

文章编号: 0455-2059(2014)01-0046-08

中国北方干旱区和半干旱区近60年气候变化特征及成因分析

冉津江, 季明霞, 黄建平, 齐玉磊, 李 玥, 管晓丹

兰州大学 大气科学学院, 半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州 730000

摘 要: 利用1951–2011年中国756个观测站的月降水资料, 分析了北方干旱区和半干旱区暖季降水的变化。结果表明干旱区和半干旱区的降水近60年来表现出相反的变化趋势: 干旱区的暖季降水整体是增加的, 增长速率为0.27 mm/a, 而半干旱区的暖季降水整体是减少的, 减少速率为0.80 mm/a。存在这样的差异主要是因为两个区域受不同的环流系统所控制, 即干旱区为西风控制区, 而半干旱区则为季风区。通过对两个区域降水偏多(偏少)年大气环流的合成分析发现, 当西风气流加强、位置偏南, 黑海、里海和巴尔喀什湖的水汽被输送到我国干旱区, 有利于该地区的降水, 反之干旱区降水则偏少; 而当东亚夏季风较强时, 水汽向西能到达甘肃中部(105°E), 向北能到达整个华北和东北地区, 因此半干旱区降水偏多, 反之半干旱区降水则偏少。

关键词: 暖季; 降水; 大气环流; 东亚夏季风

中图分类号: P467

文献标识码: A

Characteristics and factors of climate change in arid and semi-arid areas over Northern China in the recent 60 years

RAN Jin-jiang, JI Ming-xia, HUANG Jian-ping, QI Yu-lei, LI Yue, GUAN Xiao-dan

School of Atmospheric Sciences, Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change with the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: The warm-season precipitation changes in arid and semi-arid areas over Northern China were analyzed with monthly precipitation data from 756 stations in China from 1951 to 2011. The results indicated that the precipitation of arid and semi-arid areas showed an opposite trend in the recent 60 years. The warm-season precipitation increased overall in arid areas with 0.27 mm/a and decreased in semi-arid areas with 0.80 mm/a. The difference existed mainly because the two regions were controlled by different circulation systems, that is, the arid area by westerlies and semi-arid area by monsoons. A composite analysis of atmospheric circulation in these two areas for years with more (less) precipitation showed that, when westerly flow was strong and was southward, the water vapor of the Black Sea, the Caspian Sea and Lake Balkhash was carried to the arid region, conducive to the precipitation thereof, and vice versa. When the East Asian summer monsoon was strong and the water vapor was going westward to central Gansu (105°E), and northward to the entire north and northeast China, the precipitation of semi-arid areas increased, and vice versa.

Key words: warm-season; precipitation; atmospheric circulation; EASM

干旱半干旱区约占全球陆地总面积的30%, 该地区降水稀少、水资源缺乏、生态环境极其脆弱, 对气候变化的响应非常敏感^[1]。Huang等^[2]的研究结果表明, 干旱半干旱区是近100年来增温最显著

的地区, 其中半干旱区对全球陆地增暖的贡献达到44%。中国干旱半干旱区约占国土面积的50%^[3], 该区域不仅受下沉气流控制而降水较少, 并且太阳辐射强度大蒸发极强, 因此水分成了制约该区

收稿日期: 2013-04-02; 修回日期: 2013-05-28

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2012CB955301); 国家自然科学基金项目(41175134, 41305060); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(LZUJBKY-2013-109, LZUJBKY-2013-107, LZUJBKY-2013-ct05)

作者简介: 季明霞(1982–), 女, 内蒙古赤峰人, 讲师, 博士, e-mail: jimx@lzu.edu.cn, 研究方向为干旱区气候, 通信联系人。

域生态系统正常发展的主要因素. 水分是气候系统中最活跃的因子,能以各种不同形态参与气候系统各圈层的物理过程、生物过程和化学过程等许多方面^[4],还可以通过蒸发、蒸腾和相变等过程对气候变化进行调节^[5]. 在降水稀少的干旱半干旱区,水分对整个区域的生态、气候、土壤特性和人类活动的影响比其他地区更加显著^[6],降水的微小变化都可能会引起该区域气候系统和生态环境的剧烈变化,因此该区域的生态系统和气候状态与降水的变化密切相关. 在全球变暖的背景下,中国干旱半干旱区的降水发生了明显变化^[7]. 已有研究指出,华北地区的降水表现为持续减少的特征^[8],而西北地区的降水变化则是西升东降^[9-10],其中新疆地区^[11]和河西走廊^[12]降水增加最多,西北东部主要呈降水减少的趋势^[13]. 秦大河等^[14]也指出西北地区的降水频率明显增多,并以强降水为主^[15],且东部雨强比西部显著.

