

文章编号: 1000-2022(2006)05-0627-08

1948—2003 年热带地区降水气候特征与变化

刘锦绣, 施能

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 使用 1948—2003 年全球陆地和海洋的月降水资料, 研究了热带地区年降水量场的趋势变化, 同时还研究了 ENSO 事件与热带地区年降水量的关系。结果表明, 在 1948—2003 年, 热带地区年降水量场以负趋势为主要变化特征。给出了降水趋势明显的 13 个区域, 指出热带海洋降水趋势明显的地区比陆地的范围广而且强度大, 正趋势区基本都在南半球的海洋上, 且北半球降水趋势明显的海洋区域都呈负趋势。研究结果还表明, ENSO 事件可能是热带地区年降水量减少的一个重要原因; 同时给出了 ENSO 事件发生时热带地区的明显旱涝区, 并与以往的研究进行了比较。

关键词: 热带地区; 降水; 气候特征; 气候变化; ENSO

中图分类号: P468.0 **文献标识码:** A

Climatic Characters and Changes of Tropical Precipitation Fields during 1948—2003

LU Jin-xiu, SHI Neng

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorology Disaster NUIS, Nanjing 210044 China)

Abstract Using the monthly global land and ocean precipitation reconstruction data set during 1948—2003, the trend variation of tropical annual precipitation fields and the relationship between the tropical annual precipitation and ENSO events have been investigated. Evidence suggests that a negative trend dominated the annual precipitation field. Thirteen regions with significant trend of precipitation are detected. Results show that the precipitation regions with a significant trend over the sea are wider than those over the land areas, and the positive trend regions mostly lie over the Southern Hemispheric Oceans, and the significant precipitation trends over the Northern Hemispheric Oceans are all negative. It is also shown that the ENSO events may serve as one of the significant causes for precipitation reduction in the tropics. Meanwhile, the drought and flood areas in ENSO event years are also identified and compared with the researches available.

Key words tropics; precipitation; climate character; climate change; ENSO

收稿日期: 2005-09-29 改回日期: 2005-12-16

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, 研究方向: 全球气候变化, E-mail: ljx42012003y@nuist.edu.cn

0 引言

热带地区是全球热量及水汽的主要源地, 全球约 2/3 的降水发生在热带, 该地区降水所释放的潜热为大气环流提供了 3/4 以上的能量^[1]。以热带地区作为一个整体, 研究热带地区降水气候特征与变化对研究全球水循环、全球气候变化以及海气相互作用等具有非常重要的意义。至今为止, 国内外许多气象工作者对全球降水变化进行了研究, Lau 等^[2]用 1901—1980 年的 NCAR 全球陆地 2 000 个左右的站点月降水资料合成的全球降水格点资料, 研究了全球陆地降水的年内变化特点及其与 ENSO 的关系。Dai 等^[3]创建与研究了 1900—1988 年全球陆地降水, 将降水量大(小)于 1 倍均方差 (σ) 作为湿(旱)月的标准, 计算了两个干旱月之间的平均持续时间, 得到从 1900—1944 年到 1945—1988 年, 两个旱月之间平均的时间间隔增加了 28%。李庆祥等^[4-5]插补和分析了 1900—1996 年的北半球陆面月降水资料, 指出北半球陆面年降水近百年来线性趋势不明显, 但部分区域的年降水有所增加或减少, 且近百年北半球陆面降水受到 ENSO 的影响较为明显。以上研究仅仅是针对陆地降水量, 并没有包括卫星观测与海上和船舶降水量观测站的海洋降水。热带 70% 左右的区域是海洋, 只有考虑了海洋的资料后, 对热带地区降水气候特征与变化的研究才是完整的。

研究热带地区降水气候特征与变化, ENSO 现象是必须一起研究的, 因为热带地区是 ENSO 事件对全球气候影响最为显著的地区。夏冬冬等^[6]指出, 暖事件年, 全球陆地年降水量大范围减少, 陆地年降水量增加的地区不多; 施能等^[7]也指出, 冷暖事件对热带陆地地区年降水量的影响是显著的。但至今为止, 用包括海洋降水的资料来研究大范围降水与 ENSO 事件的关系很少。王绍武等^[8]曾根据 1899—1982 年赤道太平洋的降水资料, 研究了 10—12 月降水量的时空变化, 并与赤道东太平洋海温变化相比较, 但仅用了 20 个站的资料, 且只研究到 80 年代初。因此, ENSO 事件对热带地区降水的影响也需要用最新的降水资料来进行研究。

