

1948 ~ 2003 年全球陆地年降水量变化特征

刘锦绣¹, 顾骏强², 施 能¹, 郑 彬³

(1. 南京信息工程大学气象灾害和环境变化重点开放实验室, 江苏 南京 210044;
2. 浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州 310020; 3. 广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要:研究了 1948 ~ 2003 年全球陆地年降水量的长期变化。研究表明, 全球陆地降水量在近 56 年内平均减少为 0.43 mm/a。全球陆地降水量的第一经验正交函数(EOF-1)解释了 97.9% 的总方差, 它的空间分布与全球年降水量的空间平均图非常相似, EOF-1 的时间系数表现为明显的负趋势, 趋势系数为 -0.37, 达到 0.01 的显著性, 表明全球年降水量明显减少了。此外, 研究了全球陆地季、月降水场变化的近期特征, 计算了全球 36 个纬度带平均年降水量的长期趋势, 指出有 12 个纬圈的年平均降水量趋势达到 0.05 的信度的显著性, 其中只有 1 个纬度带(75°N ~ 80°N)是正趋势。

关键词:全球陆地降水; 气候变化; 降水趋势系数

中图分类号: P468

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2006)03-0028-04

Secular variation of global land annual precipitation for 1948 - 2003/LIU Jin-xiu¹, GU Jun-qiang², SHI Neng¹, ZHENG Bin³(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster and Environment Variation, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Zhejiang Meteorological Science Research Institute, Hangzhou 310020, China; 3. Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The investigation of secular variation of the global land annual precipitation (GLAP) for 1948 - 2003 suggests that GLAP experiences a decrease of 0.43 mm/a on average. The spatial distribution of the first empirical orthogonal function (EOF-1) for GLAP analysis accounts for 97.9% of the total variance, which shows almost the same pattern as that of the annual mean precipitation averaged for 1948 - 2003, with a similarity coefficient being as high as 0.99. The temporal coefficients of EOF-1 exhibit a remarkably decreasing trend with the trend coefficient being -0.37 and the confidence level being 99%. Besides, the variations of seasonal and monthly precipitation over global land and their characteristics in recent years are analyzed, and the trend of GLAP for 36 latitude zones is also examined. It is concluded that the trend coefficients of 12 latitude zones are significant at a confidence level of 95%, while only one latitude zone (75°N - 80°N) out of 12 zones shows a positive trend.

Key words: global land precipitation; climatic change; trend coefficient of precipitation variation

我国是发展中国家, 能源的需求在今后会上直线上升, 需要不断开发水能资源。开发水能资源的可行性取决于两大因素: ①规划水电站所在的集水面积; ②该集水面积上的降雨量^[1]。但是, 20 世纪 80 年代以来全球气候明显变暖, 而集水面积取决于该地区的地貌及现有水资源所在的位置, 全球气候变化不会很快地改变集水面积的大小, 却会改变降雨量的大小。所以, 水资源和水能利用在很大程度上与降水量有关^[2-3]。虽然气象学家们一直在研究降水量的变化, 但由于全球大尺度降水资料一直比较缺乏, 降水的时空变率很大, 全球降水量长期变化的许多问题还不清楚, 有些研究结果差别比较大, 正如 1995 年 Hulme^[4]撰文指出: “…我们现在还不知道我

们的地球是在变干还是变湿…”。从 20 世纪 90 年代后期开始, 世界气象组织(WMO)和气象学家研发了几个非常具有代表性的全球降水场资料, 进而进行了一系列全球降水量气候变化的研究。特别是在近几年, 我国通过国家攀登计划和国家自然科学基金会的资助, 用目前最新、最完整的全球陆地降水量场资料对全球降水场气候变化进行了比较全面和系统的研究, 从而了解更多的全球降水量变化特征^[5-10], 对气候变暖后全球降水量有不少模拟与预测。但是, 这些研究结果的资料只到 2000 年。众所周知, 大气本身就是一个试验场, 对近期降水量变化进行实时研究是非常重要的。为此, 本文利用更新到 2004 年 2 月的全球陆地降水量资料进行 1948 ~