中纬度亚洲地区存在着主要受季风环流影响的东南部湿润地区(简称季风区)和主要受西风环流系统影响的内陆干旱区(简称西风区),在降水格局上西风区与季风区显著不同^[16],而中国北方的干旱区和半干旱区则分别属于西风区和季风区. 该干旱区地处亚洲内陆,位于青藏高原北侧和东北侧,冬季盛行干冷的西北气流,因此降水较少;夏季受到高原的阻挡,暖湿的西南气流很难到达,受西太平洋副高影响东南暖湿气流也很难到达该地区^[17],降水主要靠西风系统输送的水汽. 在半干旱区,季风环流对水汽的输送有重要作用,水汽输送的路径和源汇决定着该地区降水的多少^[18]. 已有研究表明,东亚季风活动会明显改变大尺度的水汽输送及辐合,进而影响主要雨带的分布^[19-20]. 当东亚夏季风水汽输送较强时,长江中下游地区降水一般会偏多^[21-23],季风系统的异常可能会造成严重的洪涝和干旱等自然灾害^[24-25].

随着全球变暖,中国北方地区因蒸发加强、水分流失、气候变干和植被劣化等因素导致该地区的生态环境正在遭受严重的考验^[26-27]. 干旱、半干旱区的气候变化不仅是大气科学的研究课题,也是整个社会关注的焦点,它决定着该地区生态系统、自然资源和社会经济等诸多领域的发展,对人类生活有着直接影响^[28-31]. 研究干旱区和半干旱区的降水变化特征,不仅为进一步探索干旱区和半干旱区气候变化的机制奠定了基础,还对科学认识该区域环境变化、气候演变以及有效控制荒漠化等提供了理论指导. 本文用站点较

全、时间较长的降水序列,对中国干旱区和半干旱区的暖季降水年际变化特征进行研究,并且从大气环流的角度分析变化差异的形成机理.

1 资料与方法

本文使用了中国气象局国家信息中心提供的《中国地面气候资料月值数据集》,该数据集为中国756个基本、基准地面气象观测站及自动站的气候资料月值数据集,包括气温、气压、水汽压、相对湿度、云、降水、天气现象、蒸发、积雪、风、地温、冻土、日照等要素的历年月值数据,经过较严格的质量控制. 本文使用了资料集中的月降水资料,时间年限为1951年1月-2011年12月.

本文还使用了NECP/NCAR的月平均再分析资料,包括位势高度、纬向风分量和经向风分量,其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,垂直分辨率为17层,比湿 q 的垂直分辨率为8层(1000~300 hPa),时间长度均为1948-2011年. 利用资料计算了区域西风指数、东亚夏季风指数和水汽输送通量,并以5-9月的平均值作为暖季平均指数. 西风指数是根据朱乾根等^[32]定义的

$$I = \frac{1}{36} \sum_{\lambda=1}^{36} H_{\lambda}(35^{\circ}) - \frac{1}{36} \sum_{\lambda=1}^{36} H_{\lambda}(55^{\circ}), \quad (1)$$

λ 为沿纬圈每隔10个经度取一个位势高度值;东亚夏季风指数是根据Wang^[33]定义的

$$I_{EAM} = (u' + v')/2^{1/2}, \quad (2)$$

其中, u 和 v 分别是850 hPa上的沿纬圈方向上进行标准化的风速,并且在东亚地区($110^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$, $20^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$)求其区域平均. 根据丁一汇^[34]的方法计算水汽输送通量. 由于水汽主要集中在对流层的中低层,因此忽略300 hPa以上大气中的水汽,则单位气柱整层大气水汽输送通量

$$Q = \frac{1}{g} \int_{300}^{p_s} (Vq) dp. \quad (3)$$

1) 线性趋势分析 利用最小二乘法对中国756个站点近50年的暖季降水序列,求其线性增长趋势(气候倾向率),

$$y = at + b. \quad (4)$$

其中, a , b 是通过实际资料计算得出的经验常数, a 是线性函数的斜率,其值的大小反映了降水增加或减少的速率^[35]. 在求得线性趋势后,需检验时间与降水序列的相关系数 r ,若 r 通过信度检验,则认为该趋势有统计意义. 当序列长度 $n=50$ 时, $r_{0.05}=0.2732$, $r_{0.01}=0.3541$;当序列长度 $n=60$ 时, $r_{0.05}=0.2500$, $r_{0.01}=0.3248$.

2) 合成分析 为了分析干旱区和半干旱区暖季降水变化差异的形成机理, 本文分别选取了干旱区降水偏多(偏少)年对850 hPa风场和500 hPa高度场进行合成分析, 探索低空和高空大气环流形势对干旱区暖季降水的影响, 期望发现中国干旱区暖季降水变化的可能机制. 还分别选取了半干旱区降水偏多(偏少)年和东亚夏季风偏强(偏弱)年对850 hPa风场和水汽输送通量场进行合成分析, 探索东亚夏季风对中国半干旱区的水汽输送能力, 讨论影响中国半干旱区暖季降水的决定因素.

