

广东省干旱趋势变化和空间分布特征

郑彬 林爱兰

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘要:利用广东省86个地面站的降水和气温资料,定义广东省月干湿气候指数。定义的干湿气候指数可以明显地区分广东省干湿季,而且对春季粤南偏旱、秋季粤北偏旱也有反映,体现指数定义的合理性。趋势分析表明:全省2~3月、7~8月和12月明显变湿,而10~11月显著变干,其余月份趋势不明显。趋势分析结果指出,广东省未来的秋季旱情可能有加重的趋势,而冬春季旱情会有所缓解。各月趋势的空间分布有很大差异,分析结果指出,其年际变率的主要影响因子可能为海-气相互作用过程和陆-气相互作用过程。

关键词:广东省;干旱;趋势;空间分布

中图分类号:P426.616 文献标识码:A 文章编号:1000-0690(2011)06-0715-06

干旱是中国广泛多发的一种气象灾害,甚至在雨水较多的华南沿海地带,也时有干旱少雨的灾害发生。20世纪全世界10大自然灾害中,旱灾居首位^[1]。干旱不仅对农业生产和水资源的利用有巨大影响,还会导致火灾和高温等灾害发生,进一步加重了干旱的危害性。

降水量偏少是干旱发生最直接的原因。广东春季的降水主要是由冷暖气团交汇引起的,其天气系统表现为锋面系统。产生春旱的原因主要是冷暖气团未能在广东省境内交锋。此外,春旱与春季气温升高、蒸发量增大也有关系,有些背风山区,由于焚风出现,蒸发更强,也是造成春旱的一个原因^[2]。早春,南海夏季风还未建立,广东的降水主要来自副高的作用^[3],如果副高偏弱,造成南海北部的西南风偏弱,难以抵抗北方强大的冷空气,就不能在广东产生锋面降水。谢炯光和纪忠萍^[4]分析广东省春季异常早年的环流背景,给出了500 hPa合成平均场特征:副高较弱,588线西脊点在125°E附近;极涡较弱,主体位于西半球,584线在35°N以北,西伯利亚平原为槽所控制,南支槽很弱。他们还指出在这种环流背景下没有什么冷空气南下影响广东省,即使有也难形成冷暖气流持久对峙而在广东省产生明显的降水。刘黎明和郑德娟^[5]的分析结果表明:7月副高、季风低压偏弱、偏南,季风槽位置偏南,或登陆台风少,则广东省易出

现干旱气候。从气候角度而言,广东省秋旱主要有两个原因:热带气旋影响小与西北太平洋副热带高压强盛^[2]。梁建茵和吴尚森^[6]的研究表明,广东省的春旱与东亚季风异常密切相关,而秋旱同时受热带气旋和东亚季风强弱的影响。陆丹^[7]研究了1998~1999华南盛夏、秋、冬、春连旱,也肯定了东亚季风系统异常的影响。他指出造成连旱的气候背景是:1998年下半年副高偏强,8、9月份完全控制华南,10月以后东亚大槽在远东地区以东发展,亚洲大部处于浅脊中,使得北方冷空气一直偏弱、路径偏东,冷空气主力很难影响华南。因此,冷、暖空气基本上没有能在华南上空相遇,造成广东降水从1998年7月始,持续明显偏少。

研究干旱的规律和成因的最终目的在于预测。目前主要的预测方法有简单的经验统计分析、定性预报方法(预测概念模型、相似方法等)、数理统计方法(如周期分析、时间序列分析判别分析、聚类分析、小波分析、典型相关分析、谱分析、气象要素的正交函数展开、多元均生函数模型、随机函数理论及模糊数学方法等)、动力学方法。近年来,在统计和动力相结合的预测方法、集合预报方法方面也有较大的发展,但仍不成熟^[8,9]。到目前为止,短期气候预测技术仍是世界性的难题,在技术上还没有突破。