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40275028)

作者简介: 刘锦绣(1981—), 女, 福建漳州人, 硕士研究生, 从事旱涝和全球降水量变化研究。E-mail: ljx42012003y@nuist.edu.cn

1 资料和方法

1.1 资料

目前全球长序列降水资料库的构建已有了明显的进展。NCEP 的 Chen 等和 NOAA/DAR 的 Arkin 将 GHCN 第二版本的月降水量资料和 CAMS 资料合并分析,生成了 1948 年 1 月开始的全球陆地月降水量资料,称为 PREC/L^[11]。该资料分辨率是 2.5°纬度/2.5°经度,在网上公开发布,并实时更新,目前已经延续到 2004 年 2 月。陈绿文等^[9]曾对 PREC/L 的月降水资料 and 我国的降水量资料进行过比较,表明该全球降水量资料有较高的精确度。笔者使用的年总降水量资料取自 1948~2003 年,共 56 年。

1.2 方法

时间序列 y 随时间变化的回归方程为

$$y = a + bt \tag{1}$$

式中: a 为常数; b 为回归系数; t 为时间($t = 1, 2, \dots, n$),年。 b 是有单位的量,单位是要素的单位/年(本文为 mm/a),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。笔者使用无单位的所谓气候趋势系数 r_{xt} ^[7-10], r_{xt} 在 $(-1, 1)$ 之间变化,没有单位。回归系数 b 与趋势系数 r_{xt} 有如下关系:

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

式中: σ_x 和 σ_t 分别为要素序列与自然数列的均方差。可以使用通常的相关系数统计检验方法或蒙特卡罗法检验气候趋势系数 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气象要素的时间序列 y 在不同地点的趋势变化大小。

为了研究一个变量场随时间的变化,笔者利用了经验正交函数(EOF)方法。将 56 年的年降水量场(空间格点数为 4390)进行 EOF 分解,根据 EOF 分解理论,它的第一空间函数(EOF-1)应该代表全球降水量的平均场,场随时间的变化反映在这个场的权重系数中,该权重系数也可从分解时得到。对时间权重系数计算趋势系数,就可以了解降水量场的趋势系数变化特征。

2 全球年降水量场的气候变化(1948~2003 年)

2.1 全球降水量场经验正交函数的时间变化

对全球 1948~2003 年共 56 年 4390 个格点的年降水量进行 EOF 分解。笔者绘制了 56 年的年降水量场平均图,它与 EOF-1 的空间分布图非常相似,相似系数为 0.99。所以 EOF-1 场的时间权重系数基本上是平均场在每年的权重,通过计算时间权重系

数的趋势系数,可以了解场的时间变化。计算得到的全球陆地降水场的 EOF-1 解释了 97% 的总方差。图 1 是 1948~2003 年全球陆地年降水量场 EOF-1 的时间系数图(数值已标准化),可以看到,它有明显的下降趋势(趋势系数为 -0.344 ,达到 0.01 的信度),表示全球降水量有明显的减少趋势。