2 中国北方地区降水量的变化特征

2.1 中国降水变化的空间特征

图1是近50年(1961–2010年)中国暖季(5–9月)降水量线性趋势的空间分布图, 变化趋势均通过了99.9%的置信水平. 图1中灰色越深代表该地区降水量减少越明显, 灰色越浅代表该地区降水增加越多. 中国暖季降水变化在区域上没有明显界限, 降水增加和减少的区域都比较分散. 其中, 西北地区降水整体呈增加趋势, 在内蒙古、甘肃和新疆交界的区域有局部降水减少的地区; 东北和华北大片区域都以降水减少的趋势为主, 降水减少最突出的地方, 变化速率可达 -6 mm/a , 在东北局部有降水增加的区域; 四川盆地和云贵高原有一个南北向的降水减少的集中区域, 降水的变化速率可达 -4 mm/a ; 长江中下游和华南地区的降水变化以增加的趋势为主, 降水的增长速率约为 4 mm/a , 局部地区有降水减少的趋势. 降水增加最多的地区是青藏高原、长江中下游和华南地区, 降水减少明显的地区主要集中在华北、东北、陕西南部、西南地区和云贵高原. 由于青藏高原的气候变化很特

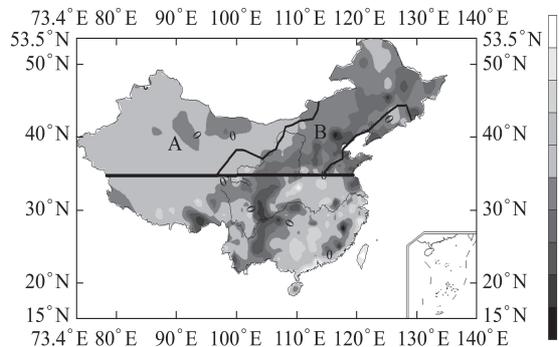


图1 中国近50年暖季降水变化趋势分布

Figure 1 Trend distribution of warm season precipitation in recent 50 years of China

殊^[36], 本文中暂不考虑青藏高原的降水变化, 仅考虑 35°N 以北的干旱区和半干旱区. 本文以气候态

(1961–1990年)的平均降水量划分干旱半干旱区, 35°N 以北且降水量低于 200 mm 的地区为干旱区(图1中A区域), 35°N 以北且降水量在 200 mm 和 600 mm 之间的地区为半干旱区(图1中B区域). 从图1可以看出, 中国北方的干旱区(A)和半干旱区(B)近50年的降水变化趋势整体上是相反的.

2.2 干旱区和半干旱区暖季降水年际变化特征

图2给出了中国北方干旱区和半干旱区暖季降水的年际变化特征, 对近61年(1951–2011年)的降水量而言, 干旱区暖季的降水量约占全年降水量的75%, 而半干旱区的暖季降水占全年降水量的84%左右. 干旱半干旱区的暖季降水都占了全年降水的 $3/4$ 以上, 很大程度上决定了年降水量, 因此本文主要分析暖季降水的变化特征. 从图2a中可以看出, 干旱区的降水在20世纪50年代整体偏少, 到70年代降水略有增加, 80年代降水开始逐渐增多, 整体上有变湿的趋势. 从图2b中可以看出, 半干旱区的降水有明显的年代际变化, 在50年代降水是整体偏多的, 但在70年代降水整体偏少, 90年代降水又略有增加, 但比50年代少, 从1998年开始降水明显减少, 近20年的降水量变化速率达

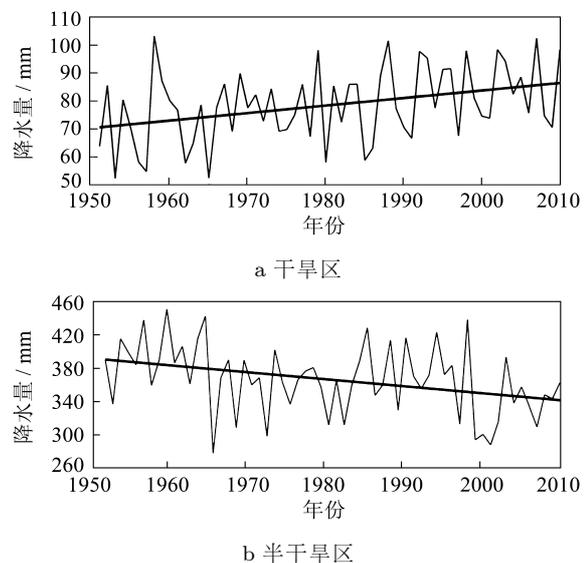


图2 干旱区和半干旱区的暖季降水变化

Figure 2 Warm-season precipitation change in the arid and semi-arid regions

-1.8 mm/a , 该区域整体上有变干的趋势. 从近61年的线性趋势分析上看, 干旱区的暖季降水整体上是增加的, 增长速率为 0.27 mm/a , 降水序列与时间序列的相关系数为 0.360 , 大于 $r_{0.01}(0.3248)$, 该线性趋势达到了99%的置信水平; 而半干旱区的暖季降水量整体上是减小的, 速率为 0.80 mm/a , 降水序列与时间序列的相关系数为 -0.355 , 绝对

值也大于 $r_{0.01}$ (0.3248), 该线性趋势也达到了99%的置信水平.