广东省干旱预测的困难还在于其空间差异,包

收稿日期:2010-10-23; 修订日期:2010-10-11

基金项目:广东省科技计划项目(2005B32601007)资助。

作者简介:郑彬(1976-),男,福建省福清人,博士,主要从事季风、海气相互作用和大气研究。E-mail: zhin@grmc.gov.cn

括干旱分布的差异和不同区域干旱的季节变化和趋势变化的差异。但是在这些方面(特别是后者)我们并不太了解。本文将重点分析广东省干旱在一年四季中的分布状况,并探讨不同季节广东省干旱的趋势变化及其年际变率的影响因子,为广东省干旱预测提供理论依据。

1 资料和方法

本文使用的资料有广东省 86 站降水和温度,美国气候预测中心(CPC)的月平均土壤湿度^[10,11],第二版本的扩展重建海表温度资料(ERSST v2)^[12]和美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析的风场资料^[13]。土壤湿度的空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,ERSST 为 $2^\circ \times 2^\circ$,NCEP/NCAR 再分析资料为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。时间长度是 1961~2005 年。

根据陈创买^[14]对科塔哥的月干湿指数结合柯本的夏季多雨地区年雨量界限提出的修正公式^[15]计算干湿气候指数。

$$A_m = 12r_m / [K(Q_m + 14)] =$$

$$12r_m / [K_m(Q_m + SX_m)], m = 1, 2, \dots, 12$$

式中 r_m 为月的降水量(mm), θ_m 为月的平均温度($^\circ\text{C}$), K 、 K_m 和 SX_m 为公式参数,初定 $K=30$, K_m 与 SX_m 为待定参数。根据实际资料统计出重、中、轻和无 4 个旱情级别,并均用数值表示,形成可操作数据。由初定的 K 值可以计算出初始干湿气候的指数,采用逐步逼近法,求出计算结果与实况的最小均方误差,对应的 K_m 和 SX_m 的值即为所求。当 $A_m > 1$ 时为湿,反之则为干。

2 资料分析

2.1 广东省干湿季节变化

图 1 看到气候态情况下,广东省 1、2 月,10~12 月为干季,而 3~9 月为湿季。由此,定义的干湿气候指数可明显区分广东省干湿季,这在一定程度上体现指数定义的合理性。

图 1 仅能看出广东省干湿的总体变化,对于区域分布并不清楚。为此,我们做 1 a 中 12 个月广东省干湿情况的区域分布图(图 2)。其中图 2 中的实心 and 空心圆对应干湿气候指数的大小,图例各给出两种大小的圆对应的干湿气候指数值,二者的线性插值可以得到其他大小的圆对应的值。

