

文章编号: 1000-0240(2003)02-0157-08

# 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响

张存杰<sup>1</sup>, 高学杰<sup>2</sup>, 赵红岩<sup>3</sup>

(1. 中国气象局 兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局 国家气候中心, 北京 100081;

3. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 分析了在全球气候变暖背景下, 西北地区秋季降水的时空变化特征和主要影响因素, 发现秋季降水量的均值突变现象在四季中最为明显, 西北地区东部和西部降水在年代际尺度上具有相反的变化趋势。El Nino 年秋季, 新疆脊偏强, 印缅槽偏弱, 西北地区东部降水偏少; La Nina 年秋季降水形势相反。CO<sub>2</sub>倍增情况下的数值试验表明, 西北地区西部夏季降水增加明显, 而秋季不明显; 西北地区东部夏季降水呈减少趋势, 而秋季降水增加明显。

**关键词:** 全球变暖; 西北地区; 秋季降水

**中图分类号:** P426.615 **文献标识码:** A

全球气候变化研究表明, 百年尺度现代气候温度最大自然变幅为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 左右, 百万年尺度的地质气候温度最大自然变幅能达到 $\pm 30^{\circ}\text{C}^{[1\sim 5]}$ 。IPCC 第三次气候变化评估报告指出, 在过去的 100 多年里, 大气中 CO<sub>2</sub> 的浓度明显增大, 使得过去 140 a 中全球平均气温升高了 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ , 达到了 1 000 a 以来的最高值<sup>[6]</sup>。这已经引起了极冰融化、海平面上升、厄尔尼诺事件频发、荒漠化加剧。

西北地区深居欧亚大陆腹地, 干燥少雨, 荒漠广布, 植被稀疏, 属于典型的干旱或半干旱生态脆弱区, 对全球气候变化的响应十分敏感。研究表明<sup>[7, 8]</sup>, 西北地区的气候变化与全球变化基本一致, 目前仍属于暖期。自 20 世纪 60 年代以来, 西北境内冰川面积减少了 1 400 km<sup>2</sup>, 雪线上升了 30~60 m, 冻土面积减少了 12%~13%; 青海湖水位下降 11 m, 湖面缩小了 676 km<sup>2</sup>; 每年沙漠化土地达 2 642 km<sup>2</sup>, 相当于一个中等县的面积。统计结果还指出, 西北地区 20 世纪以来干旱频率达 37%, 比此前(1650—1859 年)增加了 19%。这些变化主要都是由全球气候变化引起的区域气候调整所造成。但在全球变化背景下影响西北干旱气候的大气

环流如何进行调整目前并不太清楚。

由于全球气候变暖, 西北地区降水也有不同的变化。研究表明<sup>[9~14]</sup>, 最近 20 多年来, 西北地区中、西部降水有增多趋势, 而东部降水呈明显的下降趋势, 干旱连年发生。在降水的季节变化当中, 秋季降水量的均值突变现象在四季中最为明显。秋季降水对西北地区东部雨养农业区非常重要, 它不仅影响冬小麦的出苗, 而且会影响春季作物的播种<sup>[17]</sup>。本文主要分析西北地区秋季降水在全球变暖影响下的变化特征。

## 1 全球变暖事实

近百年来全球温度的增暖主要发生在两段时期: 一是 20 世纪 10~40 年代; 二是从 70 年代后期开始到现在<sup>[18]</sup>。前一时期的增暖主要区域在北大西洋及其附近地区。而从 40 年代后期开始到 70 年代中期, 北半球大部分地区的温度则有所下降。从 1976 年以来, 北半球中高纬的大陆地区冬季和春季有强烈的增暖趋势, 年平均气温也表现出显著的上升。特别是最近 20 多年来, 增暖的幅度非常大, 达到每百年 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。这是自 19 世纪后期以来所

收稿日期: 2002-10-26; 修订日期: 2002-12-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-10-06); 国家科技基础性工作专项资金项目(2001DEA30029-06); 国家自然科学基金项目(40205015)资助

作者简介: 张存杰(1966—), 男, 甘肃靖远人, 副研究员, 1996 年在南京气象学院获硕士学位, 现从事干旱气候规律及预测研究。E-mail: zhangcj@163.com

