠测量全球降水量的困难，Hulme<sup>[7]</sup>认为，“可以不夸大地说，现在还不知道我们的地球在未来是变干还是变湿”。

过去，我们经常按纬带平均来研究降水量变化。但是各作者对纬带的划分标准并不一致。降水量的趋势变化也不可能在比较大的纬带范围内的性质、强度相同。更仔细地按 36 个纬圈度分别研究降水量的变化可能更合适。目前，我们对全球降水量的趋势变化的基本特征及时、空分布的了解还远远不够，1993 年以后的全球降水量特征基本上没有研究过。为了了解全球降水的气候变化，首先要用近期的全球降水量资料对全球的年总降水量场进行研究。

另一个问题是，过去用回归系数表示降水的趋势变化，但是，回归系数的大小与格点的均方差有很大关系，它不能在不同的地方比较趋势变化的大小。本文在了解全球降水量趋势变化时使用了无单位的所谓气候趋势系数来研究。这个系数已经成功地用于大范围气象要素场的长期变化的研究，例如遥相关型强度<sup>[11]</sup>、北半球 500hPa 高度场<sup>[12]</sup>。

## 2 资料和方法

### 2.1 资料

Chen 等<sup>[13]</sup>在 2001 年发布了 1948 开始的完整的全球月降水量资料 [PREC, 陆地

部分称 PREC/L (已完成); 海洋部分称 PREC/O (未完成)]. 该资料使用了最优内插方法, 有非常严格的检测与质量控制。资料的空分的分辨率是  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,  $88.75^{\circ}\text{S} \sim 88.75^{\circ}\text{N}$ 。全球有 10368 个格点。有资料的陆地格点数为 4390。本文使用 1948~2000 年的 PREC/L, 通过将 12 个月的降水量累加得到年降水量。文献 [14] 从 PREC/L 中读取过全球几个重要的季风区的季风降水量, 说明该资料有很好的精度。

## 2.2 方法

气象要素  $y$  随时间变化的回归方程为

$$y = a + bt, \quad t = 1, 2, \dots, n \text{ (单位: } a) \quad (1)$$

式中,  $a$  是常数,  $b$  是回归系数。 $b$  是有单位的量, 所以它的数值大小不能在不同的变量中比较, 在相同要素的不同地点 (区域) 也不能进行比较。本文使用无单位的所谓气候趋势系数  $r_{xt}$  [11, 12]。而回归系数  $b$  与趋势系数  $r_{xt}$  有如下关系:

$$b = r_{xt}(\sigma_x/\sigma_t), \quad (2)$$

$\sigma_x$  与  $\sigma_t$  分别是要素序列与自然数列的均方差。可以使用通常的相关系数的统计检验方法或蒙特卡洛方法检验气候趋势  $r_{xt}$  是否显著。由于  $r_{xt}$  是无单位的, 所以可以根据它的数值大小比较不同的气象要素在不同地点的长期趋势大小。本文将它用于研究全球年降水量场的趋势变化。

## 3 气象场趋势变化的蒙特卡洛检验

Livezey 等 [15] 指出对大量格点的气象场进行相关研究时, 需要进行蒙特卡洛的统计检验。我们计算的是一个有 4390 个格点组成全球年降水量场, 对 4390 各趋势系数用  $t$  检验方法, 可以统计趋势系数大于 0、达到 0.05、0.01、0.001 信度的个数, 然后进行 10000 次随机独立试验: 即利用随机数发生器在 1~53 区间内产生一个均匀分布的随机数。在此基础上每个格点的 1948~2000 年的年降水量资料被随机排列 (打乱)。将随机排列的降水量资料, 仍按定义去计算模拟的趋势系数; 再同样对模拟的趋势系数统计大于 0, 达到 0.05 信度、0.01 信度、0.001 的格点数。最后, 将 10000 次试验中得到的格点数按从大到小排序, 则排第 10、100、500 位的格点数分别为达到 0.001、0.01、0.05 的蒙特卡洛信度标准的格点数。对于趋势系数大于 0 的情况, 我们取第 500 位的格点数为达蒙特卡洛信度标准的格点数。我们认为, 当实际降水量计算的趋势系数通过  $t$  检验的格点数超过相应的蒙特卡洛信度标准的格点数时, 场趋势变化才是有意义的。