1 月,广东总体偏干,但是在粤北地区基本正

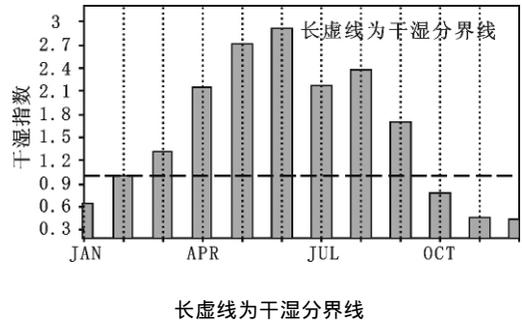


图 1 广东省区域平均干湿季节变化

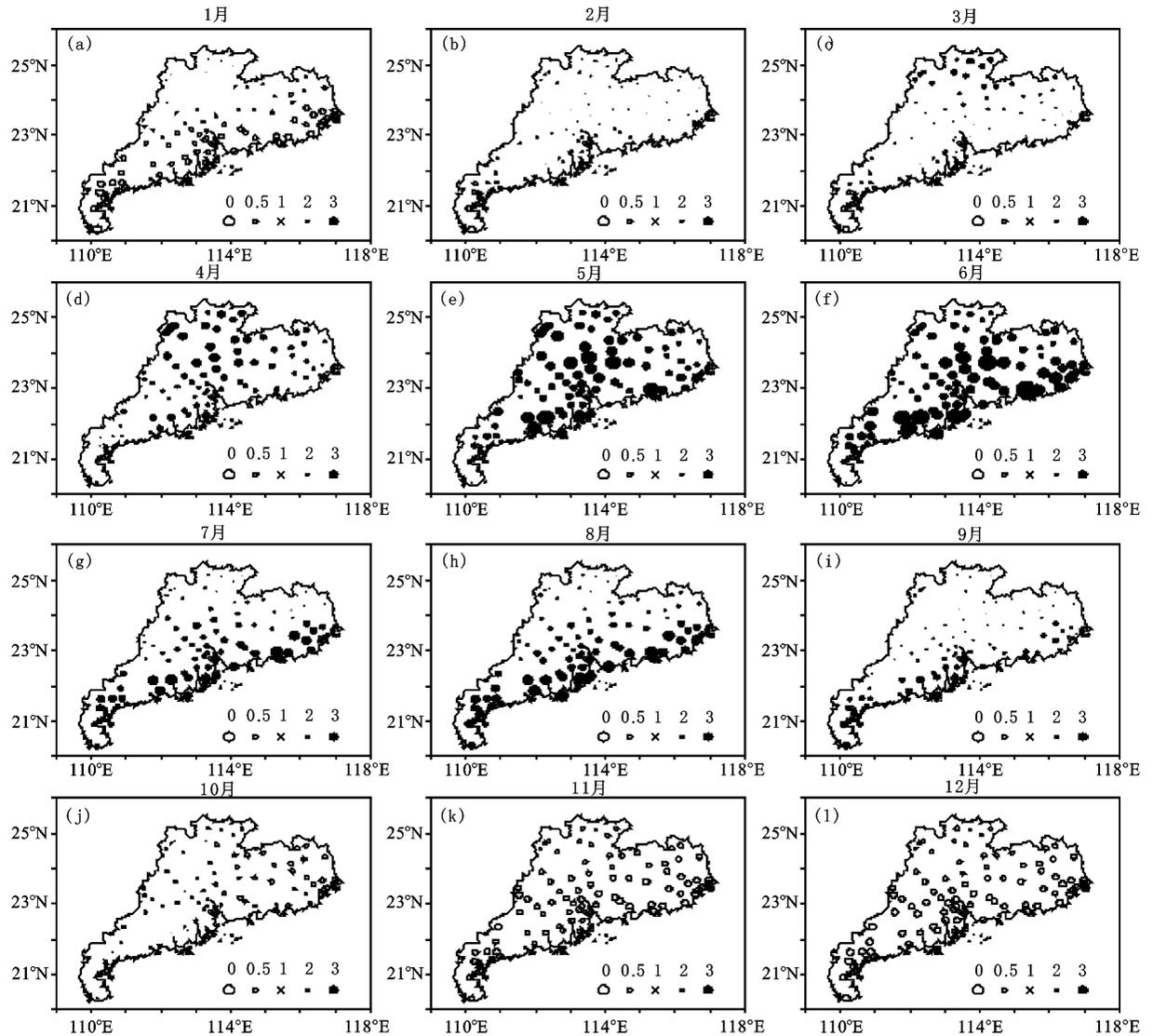
Fig. 1 Change of regional average wet and dry season in Guangdong

常或略偏湿;2 月,粤北和粤东北部偏湿,其余地区大部偏干;3 月,整个粤东北都偏湿,而粤西南偏旱;到 4 月,整个广东省除雷州半岛外都偏湿。从 1~4 月广东省的干湿分布可以看到,偏湿的地区从北部逐渐向南扩展,体现了广东省从旱季向汛期变化,也体现了雨带由北向南的推进^[16,17]。从图 2 d 可以看到,广东省北部比南部更湿,这是由于 4 月雨带依然偏北。5 月雨带继续南移,南海夏季风也在 5 月底影响到广东省,此时雷州半岛也由干转湿。6 月,华南夏季风降水已全面开始^[17],全省继续维持较湿状态。7、8 和 9 月的后汛期,广东省依然保持湿润,但是较湿的区域主要在沿海地区,这显然与台风影响增强有关。其中 9 月湿润程度小于 7、8 月,这与南海夏季风在 9 月开始撤退有关^[18]。10 月,南海夏季风基本撤退完毕,广东省出现全省干状态。11、12 月,广东省干状态进一步加剧。