3 干旱区大气环流异常分析

水汽输送最直接的动力因子是对流层的风场作用. 为了揭示中国干旱区暖季降水与850 hPa风场的关系, 本文分别选取了干旱区暖季降水的偏少(偏多)年对850 hPa风场进行合成分析, 如图3. 对干旱区61年的暖季降水序列做标准化处理, 对大于1个标准差的年份定义为异常年份, 其中干旱区暖季降水异常偏少的年份为1951, 1953, 1956, 1957, 1962, 1963, 1965, 1980, 1985, 1986年共10年, 干旱区暖季降水异常偏多的年份为1958, 1979, 1988, 1992, 1993, 1998, 2002, 2003, 2007, 2010年共10年. 由图3知, 在干旱区降水偏少的年份(图3a), 阿拉伯海到巴尔喀什湖的南风暖湿气流较气候态偏强, 新疆以北地区西风气流偏强, 而在中国区域大部分都是南风暖湿气流较气候态偏弱, 并且在

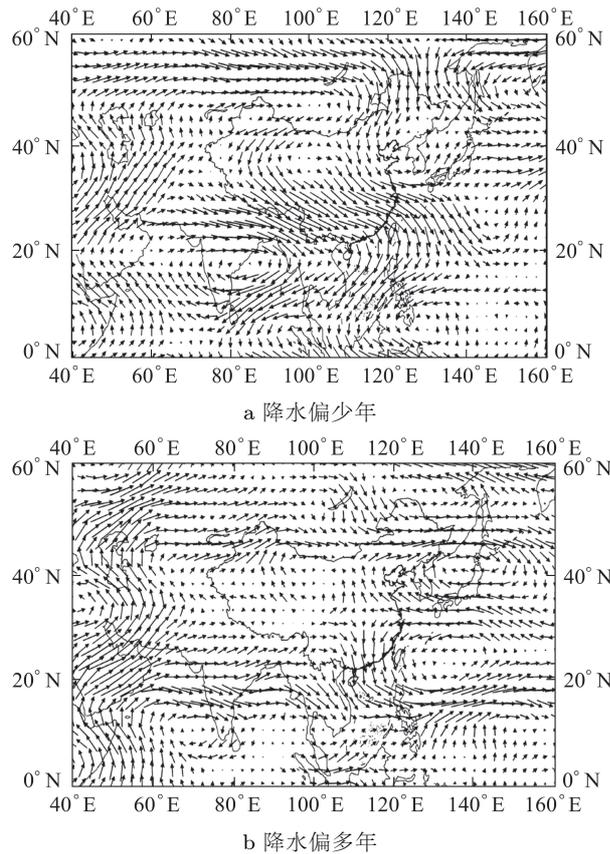


图3 干旱区降水偏少年和偏多年的850 hPa水平风场分布

Figure 3 850 hPa horizontal wind field of less and more precipitation years in the arid region

中国干旱区有辐散气流, 长江中下游有辐合气流, 这样的风场形势不利于中国干旱区的降水活动. 在干旱区降水偏多的年份(图3b), 新疆北部的西

风气流增强并下移能够影响到中国干旱区, 北方大部分地区的南风暖湿气流都较气候态偏强, 并且在中国干旱区出现了辐合气流, 在长江中下游地区出现了辐散气流, 这样的风场形势有利于中国干旱区的降水活动. 对比图3a和3b可知, 对中国干旱区的暖季降水而言, 影响较大的是南方暖湿气流的强弱和西风气流的位置. 当西风气流较强, 位置偏南, 就能把黑海、里海和巴尔喀什湖的水汽携带到中国干旱区, 为该地区的降水创造有利的条件.

为了揭示中国干旱区暖季降水与500 hPa位势高度的关系, 文中选取了干旱区暖季降水的偏少(偏多)年对500 hPa位势高度场进行合成分析, 如图4. 在干旱区降水偏少的年份(图4a), 乌拉尔山地区是正距平, 中低纬度地区都是负距平, 其中在北大西洋的东岸出现了一个较大的负距平区域, 中心值为-20 gpm; 在西太平洋地区和贝加尔湖附近分别出现了一个较小的负距平区域, 中心值都为-10 gpm. 在干旱区降水偏多的年份(图4b), 东半球大部分地区都是正距平, 除了乌拉尔山地区有较小的负距平, 贝加尔湖地区出现了一个较大