## 4 1948~2000 年全球年降水量趋势基本特征

### 4.1 基本特征

表 1 是达到各信度标准的正 (负) 趋势格点数。可以看到在计算的 4390 个趋势系数值中, 负的趋势的格点数是 2891 个, 比正的值多了 1392; 其中达到 0.05、0.01、0.001 信度的格点数, 负趋势比正趋势分别多 446、188、94 个格点。这说明, 在 1948~2000 年时间段内, 全球大约 2/3 左右的陆地年降水量减少了, 1/3 左右的陆地年降

表 1 正 (负) 趋势系数达到信度检验的格点数

	$t > 0$ 或 $t < 0$	0.05 信度	0.01 信度	0.001 信度
负格点数	2891	748	346	143
正格点数	1499	302	158	49
总数格点数	4390	1050	504	192
负格点数减 正格点数	1392	446	188	94

表 2 趋势系数达到信度格点数的蒙特卡洛检验

	0.05 信度	0.01 信度	0.001 信度
总格点数	1050	504	192
蒙特卡洛标准 (1%信度)	495	76	11

水量增加了。

#### 4.2 蒙特卡洛的统计检验

表 1 的结果有多大的随机性, 用蒙特卡洛方法进行检验。第一方案是对表 1 中的达到信度的格点总数进行检验。表 2 是用蒙特卡洛方法得到的格点临界值, 说明对 4390 个格点计算的趋势系数 (序列长为 53) 有 1% 的可能, 计算出 495 个格点通过 0.05 的  $t$  检验。而表 1 中通过 0.05、0.01、0.001 信度的格点总数分别为 1050、504、192。它们都已经超过蒙特卡洛模拟的 0.01 信度的标准。说明 1948~2000 年,

全球年降水量场的趋势变化在统计上是显著的, 有明显的趋势变化。

第二种方案是对正负格点数的差进行蒙特卡洛检验。表 3 第 3 行是模拟计算的结果, 它说明负格点数超过正格点 1379 个, 年降水量场的趋势就有 95% 以上的置信水平; 具有 0.05 信度的格点数的差超过 376, 有 95% 以上的置信水平。表 3 第 2 行是年降水量场的计算结果, 表明全球年降水量的负趋势比正趋势范围大, 强度特征达到 95% 以上的置信水平, 它不是随机的。

表 3 正负趋势系数格点数差值的蒙特卡洛检验

	正负格点数差	0.05 信度	0.01 信度	0.001 信度
差值 (负格点数减正格点数)	1392	446	188	94
蒙特卡洛标准 (5%信度)	1379	376	44	8

## 5 全球陆地年降水场趋势的空间分布

### 5.1 空间分布

图 1 是全球年降水量趋势系数的图, 可以看到趋势系数的负值区 (年降水量降水减少区) 集中在 9 个地区。

F1: 热带非洲 [ (13.75~28.75°N, 21.25°W~41.25°E), 图 2a], 这个范围内有 133 个格点。

F2: 加拿大的东南部及美国的东北部 [ (48.75~58.75°N, 88.75~81.25°W), 图 2b], 25 个格点。

F3: 南极的威尔克斯 [ (66.25~71.25°S, 26.25~126.25°E), 图 2c], 105 个格点。

F4: 中国的淮河以北, 蒙古、俄罗斯的中、西西伯利亚以及朝鲜、韩国和日本

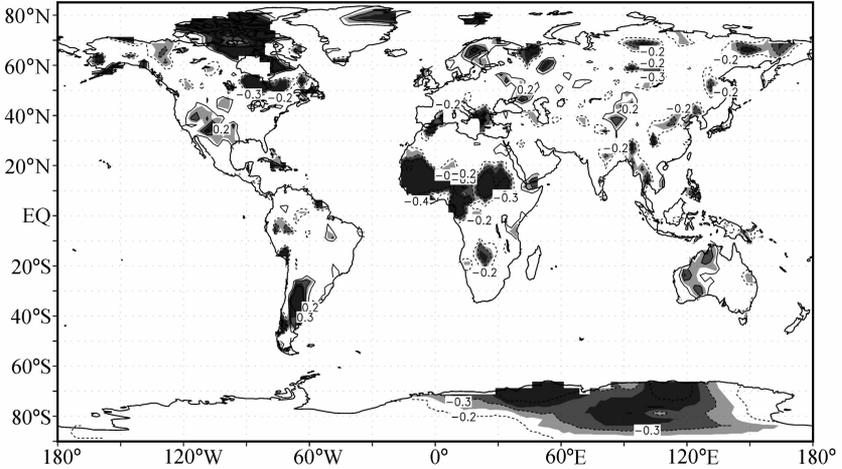


图 1 全球陆地年降水量趋势系数图

虚线为负值, 黑(灰)阴影为达到 0.99 (0.95) 的置信水平区域

[ (33.75~78.75°N, 88.75~168.75°E), 图 2d ], 472 个格点。

F5: 南亚及东南亚, 包括我国的云南、缅甸、尼泊尔、泰国及东印度 [ (11.25~33.75°N, 81.25~103.75°E), 图 2e], 88 个格点。