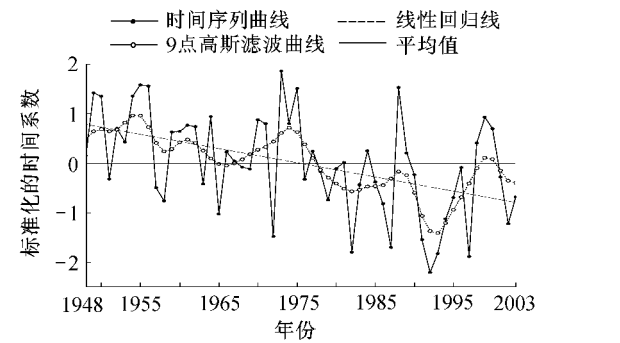


图 1 EOF-1 的时间系数、线性回归线和 9 点高斯滤波曲线

2.2 全球平均降水量的时间变化

图 2 是全球陆地年降水量按空间平均的时间变化。图 2 与图 1 是非常相似的,它从另一个角度反映了全球年降水量的时间变化特征。可以看到,它也是负趋势,趋势系数为 -0.374 ,回归系数为 -0.43 mm/a ,表示每年平均减少 0.43 mm(单位面积格点)。而文献^[8]用 1948~2000 年资料计算时负趋势系数为 -0.43 ,回归系数为 -0.54 mm/a ,负趋势比增加了 2001~2003 年降水量资料所得的结果强,说明最近的年降水量负趋势在减弱。Hulme^[4]计算的 1951~1980 年全球平均降水趋势为 -0.40 mm/a ,他的计算没有包括 20 世纪 80 年代以后的资料。上述结果表明,20 世纪 80 年代以后全球降水量是继续明显减少的。从图 2 看出:20 世纪 90 年代初期至中期,全球降水量非常少;1980 年以后的几十年中,除 1988 年和 2000 年降水量偏多以外,其他年份降水量都很少。

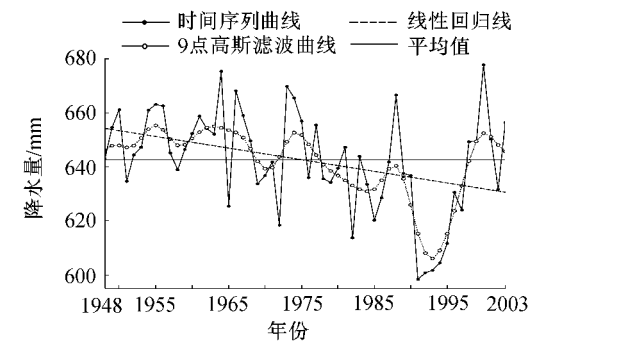


图 2 1948~2003 年全球平均年降水量的时间变化及线性回归直线、9 点高斯滤波曲线

3 全球季、月降水场的长期变化

施能、陈绿文、黄先香等^[7-10]用 1948~2000 年的

降水量资料计算了全球季节降水量的趋势系数和回归系数。本文用更新补充后的资料再次计算,结果见表 1。从表 1 可以看出,增加近 3 年的资料后,6~8 月(北半球夏季)降水量的负趋势更明显了,但是其他季节时间段和年总降水量的负趋势都有所减弱,12 月至翌年 2 月的趋势系数从 -0.20 减少到 -0.08,表示近 3 年北半球冬季降水量在增加。

表 1 全球陆地年、季降水的趋势系数和回归系数

时间	趋势系数		回归系数(mm·a ⁻¹)	
	1948~2003 年	1948~2002 年	1948~2003 年	1948~2002 年
3~5 月	-0.31	-0.34	-0.11	-0.13
6~8 月	-0.50	-0.45	-0.19	-0.18
9~11 月	-0.24	-0.32	-0.10	-0.14
12 月至 翌年 2 月	-0.08	-0.20	-0.03	-0.06
全 年	-0.37	-0.43	-0.43	-0.54

月降水量的长期变化一直没有研究过。表 2 是用 1948~2001 年资料计算的全球月降水的趋势系数和回归系数。表 3 是用 1948~2003 年资料计算的结果。可以看出,几乎所有月份的降水量都呈负的趋势变化,10 月至翌年 4 月时间段内月降水量的负趋势比较小(4 月、10 月更小)。在 5~9 月时间段呈强的负趋势。比较表 2 和表 3,这种特征随时间没有丝毫减弱的迹象。

表 2 1948~2001 年全球陆地月平均降水的趋势系数和回归系数

月份	趋势系数	回归系数/(mm·a ⁻¹)	月份	趋势系数	回归系数/(mm·a ⁻¹)
1	-0.19	-0.022	7	-0.52*	-0.092*
2	-0.17	-0.028	8	-0.36*	-0.069*
3	-0.19	-0.027	9	-0.47*	-0.096*
4	-0.01	-0.002	10	-0.04	-0.009
5	-0.45*	-0.086*	11	-0.15	-0.002
6	-0.21*	-0.029*	12	-0.07	-0.010