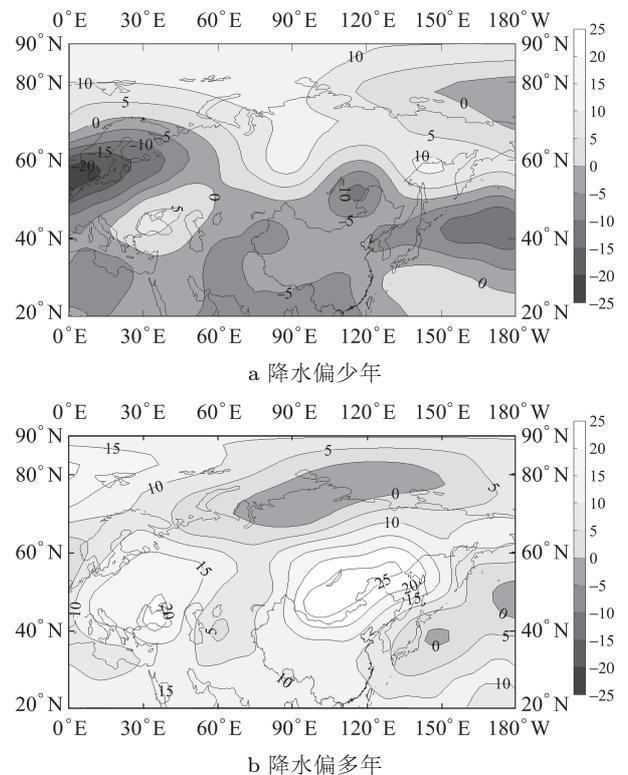


图4 干旱区降水偏少年和偏多年的500 hPa水平风场分布

Figure 4 500 hPa height field of less and more precipitation years in the arid region

的正距平区域, 中心值为25 gpm; 欧洲西部和东太平洋地区分别出现了一个正距平区域, 中心值为

20 gpm,这说明中国干旱区暖季降水偏多(偏少)的环流型与欧洲西部、乌拉尔山和贝加尔湖的位势高度密切相关.当欧洲西部和贝加尔湖地区500 hPa位势高度为正距平,乌拉尔山地区的位势高度为负距平时,中国干旱区的降水一般偏多;而当欧洲西部和贝加尔湖地区的位势高度出现负距平,乌拉尔山地区出现正距平时,中国干旱区的降水一般偏少.

夏季500 hPa欧亚大陆的环流形势是:欧洲西海岸有一个浅槽,乌拉尔山地区常常出现阻塞高压,贝加尔湖地区有一个槽区.当中高纬度欧亚地区呈现出“ $-+-$ ”的距平波列分布时,乌拉尔山的阻塞高压增强,欧洲西海岸和贝加尔湖附近的槽区加深,经向环流增强,中国干旱区主要位于干冷北风控制的地区,不利于西面里海、巴尔喀什湖等地区的水汽输送,该地区一般降水较少;当中高纬度欧亚地区呈现出“ $+ - +$ ”的距平波列分布时,乌拉尔山的阻塞高压减弱,欧洲西海岸和贝加尔湖附近的槽区也变浅,经向环流减弱,中国干旱区主要位于西风气流控制的地区,有利于西面里海、巴尔喀什湖等地区的水汽输送,为该地区降水的发生创造了必要条件.本文取 $80^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 区域的西风指数为区域西风指数,由相关分析可知,区域西风指数与中国北方干旱区的暖季降水呈正相关关系,相关系数为0.27,达到了95%的置信水平.一般而言,当西风环流较强时,西风系统会将黑海、里海、巴尔喀什湖的水汽较多的输送到中国干旱区,因此该地区一般降水较多;当西风环流较弱时,西风系统为干旱区输送的水汽也较少,该地区一般降水偏少.

4 半干旱区大气环流异常分析

为了揭示中国半干旱区暖季降水与850 hPa风场的关系,本文选取了半干旱区暖季降水的偏多(偏少)年对850 hPa风场进行合成分析,如图5.对半干旱区61年的暖季降水序列做标准化处理,对大于1个标准差的年份定义为异常年份,其中半干旱区暖季降水异常偏多的年份为1953, 1956, 1959, 1963, 1964, 1985, 1988, 1990, 1994和1998年共10年,半干旱区暖季降水异常偏少的年份为1965, 1968, 1972, 1980, 1982, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002和2007年共11年.由图5可见,在半干旱区降水偏多的年份(图5a),来自西太平洋的暖湿气流较气候态偏强,并且在中国的东南、华南、华北、东北等地都有明显偏强的南方暖湿气流,并在中国西南地区有明显的气旋性异常环流,这样的

风场形势有利于中国半干旱地区的降水增多.在半干旱区降水偏少的年份(图5b),来自西太平洋的暖湿气流明显减弱,并且中国的东部大部分地区的南方暖湿气候都较气候态偏弱,在蒙古境内有明显的反气旋性异常环流,西南地区出现明显的辐散气流,这样的风场形势不利于中国半干旱地区降水活动的发生.中国半干旱区的降水多少与来自西太平洋和东部地区的暖湿气流强弱有直接联系,这可能与东亚夏季风的强弱有关.