F6: 中东及西欧 [ (28.75~38.75°N, 22.25°W~3.75°E), 图 2f], 包括伊拉克、土耳其、西班牙、葡萄牙及地中海周围等, 共 35 个格点。

F7: 非洲南部的赞比亚、博次瓦纳和南非 [ (13.75~21.25°S, 11.25~26.25°E), 图 2g], 37 个点。

F8: 阿拉斯加 [ (63.75~73.75°N, 148.75~128.75°W), 图 2h], 41 个格点。

F9: 北欧的拉脱维亚、立陶宛、爱沙尼亚及俄罗斯的西北部 [ (61.25~68.75°N, 41.25~53.75°E), 图 2i ], 30 个格点。

上述 9 个负趋势区的总格点数是 966, 可近似认为是年降水量明显减少的总面积。表 4 给出出现这 9 个地区的平均的年降水量、趋势系数及回归系数。可以看出, 负趋势最强的是 F1、F2、F3 区, 而回归系数绝对值最大的是 F2、F3、F5 区 (单位:  $\text{mm a}^{-1}$ )。注意, F3 区的降水量并不大, 但是回归系数绝对值最大, 说明 F3 区的降水量均方差很小, 表示内插资料的精确度不够。所以 F3 的结果只能参考。

图 3 显示了 6 个趋势系数为正值的区域, 它们是:

表 4 全球 9 个负趋势地区的区域年平均降水量趋势系数及回归系数

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
平均年降水量/mm	165.8	495.8	411.6	433.3	1435.8	304.7	571.5	247.9	533.1
趋势系数	<b>-0.56</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.48</b>	-0.43	-0.41	-0.31	-0.35	-0.32	-0.32
回归系数/ $\text{mm a}^{-1}$	-0.91	<b>-2.16</b>	<b>-2.43</b>	-0.48	<b>-2.31</b>	-1.12	-1.87	-0.85	-1.05