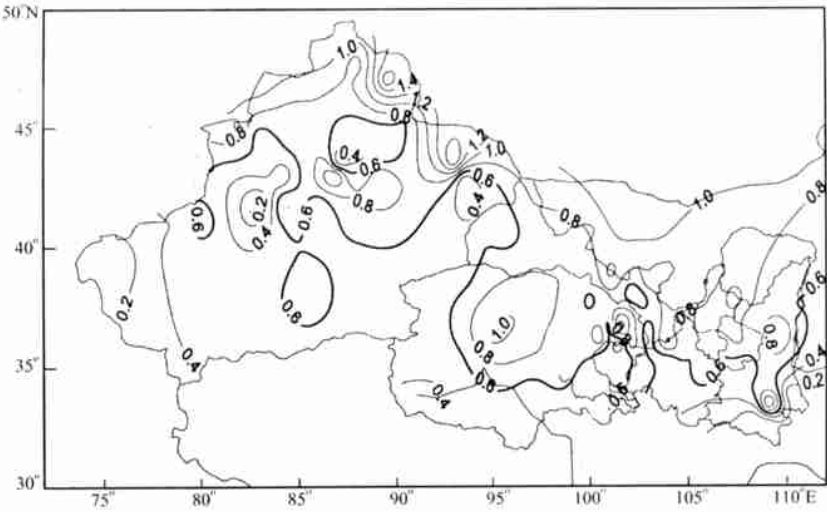


图 1 1987—2000 年与 1961—1986 年西北地区平均气温之差

Fig. 1 The difference of annual mean temperature between the period of from 1987 to 2000 and from 1961 to 1986

没有发生过的. 在 90 年代, 全球平均气温先后在 1990、1995、1997 和 1998 年突破历史最高记录, 因此, 90 年代也是自有观测记录以来温度最高的 10 a.

受全球变暖的影响, 近 40 a 来西北地区气候也存在着明显变暖的趋势, 而 90 年代也是西北地区近 40 a 中最暖的时期<sup>[19]</sup>. 西北地区地域辽阔, 地形复杂, 各地的变暖程度并不完全一致. 从 1987—2000 年与 1961—1986 年平均气温的差值分布(图 1)可以看出, 新疆北部、青海北部和河西走廊、内蒙西部和宁夏北部等地的偏高幅度大都在 0.8 °C 以上. 新疆北部是变暖最为明显的地区, 其中富蕴的偏高幅度达到 1.7 °C. 20 世纪后期, 全国年平均增温幅度为 0.35 °C<sup>[8]</sup>, 可以看出西北地区的增温幅度明显高于全国平均水平.

西北地区的气候变暖具有明显的季节性差异, 与其它季节相比, 冬季的增温最为显著, 几乎所有的气温都在升高. 例如, 90 年代与多年平均值相比, 北疆地区冬季平均气温偏高了 1.6 °C, 南疆地区偏高了 1.2 °C, 天山山区偏高了 0.9 °C, 而其它季节气温偏高幅度则远不如冬季.

2 西北秋季降水基本情况

2.1 秋季降水空间分布

西北地区地域广阔, 地形复杂, 高山与平原、盆地相间, 沙漠与绿洲共存, 秋季降水的空间分布差异较大, 受地形影响非常显著<sup>[20, 21]</sup>. 西北地区东南部主要受季风系统的影响, 降水量在 100~260

mm 之间, 主要包括青海东南部、甘肃东南部、宁夏南部和陕西大部, 其中陕西南部降水量较大, 一般超过 200 mm. 祁连山东南端的迎风坡, 秋季降水也较多, 在 100 mm 左右. 青海中部、河西走廊中东部、宁夏北部、陕西北部和新疆北部降水量在 20~100 mm 之间. 塔里木盆地、柴达木盆地、河西西部、内蒙西部秋季降水量一般不足 20 mm.

西北地区秋季降水占年降水量的比率一般在 5%~30%之间. 降水量较多的地区所占比例也较大, 西北区东南部和新疆北部在 20%~30%之间, 沙漠和盆地所占比例一般不超过 10%.