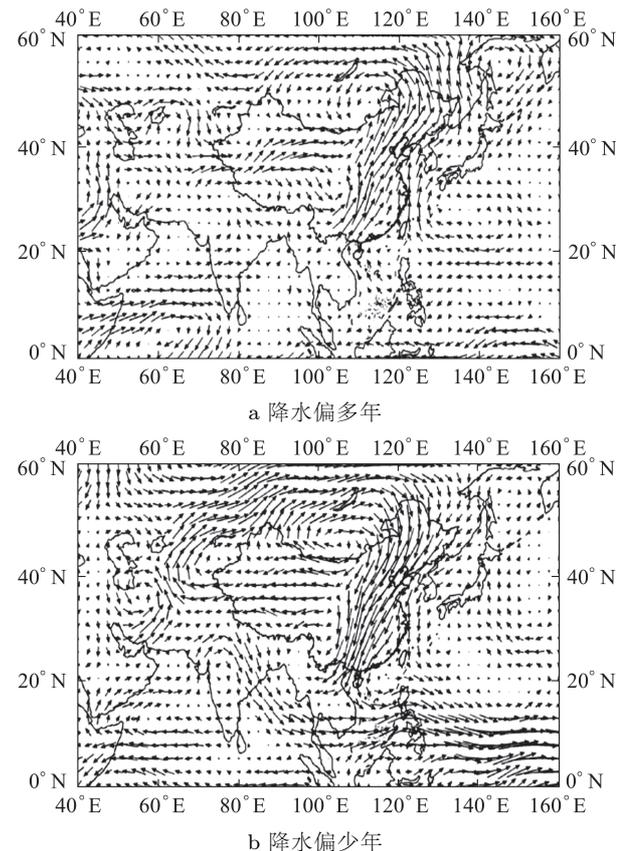


图5 半干旱区降水偏多年和偏少年的850 hPa水平风场分布

Figure 5 850 hPa horizontal wind field of more and less precipitation years in the semi-arid region

图6是1951–2011年东亚夏季风和中国半干旱区暖季降水的变化,实线是东亚夏季风的变化,虚线是半干旱区暖季降水的变化.如图6所示,在年际尺度上,东亚夏季风指数在1950, 1960年代较大,从1960年代中后期东亚夏季风指数开始减小,一直到现在东亚夏季风指数都较弱;而半干旱区暖季降水在1950, 1960年代也整体偏多,1960年代的中后期降水开始减少,1970年代降水整体偏少,在1980年代初降水有所增加,1980, 1990年代降水整体偏多,但仍少于1950, 1960年代,本世纪初降水呈下降趋势.对比分析东亚夏季风和半干旱区暖季降水的变化发现,东亚夏季风和半干旱区暖

季降水整体变化趋势非常一致,只是在20世纪80和90年代略有差异.通过相关分析发现,东亚夏季风和半干旱区暖季降水具有显著的正相关关系,相关系数为0.48,达到了99.9%的置信水平.东亚夏季风是影响中国半干旱区暖季降水的重要因素.一般而言,当东亚夏季风偏强的时候,将海面充足的水汽带到半干旱区,该区域的降水量较大;而当东亚夏季风偏弱的时候,海面的水汽无法达到半干旱区,该区域的降水量较小.

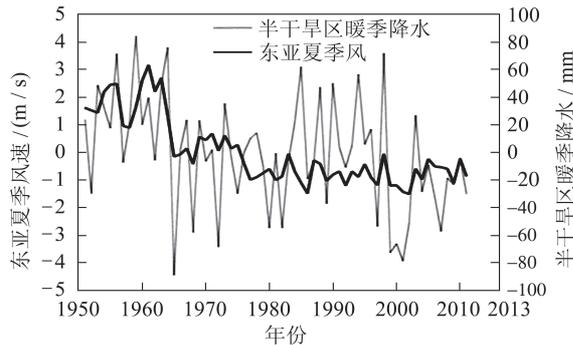
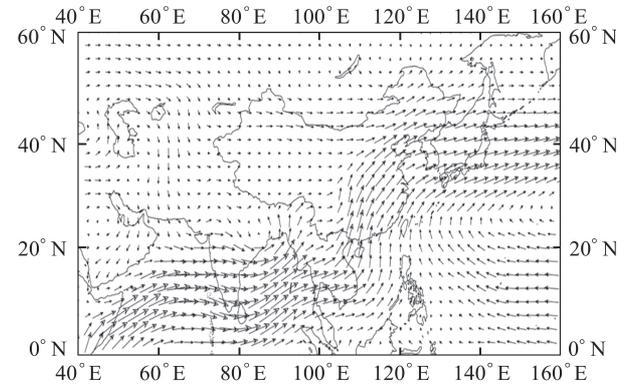