注: 趋势变化最大的 3 个值用黑体表示。

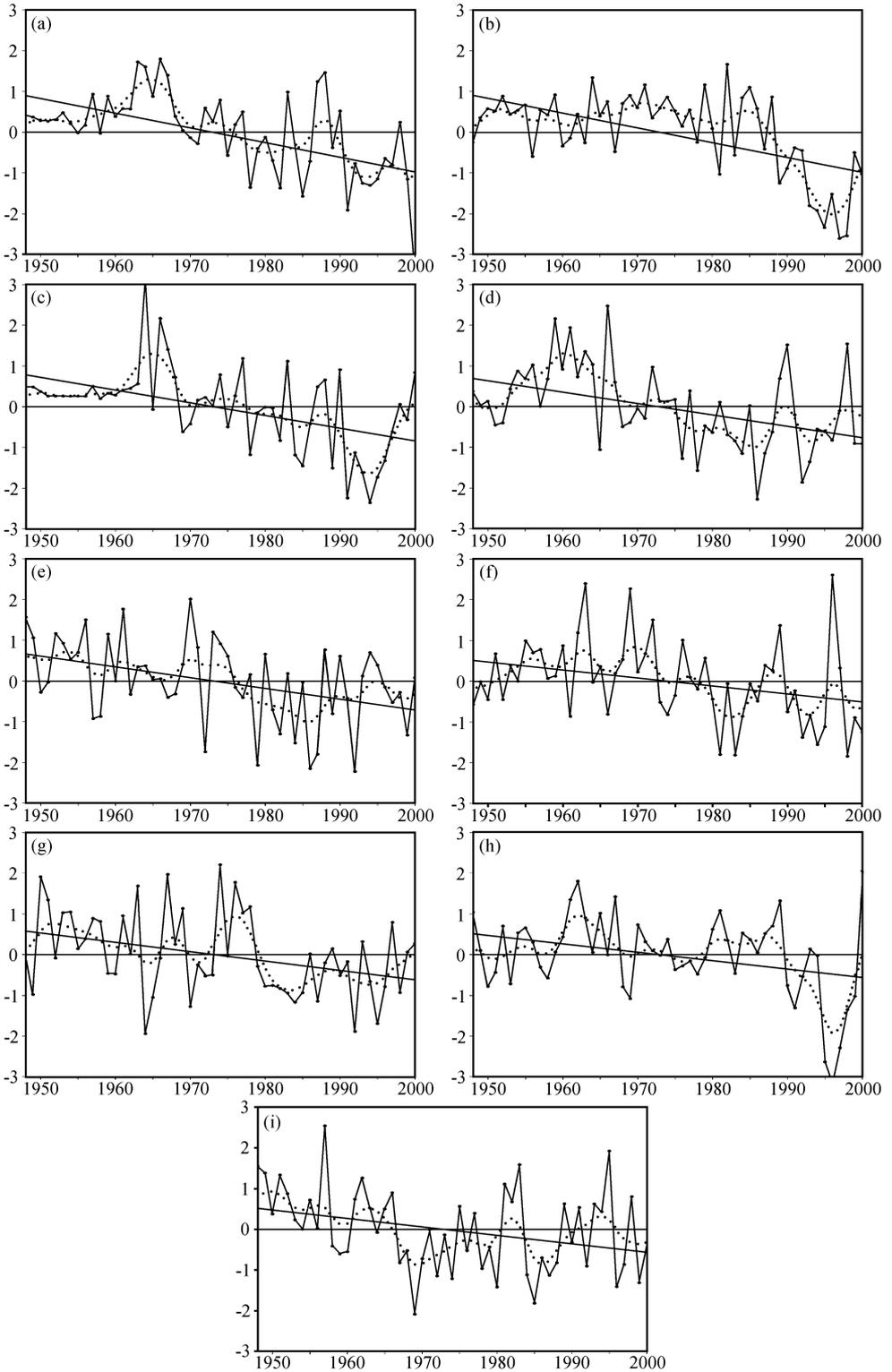


图 2 1948~2000 年 9 个负趋势区域的年平均降水量的时间变化图

(a)~(i) 分别对应 F1~F9。曲线：高斯滤波；直线：回归方程

Z1: 加拿大的北部 [ (61.25~81.25°N, 118.75~73.75°W), 图 3a], 155 个格点。  
 Z2: 南美的阿根廷及智利 [ (51.25~26.25°S, 68.75~43.75°W), 图 3b], 59 个格点。