西北地区秋季降水变率较大, 大部分地区在 0.3~1.5 之间. 一般降水较少的地区变率较大, 如新疆南部的于田, 秋季降水只有 5 mm, 但变率为 2.6, 西北地区东南部和新疆北部变率小于 0.5.

利用经验正交函数分解方法(EOF)对近 40 a 西北秋季降水进行分析. 前 2 个载荷向量场所占方差分别为 23.2%和 13.3%, 前 10 个载荷向量场占总方差的累积为 71.3%. 第一载荷向量场占总方差的比例最大, 反映了新疆北部和东部与西北其他地区秋季降水相反的形势(图略). 这种形势的形成有两方面原因, 一是由于秋季随着季风系统的减弱, 西北东南部降水在迅速减少, 而西风带系统活动增强, 从大西洋和北冰洋带来的冷空气和水汽, 在新疆北部受地形抬升, 形成较大降水; 另一方面, 由于季风系统较强, 使西北地区东南部维持较大降水, 但水汽很难到达新疆北部, 同时西风带系统也较弱, 使得新疆北部降水较少. 第二载荷向量场反

映了甘肃东南部、陕西南部以及新疆北端与其它地区降水相反的形势(图略)。

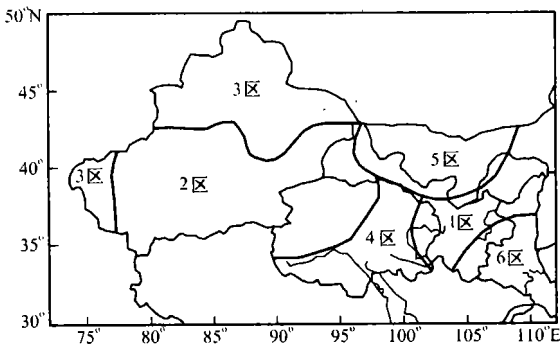


图 2 西北地区秋季降水分区

(1 区: 高原东侧区; 2 区: 南疆区; 3 区: 北疆区; 4 区: 青海高原区; 5 区: 内蒙西部区; 6 区: 陕南陇南区)

Fig. 2 Sub-areas of autumn precipitation in Northwest China

取前 10 个载荷向量场进行旋转正交分解, 分析秋季降水的局地特征。通过分析, 取绝对值 0.4 为临界值进行分区, 可以将西北秋季降水划分为 6 个区域(图 2), 可以描述原降水场的 80% 的特征。1 区为高原东侧区, 主要为黄土高原地形, 包括青海东部、甘肃中部、宁夏和河套地区; 2 区为南疆区, 主要为盆地沙漠地形, 包括塔里木盆地、柴达木盆地和敦煌以西沙漠区; 3 区为北疆区, 包括天山、阿尔泰山、帕米尔高原及其附近地区。4 区为青海高原区, 包括青海中南部和祁连山。5 区为内蒙西部区, 包括内蒙西部和河西走廊。6 区为陕南陇南区, 包括陕西中南部和甘肃东南部。

2.2 秋季降水时间变化特征

西北各地秋季降水近 40 a 来有不同的变化特征。60 年代北疆区降水偏少, 南疆区和高原东侧区降水偏多; 70 年代南疆区降水偏少, 内蒙西部区降水偏多; 80 年代北疆区降水偏多, 南疆区和内蒙西部区降水偏少; 90 年代西北地区东部(95° E 以东)大部分地区秋季降水偏少, 南疆区和北疆区的部分地方降水偏多, 可以认为 90 年代的秋季是西北地区的干旱时期。

用累积标准变量方法来检验四季降水突变发生的时间(图 3), 发现西北地区秋季降水量的均值突变现象在四季中最为明显。在西北地区东南部季风影响区(以兰州站为代表), 包括甘肃中东部、宁夏、陕西大部, 突变发生在 70 年代中期, 从 60 年