最近 Chen 等^[9]重建了 1948 年开始的全球降水资料 PREC, 包括陆地 (PREC/L) 和海洋 (PREC/O) 两部分, 目前已更新到 2004 年 2 月。PREC 的空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 范围为 $88.75^\circ\text{S} \sim 88.75^\circ\text{N}$, 全球共有 10 368 个格点, 有资料的格点数共 7 776

个。该资料有严格的检测和质量控制, Chen 等^[9]已经阐明了该资料的优良特性。文献 [10-13] 已经利用全球陆地降水资料 (PREC/L) 对全球陆地年、6—8 月和 9—11 月的降水量场的气候变化进行了研究; 而全球海洋月降水资料 (PREC/O) 目前还没有仔细分析。全球海洋月降水资料 (PREC/O) 是将卫星观测定义的降水空间分布型与雨量筒、船舶观测得到降水量资料的时间变化信息结合起来的最新资料, 包括了 $60^\circ\text{S} \sim 75^\circ\text{N}$ 的全部海洋格点降水量, 这为全面研究热带地区年降水量的气候特征及其与 ENSO 的关系提供了可能。

1 资料和方法

本文利用全球降水资料 PREC 研究了热带地区年降水量的气候特征和变化及其与 ENSO 的关系。研究范围取 ($0^\circ \sim 180^\circ \sim 0^\circ, 30^\circ\text{S} \sim 30^\circ\text{N}$), 格点数是 3 600 个。使用趋势系数^[10], Monte Carlo 检验^[14]以及冷暖事件年与降水量的合成分析^[6]等方法对热带降水资料进行全面的分析。

2 热带地区年降水量的分布特征

用 PREC 资料计算^[9], 热带地区多年平均年降水量是 1 055.5 mm, 这比用 PREC/L 资料算出的热带陆地地区的值 (1 169.7 mm) 小, 说明热带海洋的年降水量比陆地的小。同时年降水量具有明显的区域分布特征。由图 1 可以看到: 主要降水区包括太平洋热带辐合区 (ITCZ)、南太平洋辐合区 (SPCZ)、大西洋热带辐合区、东印度洋、南美北部、我国东南沿海、印度南部、孟加拉湾、非洲西部和马达加斯加, 降水量较少的地区是中东的大部分地区、澳大利亚西部、非洲西南的纳米比亚和博茨瓦纳、印度洋南部、大西洋北部和南部、太平洋北部和东南部。年降水量的分布与 Lau 等^[2]的结果基本一致。此外, 对热带年降水量场进行 EOF 分析, 得到的第一特征向量解释了 98.3% 的总方差, 且第 1 特征向量图 (图略) 与图 1 非常相似, 相似系数高达 0.999 5。

3 热带地区年降水量场长期趋势变化

3.1 基本特征

表 1 显示了热带地区年降水量正负趋势系数的统计特征。可以看到在计算的 3 600 个格点中, 负趋势的格点数是 2 072 比正的多 601 个, 并且在统计上显著的格点数, 负趋势也比正趋势多。说明, 在 1948—2003 年期间, 热带约 3/5 的地区年降水量减

少了, 2/5 的地区年降水量增加了。

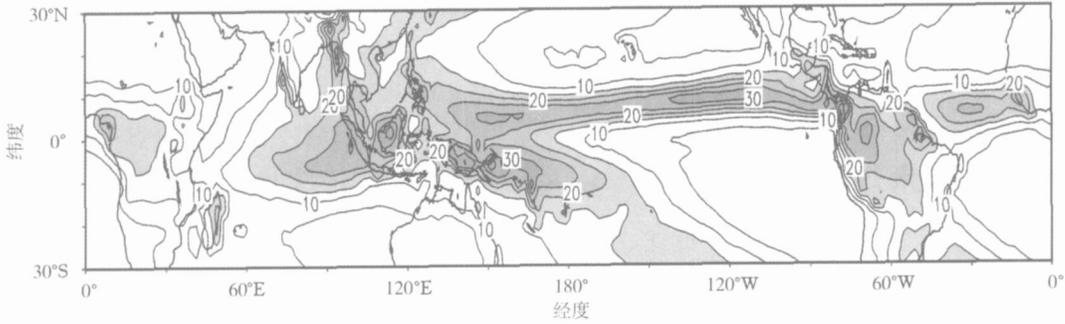


图 1 热带地区年降水量分布 (单位: 100 mm; 阴影为年降水量大于 1 500 mm 的区域)

Fig 1 Spatial distribution of annual precipitation over the tropics

(units 100 mm, the areas where the annual precipitation is above 1 500 mm are shaded)