Z3: 格陵兰 [ (71.25~81.25°N, 13.75~41.25°W), 图 3c], 67 个格点。

Z4: 墨西哥以北的美国的西南部 [ (31.25~46.25°N, 98.75~118.75°W), 图 3d], 62 个格点。

Z5: 西澳大利亚 [ (11.25~28.75°S, 131.25~116.25°E), 图 3e], 包括 43 个格点。

Z6: 芬兰、瑞典、挪威 [ (56.25~81.25°N, 11.25~28.75°E), 图 3f], 64 个格点。

上述 6 个正趋势区的总格点数是 450, 不到负区的 1/2, 说明 1948~2000 年时间段

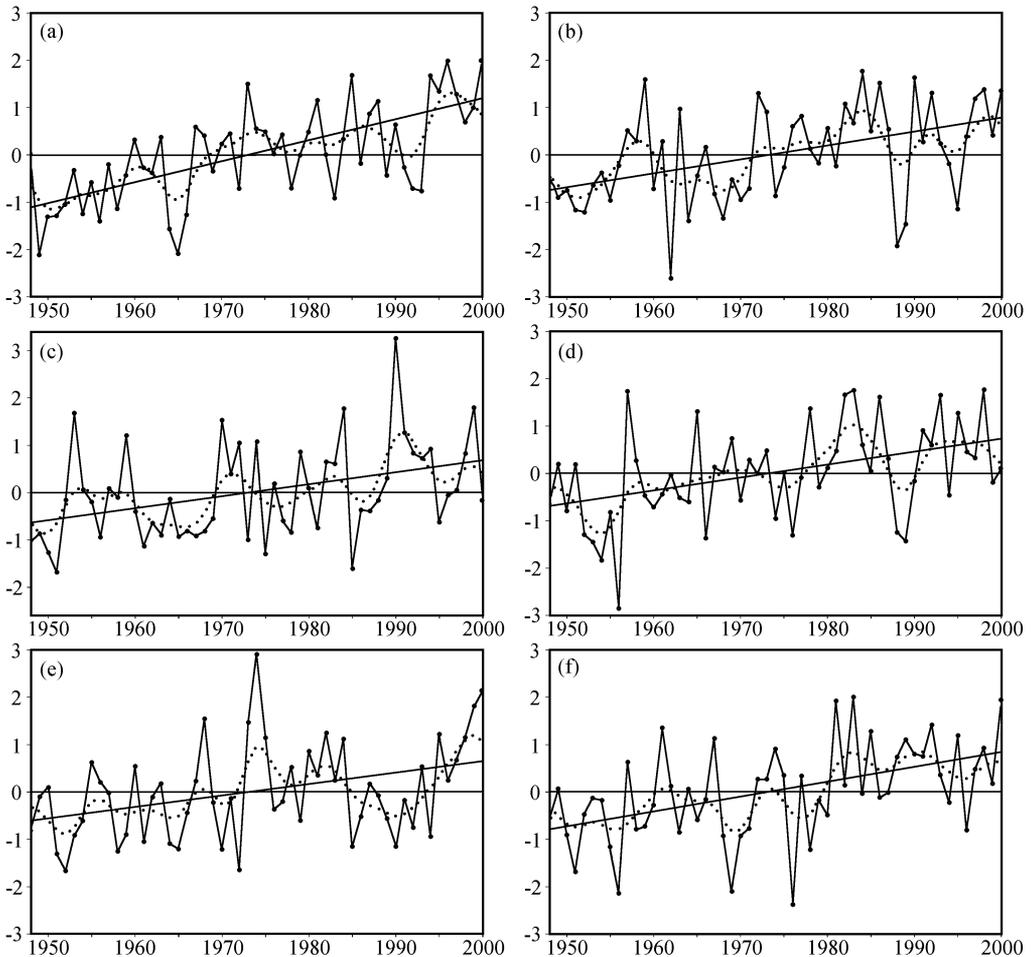


图 3 1949~2000 年 6 个正趋势区域的年平均降水量的时间变化图

(a) ~ (f) 分别对应 Z1~Z6。曲线: 高斯滤波; 直线: 回归方程

内, 全球年降水量变化以负趋势变化为主。另外, 应该注意的是, 6 个正区中有 4 个在北半球, 其中北半球高纬度有 3 个。

表 5 给出这 6 个地区的平均的全球年降水量、趋势系数及回归系数。可以看出, 正趋势最强的是 Z1、Z2、Z6 区, 而回归系数最大的是 Z2、Z5、Z6 区。同样要注意, Z5 区(西澳大利亚)的降水量并不大, 但是回归系数很大, 表示其中有比较多的缺测使用了平均值代替, 使均方差变小。

表 5 全球 6 个正趋势地区的年平均降水量趋势系数及回归系数

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
平均值/mm	179.7	775.0	167.3	366.8	485.3	560.0
趋势系数	<b>0.67</b>	<b>0.45</b>	0.39	0.42	0.37	<b>0.48</b>
回归系数/ $\text{mm a}^{-1}$	0.71	<b>2.35</b>	0.65	1.125	<b>2.35</b>	<b>1.20</b>

注: 最大的 3 年用黑体表示

## 5.2 全球区域年降水量的年代际异常

图 2、3 分别给出上述 9 个负趋势区和 6 个正趋势区的年降水量的时间变化图。需要指出, 除了热带非洲曾经用 1992 年以前的全球降水量资料研究过以外, 全球其他区域年降水量长期趋势变化的特征是过去并没有指出过的。从图 2 看出 F1~F9 区的年降水量呈明显的负趋势; 而 Z1~Z6 的年降水量则呈明显的正趋势。但是, 从高斯滤波曲线看, 区域年降水量的年代际变化明显:

(1) 降水量的下降大都是突然发生。大致有 3 种方式。20 世纪 70 年代中期突变下降型: F4、F5、F6、F7 区; 20 世纪 90 年代初突变下降型: F2、F8、F3、F1 区; 20 世纪 60 年代初突变下降型: F9 区。

(2) 降水量的增加大致有 2 种方式。线性增加型: Z1、Z2、Z3、Z5 区; 及 20 世纪 70 年代中期突变增加型: Z4、Z6 区。

## 5.3 纬圈平均的年降水的趋势变化

表 6 是全球 36 个纬圈的年平均降水量、趋势系数、回归系数及各纬圈的陆地格点数(第 36 纬度没有陆地格点, 实际上只计算 35 个纬度)。从表 6 看出:

(1) 35 个纬圈中年降水量正趋势的纬圈有 9 个, 负趋势的纬圈有 26 个。注意: 在  $25^{\circ}\text{S}\sim 55^{\circ}\text{N}$  的范围内, 各纬圈平均的年降水量都是负趋势, 这负趋势的范围比 Bradley 等<sup>[2]</sup>的结果要大得多。

(2) 总共有 13 个纬圈的年平均降水量达到有 0.05 的信度的  $t$  检验。但是只有 1 个纬度带 ( $75\sim 80^{\circ}\text{N}$ ) 是正趋势。说明降水量负趋势比正趋势强度强范围大。

(3) 最强的降水负趋势出现在  $5\sim 20^{\circ}\text{N}$ , 这个纬带强烈地受到热带非洲降水量减少的影响。

(4) 我们得到的全球年降水量正趋势的范围是很小的(仅在  $70^{\circ}\text{N}$  以北)。1987 年, Bradley 等<sup>[2]</sup>用 1984 年以前的资料得到在  $35\sim 70^{\circ}\text{N}$  的中高纬度年降水是正趋势。看来这是因为近 20 年的年降水量在  $35\sim 55^{\circ}\text{N}$  的中高纬度有非常明显减少的缘故。

表6 全球36个纬圈的年平均降水量、趋势系数、回归系数及各纬圈年的陆地格点数

纬度	90~ 85°S	85~ 80°S	80~ 75°S	75~ 70°S	70~ 65°S	65~ 60°S	60~ 55°S	55~ 50°S	50~ 45°S	45~ 40°S	40~ 35°S	35~ 30°S
格点数	288	268	251	185	100	8	3	14	17	23	33	59
趋势系数	-0.18	-0.16	-0.21	<b>-0.34</b>	<b>-0.41</b>	0.23	0.06	0.22	<b>-0.48</b>	<b>-0.40</b>	-0.08	0.14
平均值/mm	114.4	197.2	305.6	429.4	528.9	594.9	1049.2	1103.2	1291.4	990.5	831.1	596.4
回归系数/mm a <sup>-1</sup>	-0.32	-0.44	-0.72	<b>-1.50</b>	<b>-2.00</b>	1.79	0.55	1.07	<b>-2.08</b>	<b>-1.56</b>	-0.29	0.48
纬度	30~ 25°S	25~ 20°S	20~ 15°S	15~ 10°S	10~ 5°S	5~ 0°S	0~ 5°N	5~ 10°N	10~ 15°N	15~ 20°N	20~ 25°N	25~ 30°N
格点数	72	89	91	84	99	104	87	100	97	116	132	140
趋势系数	0.20	-0.10	-0.14	-0.18	-0.11	-0.11	<b>-0.27</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.29</b>
平均值/mm	583.5	730.2	1064.2	1455.7	1916.4	2122.7	2087.9	1643.4	1127.6	832.8	694.4	597.6
回归系数/mm a <sup>-1</sup>	0.65	-0.35	-0.66	-0.81	-0.75	-0.90	<b>-1.79</b>	<b>-2.73</b>	<b>-2.32</b>	<b>-1.63</b>	<b>-1.02</b>	<b>-0.58</b>
纬度	30~ 35°N	35~ 40°N	40~ 45°N	45~ 50°N	50~ 55°N	55~ 60°N	60~ 65°N	65~ 70°N	70~ 75°N	75~ 80°N	80~ 85°N	85~ 90°N
格点数	143	155	167	180	202	203	242	253	172	127	76	0
趋势系数	-0.10	<b>-0.28</b>	-0.09	-0.02	<b>-0.27</b>	0.22	-0.03	-0.03	0.08	<b>0.45</b>	0.01	
平均值/mm	584.4	564.3	563.2	585.9	654.2	654.5	507.6	364.6	241.8	169.4	159.5	
回归系数/mm a <sup>-1</sup>	-0.21	<b>-0.51</b>	-0.16	-0.03	<b>-0.44</b>	0.33	-0.03	-0.03	0.07	<b>0.46</b>	0.02	

注: 趋势系数达到0.05信度的用黑体

## 6 年降水量长期变化的可能原因

研究区域年降水量长期变化及年代际变化的原因是个比较困难的问题。因为这不仅与全球气候变化有关, 也与局地大气环流及要素异常有关。本文根据9个负趋势和6个正趋势区域的年降水量的年代际变化特征异常, 认为下面二个原因是值得注意的。