代初开始到 70 年代中期, 为偏多时期, 70 年代中期到 90 年代末, 降水在持续偏少。季风边缘区的河西走廊, 秋季降水自 80 年代初开始下降, 青海东部自 90 年代中期才开始下降。在西风带影响区(以乌鲁木齐站为代表), 包括新疆大部分地区, 相反的突变也发生在 70 年代中期, 以前为偏少时期, 以后降水逐渐增多, 部分地区在 80 年代中期以后增多趋势显著。祁连山区和青海高原部分地区(以祁连站为代表)80 年代中期出现转折, 以前为偏少时期, 以后为偏多时期, 特别是 90 年代后期降水增加明显。在降水量较多的西北地区东南部、新疆北部和祁连山区, 秋季降水所占比例较大, 所以秋季降水的变化趋势基本代表了年降水的变化趋势。

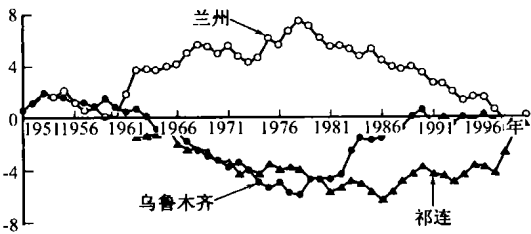


图 3 西北地区代表站秋季降水标准变量累积曲线

Fig. 3 Evolution trend of autumn precipitation of representative stations (Urumqi, Lanzhou and Qilian) in Northwest China from 1951 to 2000

2.3 近几年秋季降水特征

80 年代中期以前, 在陕西、川北、陇东、宁夏东部(即华北西部, 简称“华西”)每隔几年就会出现秋雨绵绵的情况, 连阴雨严重。但是, 从 80 年代中后期以来, “华西”秋雨明显减少, 多出现秋旱, 这种状况的持续给农业生产带来很大的不利影响。从 1999 年开始西北地区秋季降水有增多的趋势。1999 年 10 月青海南部、甘肃南部和陕西中南部降水量偏多 5 成以上, 部分地区出现了连阴雨天气。2000 年 9~10 月西北 95° E 以东地区降水量偏多, 大部分地区出现了 3 次连阴雨天气, 这是自 80 年代以来西北地区东部少有的情况。2001 年 9~10 月西北大部分地区降水量偏多, 部分地方偏多 5 成以上, 出现了 2~3 次连阴雨天气。2002 年 9~11 月降水过程较多, 9 月出现了弱的连阴雨天气。可以看出从 1999 年开始秋季降水出现了转折, 但是这种转折是多大时间尺度上的, 影响因素是什么, 还需要进一步研究。

3 西北秋季降水影响因素分析

由于全球增暖, 首先反映到大陆和海洋表面温度的变化, 由于陆地的热容量比海洋小, 响应快, 所以陆地温度自 70 年代中期升高明显. 海洋表面温度也有不同程度的升高, 如赤道中东太平洋的暖事件, 80—90 年代比 60—70 年代明显增多. 海陆温度的变化必将影响到季风系统的调整, 从而引起全球大气环流的变化.

3.1 大气环流的影响

影响降水的最直接因素是大气环流. 进入秋季后大气环流开始调整, 副热带系统开始减弱, 西风带系统开始增强, 相应的西北地区东南部的降水开始减弱, 而新疆北部的降水逐渐增多. 大气环流的变化也有明显的年代际变化特征<sup>[22, 23]</sup>. 分析 500 hPa 高度场和距平场, 70 年代中期以前, 亚洲大部分地区 and 非洲北部高度场偏低, 在新疆北部, 贝加尔湖以西存在一个负距平中心区, 在乌拉尔山以西欧洲中部为正距平区, 相应的新疆脊偏弱, 印缅槽较深, 西太平洋副热带高压偏弱, 位置偏东. 孟加拉湾是西北降水的主要水汽源地之一<sup>[24, 25]</sup>, 深厚的印缅槽将孟加拉湾地区的水汽源源不断地向北输送到西北地区, 同时在乌拉尔山西边不断有冷空气东移南下, 在西北地区很容易形成降水. 70 年代中期以后, 大气环流发生了变化, 亚洲、北非和东南欧等地高度场明显偏高, 偏高中心位于新疆北部, 在鄂霍次克海附近和欧洲西部为负距平区, 相应的新疆脊较强, 印缅槽变弱, 东亚大槽加深, 西太平洋高压偏强, 位置偏西. 这种形势不利于西北秋季降水. 1976—2000 年与 1951—1975 年秋季北半球

500 hPa 高度场之差经过  $t$  分布显著性检验的结果, 绝对值超过 2.7 的地区为置信水平超过 99% 的地区, 北半球中低纬度地区 500 hPa 高度场变化显著, 特别是亚洲地区变化最为显著(图 4).