对趋势系数达到显著性水平的总格点数与正负趋势格点数的差值进行 Monte Carlo 检验^[14] (临界值在表 1 的括号内)。由表 1 可以看出, 通过各显著性水平检验的格点数与正负趋势格点数的差值都已超过 Monte Carlo 模拟的标准, 表明热带年降水量有明显的趋势, 且负趋势比正趋势范围大、强度强的特征是显著的。

表 1 热带地区年降水量正负趋势系数的统计特征

Table 1 Statistical characters of positive and negative trend coefficients of tropical annual precipitation

整个区域	显著性水平			
	0.05	0.01	0.001	
负格点数	2 072	520	235	101
正格点数	1 471	150	38	7
总格点	3 600	670 (635)	273 (209)	108 (30)
正负格点数差	601	370 (164)	197 (79)	94 (39)

注: 括号内的值为 Monte Carlo 检验 0.01 显著性水平的临界值。

由图 2 可以看出, 热带地区平均年降水呈明显的下降趋势, 计算得到的回归系数为 -0.44 mm/a , 趋势系数达 -0.49 , 通过了 0.001 显著性水平的 Monte Carlo 检验。此外, 还可以看出, 近 56 a 来, 降水量有明显的年代际变化, 40 年代末到 60 年代初和 70 年代为多雨期; 80 年代初至今, 降水基本为负距平; 1997 年年降水量异常偏少, 标准化数值为 -3.34 这与 1997 年的 El Niño 事件有关。

3.2 热带地区年降水量长期变化的可能原因

降水是变率很大的气象要素, 降水量的长期变化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。本文认为, 全球变暖与 ENSO 事件

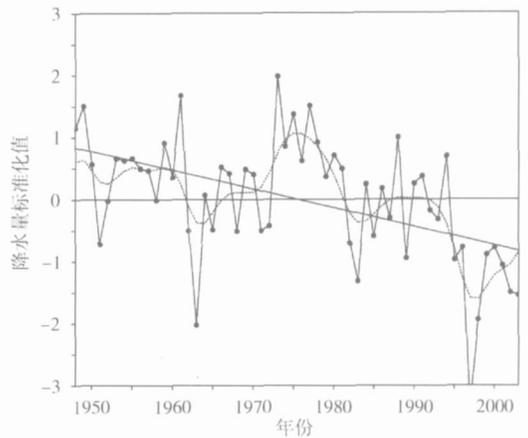


图 2 热带地区平均年降水量标准化时间序列 (●) 及线性回归 (直线) 和高斯 9 点滤波曲线 (虚线)

Fig 2 Standardized time series of averaged annual precipitation over the tropics (●), and its Gaussian 9-point filtering curve (dashed line) and linear regression (solid straight line)

在热带地区年降水量长期变化中是值得注意的。

全球变暖应该是热带地区年降水量下降趋势的一个重要因素。由图 2 可知, 热带地区年降水量在 80 年代初期开始明显减少, 而这段时间正是全球气温突然增暖的时段, 也是大气环流突变的时间^[15]。对经过 9 点滤波后的热带地区年降水量与全球年平均气温在 1948—2003 年时间段内求相关, 得到的相关系数为 -0.53 可见, 热带地区年降水量的长期变化与全球气温的长期变化有明显的关系, 全球气温的暖背景对应了热带地区年降水量的减少。

ENSO 事件与全球降水气候变化关系密切, 文献 [10-13] 研究指出, ENSO 的年代际变化是全球

年、3—5月、6—8月和 9—11月降水量减少的一个重要原因。文献 [16]也指出, 1977年以后 ENSO 现象的强度与频率都增强了, 且 ENSO 的强度和频率的长期变化是热带低纬度降水减少的重要原因。下文将进一步探讨 ENSO事件对热带地区年降水量的影响。

4 热带地区年降水场趋势系数的空间分布

热带地区平均年降水量呈明显的下降趋势, 但降水的空间变率很大, 从表 1也可以看出, 热带约 3/5的地区年降水量减少了, 2/5的地区年降水量增加了, 热带降水气候变化具有明显的区域性。为了更具体地了解热带地区年降水量趋势变化的区域特征, 制作了热带地区年降水量趋势系数分布图(图 3)。从图 3可以看出, 趋势系数的负值区集中在以下 8个地区:

- F₁: 非洲中部 (28. 75°W ~ 38. 75°E, 1. 25°S ~ 18. 75°N), 内含 252个格点。
- F₂: 太平洋西南部 (138. 75~ 171. 25°E, 25. 25~ 8. 75°S), 内含 200个格点。
- F₃: 阿拉伯海和孟加拉湾区 (53. 75~ 103. 75°E, 6. 25~ 28. 72°N), 包括印度半岛, 泰国和缅甸, 内含 210个格点。
- F₄: 墨西哥湾地区 (61. 25~ 111. 25°W, 16. 25~ 23. 75°N), 内含 84个格点。
- F₅: 加罗林群岛 (118. 75 ~ 176. 25°E, 6. 5 ~ 18. 75°N), 内含 138个格点。
- F₆: 夏威夷群岛 (131. 25~ 161. 25°W, 11. 25~ 23. 75°N), 内含 78个格点。