(1) 全球变暖。全球变暖应该是全球年陆地年降水量负趋势的主要因素。在第4节中我们指出, 趋势变化往往伴有突变, 而降水量的突然变化大多数发生在20世纪70年代中或80年代初, 这时间段正是全球气温突变增暖的时段, 也是大气环流突变的时间<sup>[16, 17]</sup>。经我们对全部经过9点滤波后的区域年降水量与全球年平均气温在1948~2000年时间段内求相关, 对9个降水负趋势区域的相关系数分别是-0.77、-0.87、-0.77、-0.49、-0.65、-0.62、-0.69、-0.63、-0.24, 而6个降水正趋势的相关系数分别是0.61、0.43、0.39、0.43、0.20、0.52。可以看出, 负的相关系数都很强, 而正的相关系数相对比较弱, 表明降水量的年代际变化与全球气温的年代际变化有关系, 暖背景主要对应全球大范围的年降水量的负趋势。

(2) ENSO现象。根据文献[18]的研究, ENSO在20世纪70年代中后期开始发生了年代际变化, 20世纪80年代以后 ENSO现象的强度与频率都加强了。图4 a、b分别是F5区和0~30°N的平均的年降水量与 ENSO的关系图。可以看出, El Niño年的年降水量减少, La Niña年降水量增加。这样, 20世纪70年代以后更强、更频繁的暖事件可能就是年降水量减少的一个主要原因。最近, 施能等<sup>[19]</sup>用1948~2000年的资料研究了全球年降水量与 ENSO的关系, 有相同的结果。

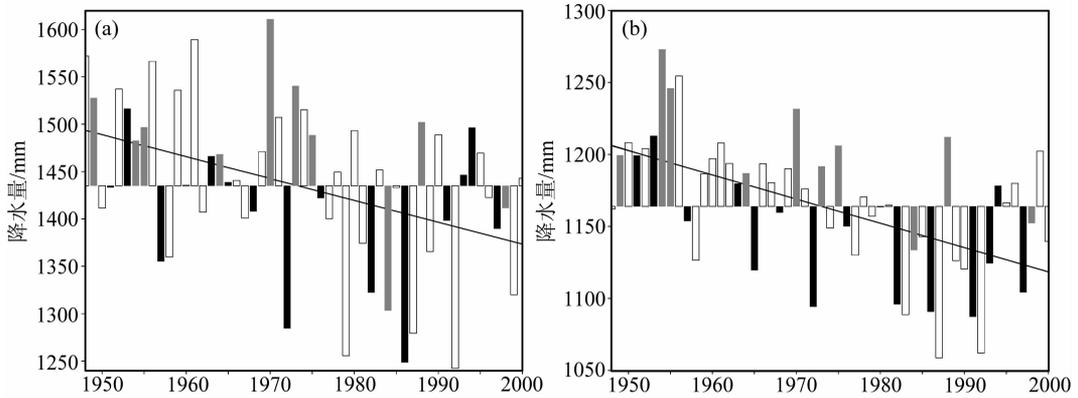


图4 年平均降水量与 ENSO 的关系图(单位: mm)  
 (a) (11.25~33.75°N, 81.25~103.75°E); (b) 0~30°N  
 直线: 回归直线, 黑色: El Niño 年; 灰色: La Niña 年

## 7 结论

(1) 1948~2000 年全球陆地年降水量场有明显的趋势变化, 全球大约 2/3 左右的陆地年降水量是负趋势, 1/3 左右的年降水量增加了。蒙特卡洛检验结果表明, 年降水量的负趋势比正趋势强, 负趋势的范围比正趋势大的特征在统计上是显著的。

(2) 1948~2000 年全球陆地年降水量明显减少的地区是: 热带非洲, 加拿大的东南部及美国的东北部, 中国的淮河以北, 蒙古、俄罗斯的中、西西伯利亚及朝鲜韩国和日本的东北亚洲等 9 个地区。陆地年降水量增加地区是: 加拿大的北部, 南美的阿根廷及智利, 格陵兰等 6 个区域。

(3) 全球总共有 13 个纬圈的年平均降水量的趋势变化达到 0.05 的信度, 但其中只有 1 个纬带 (75~80°N) 是正趋势。全球年降水量正趋势的范围是很小的 (仅在 70°N 以北)。负趋势的范围要比早期研究得到结果的范围大。

(4) 初步研究表明, 全球变暖及 ENSO 的年代际变化是全球年降水量趋势变化的重要原因。本文研究了 1948~2000 年全球陆地年总降水量的气候变化。增加 PREC/O 资料后的全面研究全球陆地与海洋的年和季节降水量的趋势变化也是非常需要的。