可以看出, 新疆脊和印缅槽是影响西北地区秋季降水的主要环流系统, 新疆脊弱、印缅槽深有利于降水, 反之不利于降水.

3.2 ENSO 事件的影响

El Nino、La Nina 事件以其对全球广大地区带来严重旱涝等灾害而受到全世界人们的关注<sup>[26~28]</sup>. 由于海洋和大气的相互作用, 海温的异常变化必将影响到大气环流的异常变化. 1976 年以前, 赤道中东太平洋海温处于冷水期, La Nina 事件发生的较多, 1951 年到 1975 年共发生 6 次, 而较强 El Nino 事件只发生 4 次. 1976 年以后, 赤道中东太平洋海温处于暖水期, El Nino 事件发生的较多, 1976 年到 2000 年共发生 7 次, 而较强 La Nina 事件只发生 3 次. 大气环流对海温的异常变化有不同的响应. 70 年代中期以前, 东亚季风偏强, 西太平洋副热带高压强度偏弱, 位置偏北, 贝加尔湖阻塞高压发生频率较低; 70 年代中期以后情况相反.

从秋季发生 El Nino 事件(13 个)和 La Nina 事件(9 个)500 hPa 平均高度差值场(图略)分析, 北半球高度场存在几个异常中心. 发生 El Nino 事件的秋季, 贝加尔湖附近、北美西部和欧洲西部高度场明显偏高, 太平洋北部、大西洋北部和欧洲东部高度场偏低, 这种形势不利于中国北方秋季降水. 而发生 La Nina 事件时相反.  $t$  分布显著性检验的

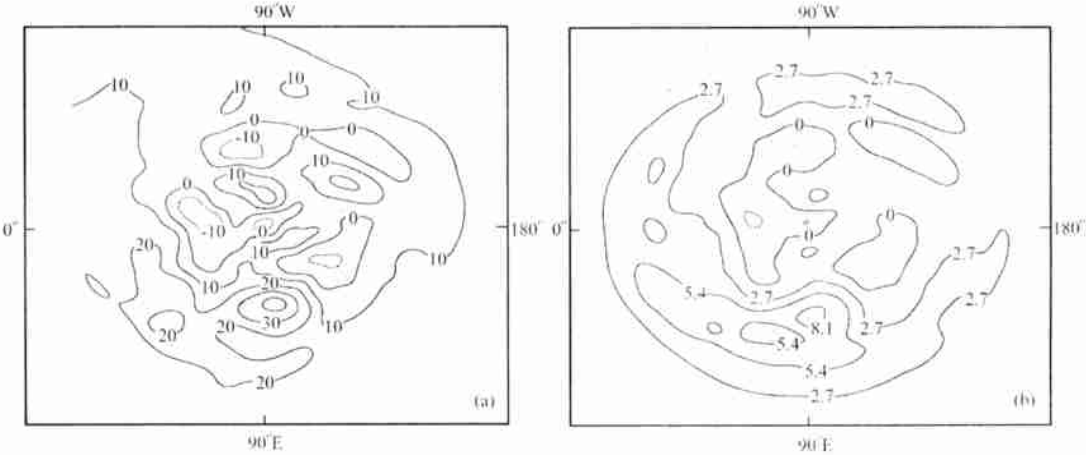


图 4 1976—2000 年与 1951—1975 年秋季北半球 500 hPa 高度场之差(10 gpm)(a)和  $t$  分布检验统计量分布(b)

Fig. 4 The height difference of 500 hPa geopotential between the periods of 1976—2000 and of

1951—1975 (10 gpm) (a), and the statistics from  $t$ -distribution significance test (b)