2.2 广东省干湿趋势变化

广东省未来干湿变化如何,利用线性回归计算得到广东省干湿趋势变化(图 3)。图 3 中的正趋势变化率表示干湿气候指数有增大趋势,对应增湿或干状态减轻;而负趋势变化率则表示指数有减小趋势,对应变干或湿状态减弱。从图中可以看到,2、3 月,7、8 月和 12 月的正趋势变化明显,表明今后广东省在这些月份总体上可能变湿或干状态减轻;而 10 和 11 月有明显的负趋势,表明这两个月广东省可能会变干或湿状态变弱。

从每月干湿趋势变化图(图略)可以看到,之所以 1、4~6、9 月全省总体干湿趋势变化不明显,是因为广东省各区域干湿趋势变化的差异。如 1 月粤北、粤中和粤东南有正的趋势变化,而其他地区多为负趋势变化;4 月,广东西部变干,而东部变湿;5、6 月,基本是西部变湿,而东部变干;9 月虽然



实心圆代表湿, 圆越大则越湿; 空心圆代表干, 圆越大则越干

图 2 1~12 月广东省干湿分布

Fig. 2 Wet and dry region distribution in Guangdong from January to December

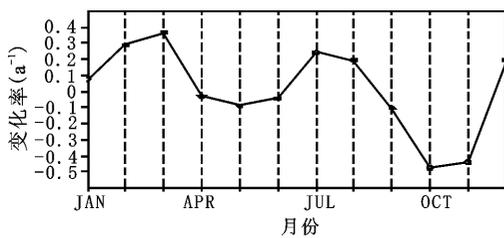


图 3 广东省区域平均干湿趋势变化率 (a^{-1})

Fig. 3 Trend of regional average wet and dry rate change in Guangdong

正趋势变化区域较小, 但是有较大的变化趋势, 从而平衡了较大区域的变干。

2~3 和 7 月, 广东省几乎全省都是正趋势变

化, 而 8 和 12 月也出现部分地区的负趋势。但是 8 和 12 月的负趋势范围较小, 并且没有正趋势的变化大, 因此这两个月的广东省区域平均也是正的趋势变化。10 和 11 月全省范围几乎都是负趋势变化。

2.3 广东省干湿年际变化的主要影响因子

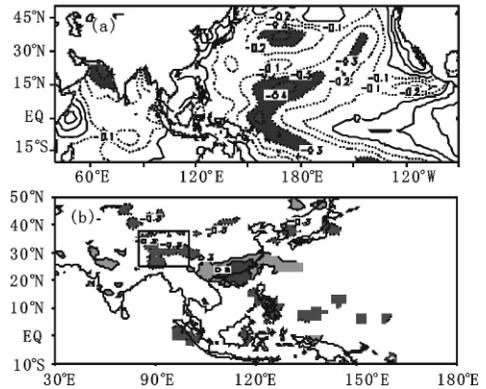
广东省干湿变化的影响因子很多, 包括副高^[2~5]、极涡^[4]、南支槽^[4]、夏季风^[5~7, 19]、热带气旋^[5, 6]和东亚大槽^[7]等等。但是以往的研究者通常是就某一季节区域平均的情况进行分析, 因此得到的影响因子的代表性也具有明显的季节性, 而且对空间分布的影响则没有可代表的因子。为此, 我