* 达到 0.05 以上的信度。

表 3 1948~2003 年全球陆地月平均降水的趋势系数和回归系数

月份	趋势系数	回归系数/(mm·a ⁻¹)	月份	趋势系数	回归系数/(mm·a ⁻¹)
1	-0.15	-0.017	7	-0.56*	-0.098*
2	-0.04	-0.007	8	-0.34*	-0.061*
3	-0.23	-0.031	9	-0.40*	-0.079*
4	0.01	0.001	10	0.01	0.001
5	-0.46*	-0.084*	11	-0.17	-0.022
6	-0.23*	-0.030*	12	-0.06	-0.001

* 达到 0.05 以上的信度。

图 3 为 1948~2003 年全球 7 月份降水的时间序列图,趋势系数是 -0.56。可以看出,全球 7 月份的平均降水量呈非常明显的减少趋势,而且几乎没有明显的年代际变化,呈明显的线性下降,反映了近几年北半球 7 月的降水量继续偏少,在 20 世纪 80 年代全球变暖以来,仅 1981 年、1988 年和 2000 年的 7 月份降水量是偏多的,其他年份都是负距平,降水量明显少。

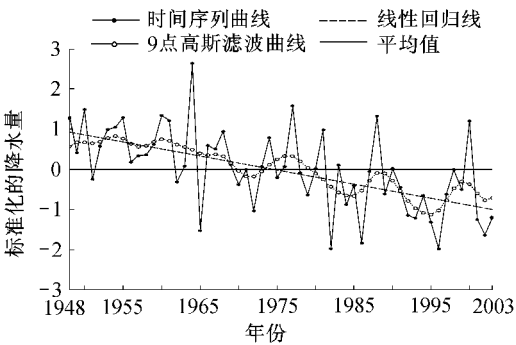


图 3 1948~2003 年全球 7 月份平均年降水量的时间变化曲线、回归直线和高斯 9 点滤波曲线

4 纬圈平均年降水的长期变化

Bradley 等^[12]曾经给出过全球若干纬圈带平均降水的时间变化图,但是没有比较其趋势变化,也没有包含 20 世纪 90 年代以后的资料。施能等^[8]研究了 1948~2000 年全球每 10 个纬度平均年降水量的趋势系数和回归系数。本文增加 3 年新的资料再次计算,结果见表 4。从表 4 看出,在 35 个纬圈中,降水正趋势的纬圈只有 11 个,负趋势的纬圈有 24 个。在 25°S~55°N 范围内,各纬圈平均年降水量都是负趋势;有 12 个纬圈的年平均降水量的趋势达到 0.05 的信度的显著性,其中只有 1 个纬度带(75°N~80°N)是正趋势。说明降水量负趋势比正趋势强度高、范围大。另外看出,最强的降水负趋势出现在 5°N~25°N,其中 15°N~20°N 降水量的负趋势系数高达 -0.55,平均每年减少 1.83 mm。

将表 4 与 1948~2000 年的计算结果比较,计算了相同纬度带内年平均降水量在两个时间段趋势系数的差(1948~2003 年时间段的值减 1948~2000 年时间段的值,见表 5)。表 5 中的正值表示近 3 年来降水量的正趋势在加强(或者负趋势在减弱)。可以看到,35 个纬度带中,15 个纬度带是正值,20 个纬度带有是负值,表示全球降水量近 3 年继续有减少的特征。此外,表 5 中的正值主要在南半球 30°S 以南,而 30°S~35°N 是负值,因为该地区本来就是负趋势,说明负趋势更强了。在北半球高纬度 65°N~75°N 范围内趋势系数是正值,表示该范围降水量的正趋势还在加强。