结果显示(图略), 贝加尔湖附近和东北太平洋地区置信水平超过 95%, 其它地区未通过显著性检验, 这可能与选取的个例较少有关。

用 Nino 3 区海温与西北地区秋季降水求相关(图略), 除新疆北部、南疆西部和中部个别地方为正相关外, 西北其余大部分地方为负相关, 这说明发生 El Nino 事件时, 西北大部分地方秋季降水偏少, 尤其是西北地区东部(95° E 以东)地区, 影响更显著。秋季降水与 Nino 3 区海温的相关图与秋季降水 EOF 分析第一载荷向量场相比较, 两张图形势非常相似, 这说明海温变化是影响西北地区秋季降水的主要因素。1999 年以后西北地区秋季降水增多, 可能与 1999 年发生的 La Nina 事件有直接关系, 需要做进一步的工作。

## 4 全球增暖影响的数值试验

由于人类活动的加剧, 使排放到大气中的温室气体增加, 从而使全球温度上升<sup>[29]</sup>。仪器观测和根据冰芯等代用资料的计算表明, 自工业革命以来, 由于工业的发展与现代化程度的发展, 人类活动造成的大气中温室气体的浓度明显增加。研究表明, CO<sub>2</sub>浓度的增加对增强温室效应的贡献为 70.0%, CH<sub>4</sub>为 23.0%, N<sub>2</sub>O 为 7.0%。可见, CO<sub>2</sub>是最为重要的温室气体, 是增温最重要的因素。我们用区域气候模式模拟 CO<sub>2</sub>倍增对未来西北地区秋季降水的影响。

### 4.1 区域气候模式

与全球模式相比, 区域气候模式具有较高的分辨率, 包含较细的陆面过程, 可以更好地描述复杂地形和地表特征, 从而能够刻画出许多全球模式较难描述的区域尺度环流、温度、降水等特征, 更好地反映出局地强迫引起的气候特征。

我们使用的区域气候模式为 RegCM2<sup>[30-31]</sup>。它是在 Penn State/NCAR 中尺度气象模式 MM4 的基础上发展来的, 由于有较好的性能, 在世界各地有限区域气候研究中得到了广泛应用。本研究中, 我们将模式中心点取为 (110° E, 37.5° N), 模式水平分辨率取为 60 km×60 km, 南北方向的格点数为 80, 东西向的格点数为 150; 垂直方向取为 16 层, 模式顶层的气压为 10 hPa。模式的计算区域(图略)覆盖了整个中国大陆及周边地区。在中国大陆境内, 使用了中国科学院植物研究所提供的实际地表植被类型资料取代了原 NCAR 提供的植被状况资料。

嵌套区域气候模式(RCM)所需的初试场和边界场由澳大利亚 CSIRO R<sub>21</sub>L<sub>9</sub>全球海—气耦合模式的结果提供<sup>[32]</sup>。其水平分辨率为 5.6°(经度)×3.2°(纬度), 垂直方向采用  $\delta$ 坐标, 层数为 9 层。在其进行的温室效应“瞬时”试验中, 模式从一个相当于 1881 年的初始时刻开始积分, 其中的 CO<sub>2</sub>采用实测值, 积分至相当于 1990 年后, 将模式中的 CO<sub>2</sub>按每年约 1%的速度增加至加倍数值。将这个试验中相当于 1980—1990 年 10 a 的结果, 做为全球模式(GCM)的控制试验, 取这个试验后 5 a 结果驱动 RCM, 进行 5 a 时间积分, 为 RCM 的控制试验, 是它们分别对当代气候的模拟。将 GCM 试验中 CO<sub>2</sub>加倍左右 10 a 的结果做为它的敏感性试验, 取其 5 a 结果驱动 CO<sub>2</sub>含量加倍的 RCM, 进行 5 a 积分, 为 RCM 的敏感性试验, 是它们模拟的 CO<sub>2</sub>加倍后的气候情景。敏感性试验与控制试验的差, 为 CO<sub>2</sub>加倍对中国气候的影响。GCM 的边界场每 12 h 输入 RCM 一次。为分析方便, 将模式试验结果插值到 160 个代表站上。

对控制试验的结果分析表明, RCM 对中国区域气候的模拟能力远好于 GCM, 相应得到的 CO<sub>2</sub>加倍的试验结果也更加可信<sup>[33]</sup>。下面即主要给出 RCM 的结果, 分析各地特别是西北地区气候对 CO<sub>2</sub>倍增的响应。