图6 东亚夏季风和半干旱区暖季降水的变化

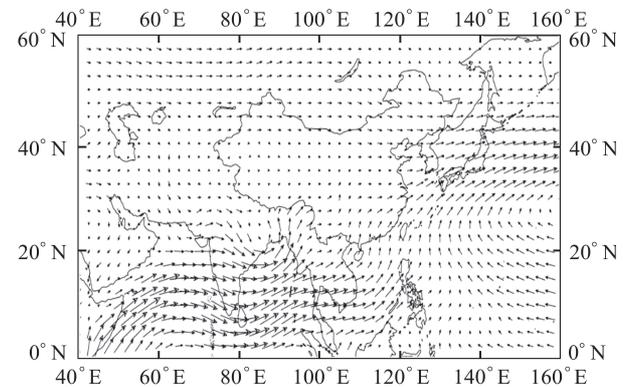
Figure 6 Variations of East Asian summer monsoon and warm-season precipitation in the semi-arid region

水汽输送通量是影响降水最直接的物理因子.为了揭示东亚夏季风与中国半干旱区水汽输送通量的关系,本文选取了东亚夏季风的偏强(偏弱)年对水汽输送通量的分布场进行合成分析(图7).对61年的东亚夏季风序列做标准化处理,大于1个标准差的年份定义为异常年份,其中东亚夏季风异常偏强的年份为1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963和1964年共12年,东亚夏季风异常偏弱的年份为1986, 1992, 1999, 2000, 2001和2002年共6年.如图7a所示,东亚夏季风偏强年,在里海地区有一个反气旋性的水汽输送,由阿拉伯海和孟加拉湾输送的水汽通量,与来自西太平洋的水汽在中国南海地区辐合,并通过东亚夏季风继续向北输送,水汽向西可以到达甘肃中部(105°E),向北可以达到整个华北和东北地区,东亚夏季风为半干旱地区输送了大量的水汽,为该地区的降水创造了有利的条件;中国北方大部分地区的水汽来源主要由西风输送,但水汽输送通量的值普遍偏小,由西风气流携带到中国半干旱区的水汽较少,所以干旱区的降水比半干旱区的降水少得多.如图7b所示,东亚夏季风偏弱年,由阿拉伯海和孟加拉湾输送的水汽通量,与来自西太平洋的水汽在西太平洋地区辐合,东亚夏季风携带的水汽只能达到南方地区(30°N以南)

和东部地区(110°E以东),再向日本、韩国等地区输送水汽,绝大部分的半干旱地区都无法得到由东亚夏季风输送的水汽,因此中国半干旱区的降水大大减少;而中国北方的西风气流相对较强,可以从巴尔喀什湖为中国干旱区输送水汽,从贝加尔



a 降水偏多年



b 降水偏少年

图7 半干旱区降水偏多年和偏少年的850 hPa水平风场分布

Figure 7 Water vapor transport flux distribution of strong and weak summer monsoon years in the semi-arid region

湖为中国东北和华北的半干旱区输送一定的水汽,西风气流携带的水汽比东亚夏季风携带的水汽要小得多,因此半干旱区的水汽输送通量相对较小,该地区降水偏少.

5 结论与讨论

对全国而言,近50年(1961–2010年)暖季降水增加最多的地区是青藏高原、长江中下游和华南地区,增长速率最大可达4 mm/a;降水减少最明显的地区主要集中在华北、东北、陕西南部、西南地区和云贵高原,减少速率最大可达6 mm/a.以气候态的降水量划分的中国北方干旱区($p < 200$ mm)和半干旱区($200 < p < 600$ mm),近60年的暖季降水变化趋势整体是相反的.干旱区的降水趋势整体是增加的,变化速率为0.27 mm/a;

半干旱区的降水趋势整体是减少的,变化速率为 -0.80 mm/a 。

通过对中国干旱区暖季降水的偏少(偏多)年850 hPa风场和500 hPa高度场进行合成分析,结果表明:当中纬度欧亚大陆呈现出“+-”的距平波列分布时,欧洲西海岸和贝加尔湖附近的槽区加强,乌拉尔山附近的阻塞高压增强,经向环流较强,中国北方干旱区以干冷的北方气流为主,西风气流较弱,伴随出现辐散气流,水汽来源较少,不利于该地区的降水发生,在这样的环流形势下,该地区降水偏少;当中纬度欧亚大陆呈现出“++”的距平波列分布时,欧洲西海岸和贝加尔湖附近的槽区减弱,乌拉尔山附近的阻塞高压变弱,经向环流较弱,西风气流较强,来自阿拉伯海和巴尔喀什湖暖湿的南风气流、西风环流为中国北方干旱区输送水汽,为该地区的降水提供有利的条件,因此在这样的环流形势下,干旱区降水一般偏多。

中国半干旱区的降水多少与来自西太平洋和东部地区的暖湿气流强弱有直接联系。由相关分析可知,半干旱区的暖季降水和东亚夏季风有密切关系,相关系数为0.48。通过东亚夏季风的偏强(偏弱)年对水汽输送通量进行合成分析,结果表明:在东亚夏季风偏强年,来自阿拉伯海、孟加拉湾和西太平洋地区的水汽,能被东亚夏季风系统向西输送到甘肃中部(105°E),向北能输送到整个华北和东北地区,为中国北方半干旱区的降水活动提供充足的水汽,有利于该地区降水偏多;在东亚夏季风偏弱年,来自阿拉伯海、孟加拉湾和西太平洋地区的水汽,东亚夏季风系统只能输送到中国东南部地区(30°N 以南和 110°E 以东),而半干旱区的水汽只能来自贝加尔湖,由西风气流输送的水汽较少,所以一般降水较少。