F₇: 非洲南部 (3. 75 ~ 53. 75°E, 28. 75 ~ 11. 25°S), 包括博茨瓦纳和纳米比亚及其沿海地区, 内含 168个格点。

F₈: 智利及其西部海域 (68. 75 ~ 111. 25°W, 23. 75~ 11. 25°S), 内含 108个格点。

上述 8个负趋势区域的总格点数是 1 238 可近似认为是热带地区年降水量减少比较明显的总面积。

图 3还显示了 5个趋势系数正值区:

Z₁: 澳大利亚西部及印度洋南部 (61. 25 ~ 136. 25°E, 28. 75~ 11. 25°S), 内含 248个格点。

Z₂: 大西洋南部 (1. 25 ~ 36. 25°W, 28. 75 ~ 8. 75°S), 内含 152个格点。

Z₃: 赤道中、东太平洋的南部 (110. 25 ~ 148. 75°W, 28. 75~ 6. 25°S), 内含 144个格点。

Z₄: 大西洋北部 (16. 25 ~ 73. 75°W, 21. 25 ~ 31. 25°N), 内含 120个格点。

Z₅: 我国东海及其东部地区 (118. 75 ~ 151. 25°E, 26. 25~ 31. 25°N), 内含 42个格点。

上述 5个正趋势区基本都在海洋上, 其总格点数是 702个, 约为负趋势区域的一半, 说明热带地区年降水量变化以负趋势为主。表 2还给出了这 8个负趋势区和 5个正趋势区的年平均降水量、趋势系数和回归系数。

本文得到的区域包括了文献 [10]的热带陆地地区的范围, 同时还发现, 热带海洋降水趋势明显的地区比陆地的范围广而且强度大, 正趋势区基本都在南半球的海洋上, 且北半球降水趋势明显的海洋区域都呈负趋势。

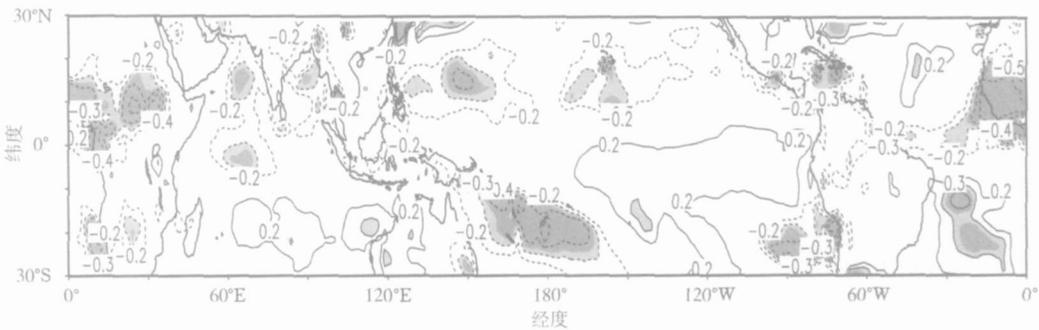


图 3 热带地区年降水量趋势系数分布 (黑(灰)色区为达到 0.01(0.05)显著性水平的区域)

Fig 3 Spatial distribution of the trend coefficients of tropical annual precipitation

(The black (grey) areas denote where trends have passed the significance test at the 0.01(0.05) significance level)

表 2 热带地区 8 个负趋势区和 5 个正趋势区的年平均降水量、趋势系数及回归系数

Table 2 Annual mean precipitation, trend coefficients and regression coefficients for 8 tropical negative trend regions $F_1 - F_8$ and 5 positive trend regions $Z_1 - Z_5$

区域	平均降水量 /mm	趋势系数	回归系数
F_1	907.7	-0.61 ¹⁾	-1.99
F_2	1551.8	-0.48 ¹⁾	-2.88
F_3	1100.9	-0.37 ¹⁾	-1.61
F_4	937.1	-0.34 ¹⁾	-1.40
F_5	1744.4	-0.3 ²⁾	-3.25
F_6	807.4	-0.27 ²⁾	-1.50
F_7	676.6	-0.28 ²⁾	-0.76
F_8	208.0	-0.28 ²⁾	-0.23
Z_1	609.3	0.42 ¹⁾	1.04
Z_2	369.0	0.36 ¹⁾	0.63
Z_3	893.1	0.35 ¹⁾	0.79
Z_4	585.9	0.19	0.39
Z_5	1584.7	0.20	1.08