5 总结与结论

- a. 1948~2003 年全球年降水量 EOF-1 的时间变化和全球平均的年降水量都表现为明显的负趋势。年降水量每格点平均每年减少 0.43 mm。
- b. 近期全球 6~8 月(北半球夏季)降水量的负趋势更明显了,但是其他季节时间段和年总降水

表 4 1948 ~ 2003 年全球 36 个纬圈的
年平均降水量、趋势系数及回归系数

纬 度	年降水量/mm	趋势系数	回归系数/(mm·a ⁻¹)
90°S ~ 85°S	117.9	0.05	0.09
85°S ~ 80°S	202.5	0.06	0.16
80°S ~ 75°S	311.4	- 0.01	- 0.03
75°S ~ 70°S	433.7	- 0.20 *	- 0.84 *
70°S ~ 65°S	531.9	- 0.30 *	- 1.39 *
65°S ~ 60°S	619.9	0.42 *	4.06 *
60°S ~ 55°S	1050.7	0.08	0.62
55°S ~ 50°S	1109.2	0.31 *	1.52 *
50°S ~ 45°S	1291.8	- 0.43 *	- 1.71 *
45°S ~ 40°S	986.9	- 0.45 *	- 0.45 *
40°S ~ 35°S	832.7	- 0.03	- 1.69
35°S ~ 30°S	599.0	0.20	0.65
30°S ~ 25°S	583.0	0.16	- 0.65
25°S ~ 20°S	726.6	- 0.19	- 0.10
20°S ~ 15°S	1060.3	- 0.21	- 0.96
15°S ~ 10°S	1451.1	- 0.23	- 0.95
10°S ~ 5°S	1914.0	- 0.14	- 0.87
5°S ~ 0°S	2119.3	- 0.15	- 1.11
0°N ~ 5° N	2083.8	- 0.31 *	- 1.92 *
5°N ~ 10°N	1640.2	- 0.48 *	- 2.64 *
10°N ~ 15°N	1123.2	- 0.53 *	- 2.41 *
15°N ~ 20°N	828.4	- 0.55 *	- 1.83 *
20°N ~ 25°N	692.3	- 0.44 *	- 1.09 *
25°N ~ 30°N	596.3	- 0.33 *	- 0.63 *
30°N ~ 35°N	583.3	- 0.13	- 0.28
35°N ~ 40°N	563.9	- 0.26	- 0.47
40°N ~ 45°N	561.4	- 0.19	- 0.31
45°N ~ 50°N	585.0	- 0.12	- 0.16
50°N ~ 55°N	652.6	- 0.33 *	- 0.54 *
55°N ~ 60°N	654.2	0.17	0.25
60°N ~ 65°N	507.6	0.03	- 0.03
65°N ~ 70°N	365.3	0.04	0.04
70°N ~ 75°N	242.5	0.16	0.14
75°N ~ 80°N	169.6	0.43 *	0.41 *
80°N ~ 85°N	160.0	- 0.04	- 0.04
85°N ~ 90° N			

* 达到 0.05 以上的信度。

表 5 1948 ~ 2003 年时段与 1948 ~ 2000 年时段趋势系数差

纬 度	趋势系数	纬 度	趋势系数
90°S ~ 85°S	0.23	0°N ~ 5° N	0.04
85°S ~ 80°S	0.21	5°N ~ 10°N	- 0.01
80°S ~ 75°S	0.20	10°N ~ 15°N	- 0.05
75°S ~ 70°S	0.14	15°N ~ 20°N	- 0.07
70°S ~ 65°S	0.11	20°N ~ 25°N	- 0.04
65°S ~ 60°S	0.19	25°N ~ 30°N	- 0.04
60°S ~ 55°S	0.02	30°N ~ 35°N	- 0.03
55°S ~ 50°S	0.11	35°N ~ 40°N	0.02
50°S ~ 45°S	0.05	40°N ~ 45°N	- 0.01
45°S ~ 40°S	- 0.05	45°N ~ 50°N	- 0.02
40°S ~ 35°S	0.05	50°N ~ 55°N	- 0.04
35°S ~ 30°S	0.06	55°N ~ 60°N	- 0.05
30°S ~ 25°S	- 0.04	60°N ~ 65°N	- 0.00
25°S ~ 20°S	- 0.09	65°N ~ 70°N	0.07
20°S ~ 15°S	- 0.07	70°N ~ 75°N	0.08
15°S ~ 10°S	- 0.05	75°N ~ 80°N	- 0.02
10°S ~ 5°S	- 0.03	80°N ~ 85°N	- 0.05
5°S ~ 0°S	- 0.04	85°N ~ 90°N	