致谢 感谢中国气象局国家信息中心提供的《中国地面气候资料月值数据集》。

参考文献

- [1] 黄建平, 季明霞, 刘玉芝, 等. 干旱半干旱区气候变化研究综述[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(1): 9-14.
- [2] HUANG Jian-ping, GUAN Xiao-dan, Ji Fei. Enhanced cold-season warming in semi-arid regions[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, 12(2): 5391-5398.
- [3] 王涛, 杨保, BRAEUNING A, 等. 近0.5 ka来我国北方干旱半干旱地区的降水变化分析[J]. 科学通报, 2004, 49(9): 883-887.
- [4] 张强, 王胜. 关于干旱和半干旱区陆面水分过程的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 1-15.
- [5] 张强, 黄荣辉, 王胜, 等. 西北干旱区陆-气相互作用试验(NWC-ALIEX)及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 427-441.
- [6] 程国栋, 肖笃宁, 王根绪. 论干旱区景观生态特征与景观生态建设[J]. 地球科学进展, 1999, 14(1): 11-15.
- [7] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下我国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.
- [8] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-476.
- [9] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近50年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 9-18.
- [10] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 西北地区近40年年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 245-252.
- [11] 蓝永超, 沈永平, 苏宏超, 等. 全球变暖情景下新疆降水的变化[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10): 66-71.
- [12] 宋连春, 张存杰. 20世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143-148.
- [13] 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近44年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567-572.
- [14] 秦大河, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国西部环境演变及其影响研究[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 321-328.
- [15] 陈冬冬, 戴永久. 近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J]. 大气科学, 2009, 33(5): 923-935.
- [16] 陈发虎, 陈建徽, 黄伟. 中纬度亚洲现代间冰期气候变化的“西风模式”讨论[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 23-32.
- [17] 张存杰, 谢金南, 李栋梁, 等. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(2): 193-198.
- [18] 周晓霞, 丁一汇, 王盘兴. 夏季亚洲季风区的水汽输送及其对我国降水的影响[J]. 气象学报, 2008, 66(1): 59-70.
- [19] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海, 等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 912-918.
- [20] 涂长望, 黄仕松. 中国夏季风之进退[J]. 气象学报, 1944, 18(1/4): 81-92.
- [21] ZHANG Ren-he. Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and

- the summer rainfall in China[J]. *Advances Atmospheric Sciences*, 2001, 61(5): 559–568.
- [22] 李崇银, 阙志萍, 潘静. 东亚季风演变与对流层准两年振荡[J]. *科学通报*, 2010, 55(29): 2863–2868.
- [23] 孙淑清, 孙伯民. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化I. 强弱冬季风影响的对比研究[J]. *大气科学*, 1999, 23(1): 101–111.
- [24] 黄荣辉, 周连童. 我国重大气候灾害特征、形成机理和预测研究[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(1): 1–9.
- [25] 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. *大气科学*, 2008, 32(4): 691–719.
- [26] 马柱国, 符淙斌. 20世纪下半叶全球干旱化的事实及其与大尺度背景的联系[J]. *中国科学D辑: 地球科学*, 2007, 37(2): 222–233.
- [27] 马柱国, 符淙斌. 中国干旱和半干旱带的10年际演变特征[J]. *地球物理学报*, 2005, 48(3): 519–525.
- [28] 熊光洁, 王式功, 尚可政, 等. 中国西南地区近50年夏季降水的气候特征[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2012, 48(4): 45–52.
- [29] 张晓晓, 张钰, 徐浩杰. 1960–2010年洮河流域径流变化趋势及其影响因素[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(1): 38–43.
- [30] HUANG Jian-ping, ZHANG Wu, ZUO Jin-qing, et al. An overview of the semi-arid climate and environment research observatory over the Loess Plateau[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2008, 25(6): 906–921.
- [31] 季飞, 黄建平, 管晓丹, 等. 北美和欧亚大陆冬季快速增温与地表干湿变化[J]. *气候变化研究进展*, 2012, 8(6): 440–447.
- [32] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. *天气学原理和方法*[M]. 第4版. 北京: 气象出版社, 2000: 175–194.
- [33] WANG Hui-jun. The interannual variability of East Asian monsoon and its relationship with SST in a coupled atmosphere-ocean-land climate model[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2000, 17(1): 31–47.
- [34] 丁一汇. *高等天气学*[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2005: 583–588.
- [35] 魏凤英. *现代气候统计诊断与预测技术*[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2007: 42–47.
- [36] 王楠, 李栋梁, 张杰. 青藏高原气温变化的研究进展[J]. *干旱气象*, 2010, 28(3): 265–269.

(责任编辑: 张 勇)