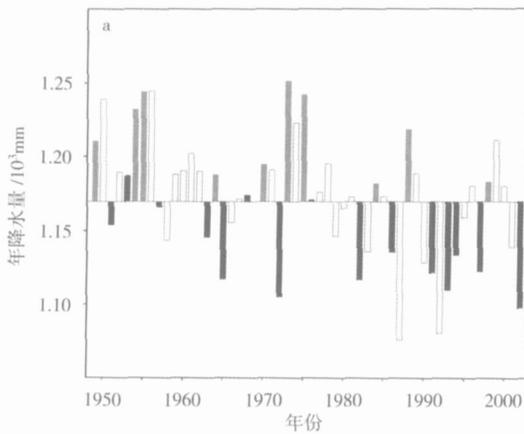
注: 1) 表示通过了 0.01 显著性水平的 Monte Carlo 检验;

2) 表示通过了 0.05 显著性水平的 Monte Carlo 检验。

5 热带地区年降水量与 ENSO 事件的关系

已有许多工作研究过 ENSO 事件与全球大尺度降水的关系^[26, 17]。但是, 长期以来由于没有长序列的海洋降水资料, ENSO 事件影响热带降水的空间分布在海洋上一直是空白。本文根据文献 [6, 18] 的 El Niño 年和 La Niña 年, 研究了热带地区年降水量与 ENSO 事件的关系。

图 4 为热带陆地地区与包括海洋的热带地区的



年降水量直方图。由图可以看出, 增加了海洋资料后, 热带地区年降水量与 ENSO 事件的对应关系没有热带陆地的好。

为了更清楚地了解 ENSO 事件对热带年降水量的影响, 计算了冷暖事件年平均年降水量距平差值 (暖事件年减冷事件年) 的 t 统计量, 其统计特征如表 3 所示, 且表 3 中达到各显著性水平的正负格点数均超过了 0.001 显著性水平的 Monte Carlo 临界值 (表 3 的括号内)。由表 3 可以看出, 负格点数及达到各显著性水平的负格点数均比正格点数多, 说明暖事件年, 年降水量减少的地区比增加的范围稍广, 且程度强。众所周知, 暖事件跟冷事件相比更为频繁, 因此, ENSO 事件可能是热带地区年降水量减少的一个重要原因。

表 3 正负 t 统计量的统计特征

Table 3 Statistical characters of positive and negative t statistic

	整个区域	显著性水平		
		0.05	0.01	0.001
正格点数	1651	624(556)	391(202)	183(64)
负格点数	1949	736(670)	511(163)	319(79)

注: 括号内为 Monte Carlo 检验 0.001 显著性水平的临界值。

图 5 是 t 统计量分布图。由图可以看出, 热带大部分地区的年降水量都受到 ENSO 事件的影响。其中 t 统计量负值区集中在 6 个地区:

H_1 : 西太平洋及东印度洋 (73.75°~143.75°E, 16.25°S~13.75°N), 内含 377 个格点。

H_2 : 东澳大利亚 (136.25°~178.75°E, 28.75°~18.75°S), 内含 90 个格点。

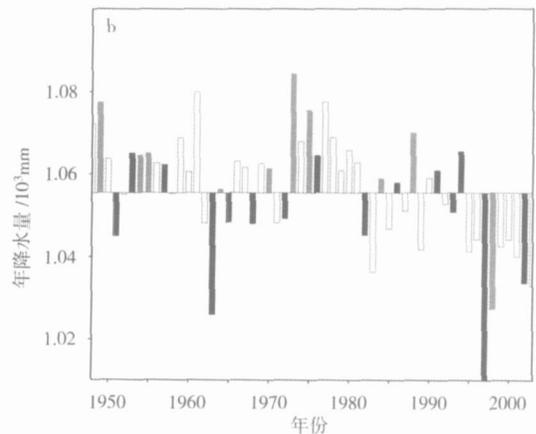


图 4 热带陆地地区 (a) 与热带地区 (b) 的年降水量直方图 (单位: 10^3 mm; 黑(灰)色代表暖(冷)事件年)

Fig. 4 Time series for averaged annual precipitation over tropical land areas (a) and the tropics (b) (units: 10^3 mm, black (gray) bar denotes warm (cold) event year)