们对广东省 86 个站的干湿气候指数进行季节 EOF 分析,得到的第一特征向量的贡献率为 59.7%。第一特征向量不仅有空间分布信息,还包含季节演变的信息。由第一特征向量和时间系数计算的恢复场的气候态空间分布与广东省干湿气候状态非常接近。由此可见,第一特征向量基本解释了广东省气候态的干湿分布和季节变化情况,而时间系数代表了其年际变率。下面我们将时间系数与年平均的高低层风场、海表温度异常(SSTA)和土壤湿度求相关,期望得到影响广东省干湿年际变化的主要因子。

从干湿指数季节 EOF 第一时间系数与年平均高低层风场的相关矢量分布(图略)可以看到,西北太平洋的异常反气旋非常明显,它是影响广东省干湿变化的重要因子。夏半年,西北太平洋的异常反气旋表现为西北太平洋副高的强弱及位置变化,冬半年,它表现为 ENSO 活动(暖事件对应着异常反气旋,而冷事件为异常气旋^[20])。西北太平洋的异常反气旋偏东时,可以为华南输送更多的气水;而当其偏西时,华南被异常的高压覆盖,降水则偏少。有研究表明,ENSO 可能还会影响登陆广东省的热带气旋数量^[21],进而影响广东省的干湿状态。此外,在北太平洋靠近东亚大陆的区域有显著的气旋性异常,它代表了影响广东省干湿变化的另一重要因子——东亚大槽。冷空气活动与东亚大槽强弱息息相关,而前者也是华南锋面降水的主要因子之一。印度、孟加拉湾上空的气旋性异常也很显著,在冬半年表现为印缅槽的活动^[22],而在夏半年则表现为南亚夏季风的强弱。与西北太平洋反气旋不同,印度、孟加拉湾上空的气旋性异常是影响孟加拉湾的水汽向华南输送,而前者是影响南海/西北太平洋的水汽向华南输送。

图 4a 是时间系数与 SSTA 的相关分布,与低层风场异常相匹配,是海-气相互作用的结果。在印度半岛附近,由于气旋性的异常,导致海水上翻,出现负的 SSTA;同样的情况出现在北太平洋靠近东亚大陆的区域;在西北太平洋,匹配的主要海-气相互作用过程是蒸发-风反馈^[20]。从图 4b 可以看到,除了局地土壤湿度与广东省干湿变化显著相关外,青藏高原、朝鲜半岛、日本和东南亚地区的土壤湿度也可能影响广东省的干湿变化,由此形成了以华南区域为中心的“负-正-负”分布型态。华南区域的土壤湿度与广东省干湿变化显著相关

是容易理解的,因为降水和温度也是影响土壤湿度的主要因子。从图 4b 可以看到,除了广东局地的高相关,青藏高原也有较大范围的显著相关。

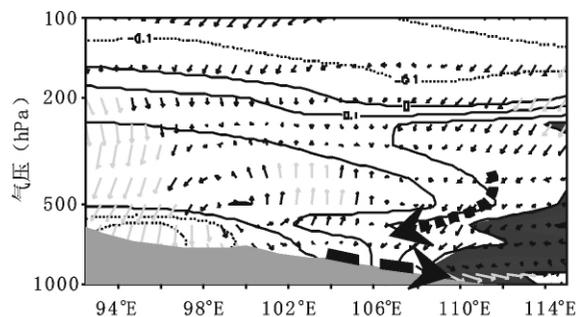


阴影为相关的显著区域($\alpha=0.01$)

图 4 季节 EOF 第一时间系数与 (a) 海表温度异常 (b) 土壤湿度的相关系数

Fig. 4 Correlation of first-time coefficient from seasonal EOF with SSTA (a) and soil moisture (b)

关于东亚大槽、夏季风和印缅槽对华南干旱的影响已有不少研究^[4-7],因此下面我们只分析高原土壤湿度通过何种途径影响广东省干湿状态。取 85°E~110°E,25°N~37.5°N 平均(见图 4b 中矩形框)的土壤湿度作为高原土壤湿度序列,并将其与 92.5°E,30°N-115°E,22.5°N 垂直剖面的温度风场求相关,得到图 5。从图 5 可见,由于高原较大的土壤湿度,导致高原近地层较低的气温,形成热力驱动的直接环流(高原上空的下沉气流和