## 参 考 文 献

- 1 Gruza, G. V., and E. G. Apasova, Climatic variability in the monthly sums of precipitation in the northern hemisphere, *Meteor. Gidror.*, 1981, **5**, 5~16.
- 2 Bradley, R. S., H. F. Diaz, J. K. Eischeid et al., Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th center, *Science*, 1987, **237**, 171~175.
- 3 Diaz, H. F., R. S. Bradley, and J. K. Eischeid, Precipitation fluctuation over global land areas since the late 1800's, *J. Geophys. Res.*, 1989, **94**, 1195~1210.
- 4 Hulme, M., A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models, *Climate Dyn.*, 1992, **7**, 57~72.

- 5 Hulme, M., R. Marsh, and P. D. Jones, Global changes in a humidity index between 1931—1960 and 1961—1990, *Climate Res.*, 1992, **2**, 1~22.
- 6 Dai, A., and I. Y. Fung, Genio ADD. Surface observed global land precipitation variations during 1900—1988, *J. Climate*, 1997, **10** (11), 2943~2962.
- 7 Hulme, M., Estimation of global changes in precipitation, *Weather*, 1995, 34~42.
- 8 Eischeidm, J. K., H. F. Diaz, R. S. Bradley et al., A comprehensive precipitation data set for global land areas, U. S. Department of Energy Report No. DOE/ER—690117T—H1, 1991, Washington D. C., 81pp.
- 9 Kattsov, V., and J. E. Walsh, Twentieth-century trends of Arctic precipitation from observational data and a climate model simulation, *J. Climate*, 2000, **13** (4), 1362~1370.
- 10 Vinnikov, K. Y., P. Y. Grouisman, and K. M. Lugina, Empirical data on contemporary climate changes ( temperature and precipitation), *J. Climate*, 1990, **3**, 662~677.
- 11 施能, 北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系, *气象学报*, 1996, **54** (6), 675~683.
- 12 Shin Neng, and Deng Ziwang, Space/time features of the secular trend variation in 1951—1998 northern 500 hPa height, *Meteor. Atmos. Phys.*, 2000, **3**, 35~46.
- 13 Chen, M., P. Xie, J. E. Janowiak et al., Global precipitation: a 50 year monthly analysis based on gauge observations, *J. Hydrometeorology*, 2002, **3** (3), 249~266.
- 14 施能、陈绿文、林振敏, 全球降水与区域性季风降水序列的相关统计分析, *气象科技*, 2002, **30** (2), 73~79.
- 15 Livezey, R. E., and W. Y. Chen, Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques, *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111** (1), 46~59.
- 16 Nitta, T., and S. Yamada, Recent warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1989, **67**, 375~383.
- 17 Trenberth, K. E., Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1990, **71**, 988~993.
- 18 Wang, B., Transition from a cold to a warm state of the El Niño-Southern Oscillation cycle, *Meteor. Atmos. Phys.*, 1994, **48**, 1~16.
- 19 Shi Neng, Chen Luwen, and Xia Dongdong, A preliminary study on the global land annual precipitation associated with ENSO during 1948—2000, *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (6), 993~1003.

# Spatiotemporal Features of the Trend Variation of Global Land Annual Rainfall Fields from 1948~2000

Shi Neng, Huang Xianxiang, and Yang Yang

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

**Abstract** The trend variation in annual rainfall fields for 1948~2000 is investigated using the data of global land monthly data PREC/L. The results show that the mean precipitation is reduced over about two third of the global land and the increased over the others in the period of 1948~2000. The difference between positive and negative trend area are significant from Monte Carlo test. The annual rainfall of nine regions (about two third of the global land) is decreased. The mainly regions are tropic Africa, the southeast of Canada and the northeast of U. S., north of the Huaihe River of China, Mongolia, mid-west Siberia of Russia, and in the northeast of Asia (Korea and Japan) and so on. Only one third of global land experienced increase of precipitation. The main locations are in the north of Canada, Argentina and Chile in the south America, Greenland and so on. The trend variations of the annual rainfall averaged over each of the 36 latitude zones are also examined and show that the trend coefficients of 13 latitude zones are significant at 95% of confidence level but one (75~80°N) out of 13 with positive trend. The areas of positive trend coefficient are much less than that of the negative one. The cause of the trend variation of global annual rainfall are preliminary investigated.

**Key words:** global land annual precipitation field; trend variation; spatiotemporal features