H₃: 印巴区 (66 25 ~ 96 25° E, 11. 25 ~ 28. 75°N), 包括印度西部, 巴基斯坦南部及尼泊尔, 内含 104个格点。

H₄: 赤道中美洲 (51. 25 ~ 116 25°W, 1. 25 ~ 21. 25°N), 内含 243个格点。

H₅: 大西洋东部及西部 (23 75 ~ 58 75°W, 3 75°S ~ 8 75°N; 1. 25 ~ 13 75°E, 11. 25 ~ 1. 25°S), 内含 120个格点。

H₆: 太平洋西北部 (131. 25°E ~ 8 75°W, 16 25 ~ 31. 25°N), 内含 168个格点。

上述 6个负值区总格点数是 1 102 这些区域在暖事件年年降水量减少, 冷事件年年降水量增多。 *t* 统计量正值区集中在以下 7个区域:

L₁: 中、东太平洋区 (148 75° E ~ 158 75°W, 11. 25°S ~ 13 75°N; 118 75 ~ 156 25°W, 1. 25°S ~ 8 75°N), 内含 322个格点。

L₂: 印度洋西部和南部 (38 75 ~ 108 75° E, 28. 75 ~ 21. 25° S; 36 25 ~ 66 25° E, 16 25° S ~ 13. 75°N), 内含 285个格点。

L₃: 太平洋南部 (91. 25 ~ 146 25°W, 28 75 ~ 23. 75°S; 121. 25 ~ 146. 25°W, 21. 25 ~ 18 75°S), 内含 91个格点。

L₄: 大西洋北部 (11. 25 ~ 38. 75°W, 18 75 ~ 31. 25°N; 61. 25 ~ 86 25°W, 26 25 ~ 31. 25°N), 内含 105个格点。

L₅: 太平洋东北部 (118 75 ~ 163 75°W, 13. 75 ~ 31. 25°N), 内含 152个格点。

L₆: 非洲北部 (1. 25 ~ 23. 75° E, 23 75 ~ 31. 25°N), 包括利比亚及阿尔及利亚, 内含 40个格点。

L₇: 大西洋南部 (3 75°E ~ 21. 25°W, 26 25 ~ 11. 25°S), 内含 77个格点。

上述 7个正区的总格点数是 1 002 范围跟负区的差不多。这些区域在暖事件年降水增加, 在冷事件年降水减少。

表 4 5分别给出了暖事件发生时的 6个旱区和 7个涝区在冷暖事件年的年降水量平均值、差值及 *t* 统计量值, 同时图 6还给出了受 ENSO 影响最明显的 2个旱区 (H₁和 H₂区)和 2个涝区 (L₁和 L₂区)的标准化年降水量的时间序列。

根据表 4 5和图 6 并比较以前的研究结果可以得到 (使用前面定义的 H₁ ~ H₇, L₁ ~ L₆来表示的影响区域):

1)H₁区和 L₁区是 ENSO 影响最为明显的区域, H₁区与以往的研究相比向印度洋延伸, 其 *t* 统计量的绝对值比文献 [6]得到的 (- 8 68)小; 而 L₁区与 Lau等^[2]相比范围向东向西延伸, 且强度比 H₁稍弱;

2)与夏冬冬等^[6]的研究结果相比较, H₂区和 H₄区均向太平洋延伸了 25个经度左右, 旱涝强度 H₂区稍强, 而 H₄区稍弱;

3)H₃和 L₆区的旱涝特征与以往的研究一致;

4)H₅, H₆, L₂, L₃, L₄, L₅及 L₇区均在海洋上, 在以往的研究中没有明确指出, 本文说明 L₂与 L₃区是 ENSO 影响明显的旱涝区, 且范围比本文指出的还要向南半球亚热带延伸; 而 H₅, H₆, L₄, L₅与 L₇区年降水量与 ENSO 事件的联系不很显著;

5)此外还得到了两个不太显著的区域, 即太平洋东南部及非洲南部。其 *t* 统计量的绝对值均在 2 0以下。

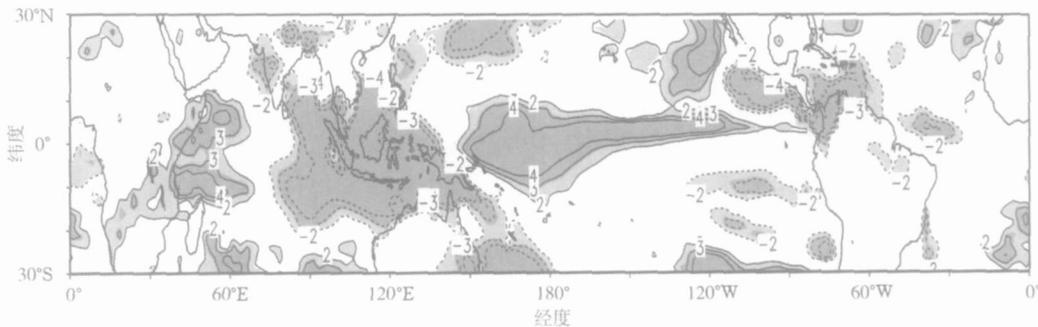


图 5 冷暖事件年热带地区年降水量差值的 *t* 统计量 (暖事件年减冷事件年)