浅色阴影为地形,深色阴影和浅色矢量分别为高原土壤湿度与温度和风场相关的显著区域($\alpha=0.05$)

图 5 高原土壤湿度与 92.5°E,0°N-115°E,22.5°N 剖面风场和温度的相关分布

Fig. 5 Correlation of Tibet soil moisture with annual mean wind and air temperature along cross sections in 92.5°E,30°N-115°E and 22.5°N

100~102°E 附近的偏西气流)。但是由于地形的作用,偏西气流在 104°E 以东成为较明显的背风坡气流,使得华南上空形成对 104°E 附近中层的补偿气流。华南上空的下沉补偿气流进一步绝热加热低层大气,并且由于对流减小而导致降水的减少和辐射增温。以上的种种效果都将使华南地区的干旱加重。

3 小 结

利用广东省 86 个地面站的降水和气温资料,定义广东省月干湿气候指数,并分析了广东省区域的干湿季节变化和趋势变化,得到以下几点结果:

1) 定义的干湿气候指数可以明显地区分广东省干湿季,而且对春季粤南偏旱、秋季粤北偏旱也有反映,体现了指数定义的合理性。

2) 广东省干湿空间分布不均。总体来说是,无论是干状态还是湿状态都是南部较北部严重。在区域平均偏旱的月份 1~2 和 10 月,也出现部分地区偏湿的情况;即使是 11~12 月这样全区偏干的月份,其偏干的程度也不完全相同,通常是南部比北部干。在区域平均偏湿的月份,除 4 月外,都是南部较北部更湿。

3) 全省 2~3、7~8 和 12 月明显变湿,而 10~11 月显著变干,其余月份趋势不明显。这表明广东省未来的秋季旱情可能有加重的趋势,而冬春季旱情会有所缓解,夏季出现涝的可能性变大。

4) 影响广东省干湿分布和季节变化年际变率的常定因子可能有:东亚大槽、西北太平洋异常反气旋、南亚异常气旋、华南区域的土壤湿度、青藏高原的土壤湿度。而高原土壤湿度主要通过直接热力环流引起的补偿气流的绝热加热和对流的减弱及相应的辐射增强而影响华南地区的干湿状况。

在全球气候变化背景下,东亚季风区气候也有明显响应^[23~26]。但气候变化响应是复杂的,以广东省为例,不同季节温度和湿度的响应就不同,即使是同一季节,广东省不同区域的响应也有所差异。因此,在讨论区域对气候变化的适应性问题上需要更局地地进行考虑。

参考文献:

[1] 谢定升. 广东的干旱及其未来的变化[J]. 广东气象, 1992, (2): 42~44.
[2] 张 勇, 王春林, 罗晓玲, 等. 广东干旱的气候成因及其防