量的负趋势都有所减弱,12 月至翌年 2 月的负趋势减弱明显,表示近 3 年北半球冬季降水量有所增加。

c. 在 5 ~ 9 月时间段内,全球月降水量呈非常强的负趋势。这种特征随时间没有丝毫减弱的迹象。

d. 研究了纬圈内年平均降水的长期变化,指出在 35 个纬圈中,降水正趋势的纬圈只有 11 个,负趋势的纬圈有 24 个。在 25°S ~ 55°N 范围内,各纬圈的平均年降水量都呈负趋势。最强的降水负趋势出现在 5°N ~ 25°N 范围内,其中 15°N ~ 20°N 范围内降水量的负趋势高达 - 0.55,平均每年每格点减少 1.83 mm。

e. 本文研究的是全球陆地降水,全球(陆地 + 海洋)的降水量资料库是最近发布的,至今还没有系统的研究结果。从目前初步计算的结果看,增加海洋资料后全球降水量变化的总趋势不会有明显的改变。虽然目前对全球变暖后的降水量变化问题有各种推测,但是利用最新的降水量资料及时监测全球降水量的近期变化仍是今后了解全球降水量的气候变化的一种重要手段。

参考文献:

[1] 元国江. 全球气候变化对水电资源的影响[J]. 水利水电科技进展,1998,18(3):62-64.

[2] 宋兰兰,陆桂华. 生态环境需水研究综述[J]. 水利水电科技进展,2004,24(3):57-61.

[3] 吴有训,徐巍,汪钟兴,等. 皖东南地区 1991 年梅雨期暴雨洪涝灾害分析[J]. 水利水电科技进展,1998,18(5):32-35.

[4] HULME M. Estimation global changes in precipitation[J]. Weather, 1995,50:30-42.

[5] 李庆祥,屠其璞. 近百年北半球陆面降水资料的插补及初步分析[J]. 南京气象学院学报,2000,23(4):528-535.

[6] 李庆祥,屠其璞. 近百年北半球陆面及中国年降水的区域特征与相关分析[J]. 南京气象学院学报,2002,25(1):92-99.

[7] 施能,陈绿文,封国林. 1920 ~ 2000 年全球 6 ~ 8 月陆地旱涝气候变化[J]. 气象学报,2003,61(2):237-345.

[8] 施能,黄先香,杨扬. 1948 ~ 2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时空特征[J]. 大气科学,2003,27(6):971-982.

[9] 陈绿文,施能. 全球陆地降水初步分析[J]. 南京气象学院学报,2002,25(1):84-91.

[10] 黄先香,施能,炎利军. 1948 ~ 2001 年全球陆地 6 ~ 8 月降水初步分析[J]. 南京气象学院学报,2003,26(2):201-209.

[11] CHEN Ming-yue, XIE Ping-ping, JANOWIAK J E, et al. Global precipitation: a 50 year monthly analysis based Interpolation and reconstruction of gauge observation[J]. Journal of Hydrometeorology,2002,3(3):249-266.

[12] BRADLEY R S, DIAZ H F, EISCHEID J K, et al. Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the Mid-19th center[J]. Science, 1987,237:171-175.

(收稿日期:2005-07-27 编辑:高建群)