(黑 (灰) 色区为差值达 0.01 (0.05) 显著性水平的区域)

Fig 5 *t* statistic for the difference of tropical annual precipitation between cold and warm event years

(Black (gray) areas denote where the differences have passed the significance test

at the 0.01 (0.05) significance level respectively)

表 4 暖事件发生时年降水量减少地区的平均降水量

Table 4 Averaged annual precipitation over areas with less annual precipitation during warm events mm

	西太平洋及东印度洋	东澳大利亚	印巴区	赤道中美洲	大西洋东部及西部	太平洋西北部
暖事件	1 714.12	815.47	1 203.89	1 421.55	1 437.86	956.06
冷事件	2 012.92	937.74	1 337.28	1 508.03	1 549.17	1 025.95
差值	- 298.80	- 122.27	- 113.39	- 86.48	- 111.31	- 69.89
t 统计量	- 7.34	- 4.51	- 3.75	- 3.30	- 2.80	- 2.65

表 5 暖事件发生时年降水量增加地区的年平均降水量

Table 5 Averaged annual precipitation over areas with more annual precipitation during warm events mm

	中、东太平洋	印度洋西部和南部	太平洋南部	大西洋北部	太平洋东北部	非洲北部	大西洋南部
暖事件	1 980.47	756.41	1 063.93	558.58	601.62	56.81	136.02
冷事件	1 655.73	694.78	1 011.34	527.71	547.02	43.35	130.04
差值	324.74	61.63	52.59	30.87	54.60	13.46	5.98
t 统计量	6.15	4.66	3.82	2.87	2.40	2.39	2.10

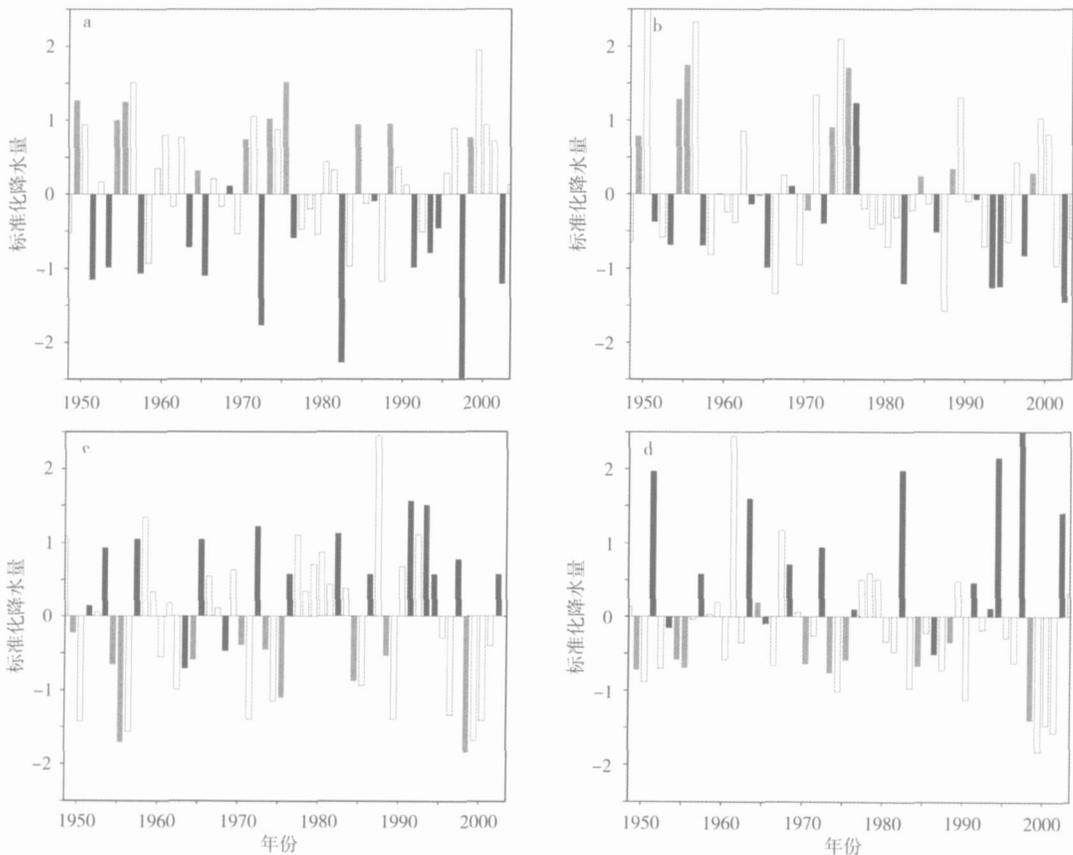


图 6 西太平洋及东印度洋 (a), 东澳大利亚 (b), 中、东太平洋 (c) 和

印度洋西部和南部 (d) 的平均年降水量的时间变化 (降水量已标准化; 黑 (灰) 色代表暖 (冷) 事件年)