御对策[J]. 热带地理, 2000, 20(1): 16~21.
[3] 梁建茵, 吴尚森. 夏季广东降水异常变化与夏季风[C]//黄增明, 谢炯光, 吴尚森, 等. 广东省短期气候预测研究. 北京: 北京气象出版社, 2000: 45~52.
[4] 谢炯光, 纪忠萍. 广东前汛期异常旱涝的大气环流特征[J]. 广东气象, 2001, (2): 10~12.
[5] 刘黎明, 郑德娟. 广东旱涝的典型型式及其环流分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(增刊): 206~210.
[6] 梁建茵, 吴尚森. 广东省汛期旱涝成因的前期影响因子探讨[J]. 热带气象学报, 2001, 17(2): 97~108.
[7] 陆 丹. 1998 年秋到 1999 年春华南特大干旱气候成因[J]. 气象, 2001, 27(1): 48~52.
[8] 宋连春, 邓振镛, 董安祥, 等. 干旱[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 162.
[9] 林爱兰. 广东汛期降水气候规律和预测研究进展[C]//黄增明, 谢炯光, 吴尚森, 等. 广东省短期气候预测研究. 北京: 气象出版社, 2000: 11~19.
[10] Huang J, Dool H V, Georgakakos K P. Analysis of Model-Calculated Soil Moisture over the United States (1931-93) and Application to Long-Range Temperature Forecasts [J]. J Clim, 1996, 9(6): 1350-1362.
[11] Dool H V, Yang J, Fan Y. Performance and Analysis of the constructed analogue method applied to U. S. soil moisture over 1981-2001 [J]. J Geophys Res, 2003, 108(D16), 8617, doi: 10.1029/2002JD003114
[12] Smith T M, Reynolds R W. Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997) [J]. J Clim, 2004, 17(12): 2466-2477.
[13] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437-472.
[14] 陈创买, 薛纪善, 林应河. 广东灾害性气候的分析和预测研究 [M]. 广州: 中山大学出版社, 1999: 99~121.
[15] 广东省地方志编纂委员会编. 广东省志. 自然灾害志 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2001: 166~201.
[16] 陈隆勋, 李 薇, 赵 平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程 [J]. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 345~355.
[17] 郑 彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定 [J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1207~1216.
[18] 冯瑞权, 王安宇, 梁建茵, 等. 南海夏季风撤退期的气候特征 I——40 年平均 [J]. 热带气象学报, 2007, 23(1): 7~13.
[19] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系 [J]. 地理科学, 2005, 25(4): 441~447
[20] Wang B, R Wu, X Fu. Pacific-East Asia teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Clim, 2000, 13(9): 1517-1536.
[21] 唐晓春, 彭 鹏. 厄尔尼诺事件的强度与登陆广东热带气旋数量的关系初探 [J]. 地理科学, 2005, 25(6): 690-696
[22] 任 敏, 胡庆梅, 马宁华, 等. 南支槽的统计分析 [J]. 气象与减灾, 2006, (2): 39~41.
[23] 柳艳菊, 闰俊岳, 宋艳玲. 近 50 年南海西沙地区的气候变化

- 特征研究[J]. 地理科学 2008, 28(6): 804~808
- [24] 高 蓉, 郭忠祥, 陈少勇, 等. 近 46 年来中国东部季风区夏季气温变化特征分析[J]. 地理科学 2009, 29(2): 255~261
- [25] 陈正洪, 史瑞琴, 陈 波. 季节变化对全球气候变化的响应——以湖北省为例[J]. 地理科学 2009, 29(6): 911~916
- [26] 任永建, 陈正洪, 肖 莺, 等. 武汉区域百年地表气温变化趋势研究[J]. 地理科学 2010, 30(2): 278~282

Trend and Spatial Features of Drought in Guangdong

ZHENG Bin, LIN Ai-lan

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology / Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou, Guangdong 510080, China)

Abstract: Although there is an annual mean precipitation about 1 700 mm in Guangdong Province, it greatly varies with season and region. Flood season (April–September) includes above 80% rainfall of a year, and meanwhile the rainfall has a significant intra-seasonal variability. On the other hand, large evaporation due to high average air temperature also balances some part of the great precipitation in Guangdong. An index to reflect the drought is defined using rainfall and temperature observations of 86 surface stations in Guangdong. The index distinguishes the dry and wet season in Guangdong and reflects the fact that there is a dryer climate in the south than elsewhere of Guangdong in spring and a wetter climate in the north in fall, which indicates the index is reasonable. The trend analyses give an understanding of the linear humidity change. For the whole province of Guangdong, the climates from February to March, from July to August and December tend to be wetter than before, and dryer from October to November and few changes in months else. The results show that the autumn drought would be more severe in the future and the winter-spring drought would be lighter. The spatial distribution of the linear trends has a great difference and its interannual variability is affected by air-sea and air-land interactions.

Key words: Guangdong Province; drought; trend; spatial distribution