Fig. 6 Standardized time series for averaged annual precipitation over West Pacific and East Indian Ocean (a),

eastern Australia (b), Central and East Pacific (c) as well as West and South Indian Ocean (d)

(Black (gray) bar denotes warm (cold) event year)

6 小结

本文使用包括海洋资料的目前全球最完整的 PREC 中 1948—2003 年的资料, 全面研究了热带地区年降水量的气候特征和变化及其与 ENSO 的关系。指出 1948—2003 年热带地区年降水量场以负趋势为主要变化特征, 热带海洋降水趋势明显的地区比陆地的范围广而且强度大, 正趋势区基本都在南半球的海洋上; 北半球降水趋势明显的海洋区域都呈负趋势。同时还发现热带大部分地区的年降水量都受到 ENSO 事件的影响, 暖事件年, 年降水量减少的地区比增加的范围稍广, 且程度强; ENSO 对年降水量影响最为明显的区域是西太平洋及东印度洋区和东澳大利亚区, 与以往的研究相比二者的范围均向海洋延伸; 暖事件年, 海洋上的旱区包括大西洋东部及西部和太平洋西北部, 而涝区包括印度洋西部和南部, 太平洋南部, 大西洋北部, 太平洋东北部和太平洋南部。降水的时、空变率很大, 本文由于增加了海洋资料, 热带地区年降水量的气候特征与变化更加完整, 且年降水量趋势变化明显及 ENSO 事件对年降水量影响明显的热带地区也更加的清晰。本文的研究结果是对全球气候变化特征的补充, 同时也为进一步地研究全球水循环以及海气相互作用等提供了参考。

参考文献:

- [1] Kummerow C, Simpson J Thiele O, et al The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two year in orbit [J]. *J Appl Meteor*, 2000, 39(12): 1965-1982.
- [2] Lau K M, Shen P J Teleconnection in Global Rainfall Anomalies Seasonal to Inter-Decadal Time Scales [C] // *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991: 227-256.
- [3] Dai A, Fung I Y, Genie A S S Surface observed global land precip-

- itation variations during 1900—1988 [J]. *J Climate*, 1997, 10(11): 2943-2962.
- [4] 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*, 2002, 23(4): 528-535.
- [5] 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.
- [6] 夏冬冬, 施能, 陈绿文. 1948—2000 年 ENSO 事件与全球陆地降水量的关系 [J]. *南京气象学院学报*, 2003, 26(3): 333-340.
- [7] Shi Ning, Chen Luwen. An annual precipitation fields secular variation over global land areas for 1948—2000 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(3): 281-286.
- [8] 王绍武, 马良, 陈振华. 赤道太平洋降水与厄尔尼诺 [J]. *气象学报*, 1986, 44(4): 403-410.
- [9] Chen M P, Janowiak J E, Arkin P A. Global precipitation A 50 year monthly analysis based on gauge observations [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2002, 3(3): 249-266.
- [10] 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.
- [11] 黄先香, 施能, 炎利军. 1948—2001 年全球陆地 6—1 月降水初步分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2003, 26(2): 201-209.
- [12] 杨扬, 施能. 1948—2001 全球 9—11 月降水长期变化 [J]. *气象科学*, 2003, 23(3): 253-262.
- [13] 强卫龙, 施能. 1948—2001 年全球陆地春季降水长期变化的时空特征 [J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27(3): 326-335.
- [14] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques [J]. *Mon Wea Rev*, 1983, 111(1): 46-59.
- [15] Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere [J]. *Bull Amer Meteorol Soc*, 1990, 71(7): 988-993.
- [16] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响 [J]. *科学通报*, 1999, 44(3): 315-320.
- [17] Ropelewski C F, Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño / Southern Oscillation [J]. *Mon Wea Rev*, 1987, 115(8): 1606-1626.
- [18] Liao Dechun, Zhou Yonghong, Liao Xinhao. A weak El Niño event in 2002 detected by the astronomical observation [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16): 1709-1713.