### 4.2 试验结果

试验结果表明, 在 CO<sub>2</sub>加倍的情况下, 中国区域地面气温将明显升高, 偏高 2.5 °C, 而西北地区的气温升高幅度为 2.7 °C, 高于全国平均水平; 中国区域降水将增加 12%, 西北地区的增加同样高于全国平均, 达到 25%, 增加率大小依次为冬季、春季、秋季和夏季。

由于西北地区地形的复杂性, 以及地表特征的差异, 各地气候对 CO<sub>2</sub>倍增的响应不完全一致。冬季和夏季, 西北地区西部降水量增加明显, 而东部是减少的, 特别夏季减少的范围和幅度都很大。可以说随着 CO<sub>2</sub>的增加, 西北地区东部伏旱的发生频率将会增加。春季和秋季, 西北地区东部降水的增加幅度远大于西部, 尤其在秋季(图略), 黄河中上游地区和长江上游地区秋季降水明显偏多。从图 5 可以看出, 乌鲁木齐夏季降水增加明显, 而秋季不明显, 兰州 5 月份和秋季降水增加明显, 夏季降水减少。这说明, 随着 CO<sub>2</sub>的增加, “华西”秋雨将会增加, 秋旱发生频率将会降低。

随着 CO<sub>2</sub> 的增加, 全球增暖幅度将会加大, 西

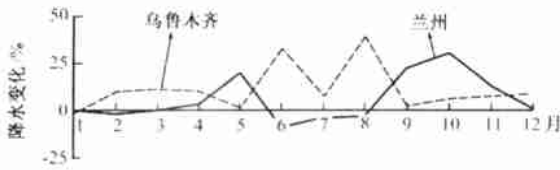


图 5 CO<sub>2</sub> 倍增后兰州和乌鲁木齐

各月平均降水变化模拟结果

Fig. 5 The simulating results of monthly mean precipitation's variation with doubling CO<sub>2</sub> in Lanzhou (real line) and Urumqi (dash line)

北地区东部伏旱可能发生频繁, 秋雨将会增多, 建议农业和水利等部门应及时调整生产, 减少秋粮作物的耕种面积, 扩大冬小麦等夏粮作物的耕种面积, 减少夏季蓄水量, 增加秋季蓄水量, 从而减轻全球变暖带来的不利影响。

## 5 结论

通过以上对西北秋季降水时空变化特征和影响因素分析, 可以得到如下结论:

(1) 伴随着全球变暖, 西北地区自 80 年代中期开始升温迅速, 大部分地区偏高 0.6℃以上, 偏高幅度明显高于全国平均水平。

(2) 西北地区东南部和新疆北部秋季降水较多, 在年降水中所占比例较大, 年际变率较小, 西北中部沙漠、盆地和走廊等地区降水量一般不超过 20 mm, 年际变率较大。

(3) 西北地区秋季降水主要的分布特征为新疆北部与西北其它地区降水相反的形势。通过分析, 西北地区秋季降水可以划分为 6 个区域, 即高原东侧区、南疆区、北疆区、青海高原区、内蒙西部区和陕南陇南区。

(4) 西北地区东南部主要受季风影响, 70 年代中期以前秋季降水较多, 以后降水减少明显, 秋旱频繁发生。新疆大部分地区秋季降水变化趋势与东部相反。1999 年开始西北地区东南部秋季降水有增多趋势。

(5) 全球变暖背景下大气环流的调整是影响西北地区秋季降水的直接因素, 新疆脊和印缅槽是主要的影响系统, 新疆脊弱、印缅槽深有利于降水, 反之不利于降水。

(6) 全球变暖背景下 ENSO 事件是影响西北地区秋季降水的主要因素之一。El Nino 年秋季新疆脊偏弱, 印缅槽偏深, 除新疆部分地方外, 西北其

余大部分地区降水偏少, 东部影响尤其显著; La Nina 年秋季降水形势相反。

(7) CO<sub>2</sub> 倍增情况下的数值试验表明, 西北地区西部夏季降水增加明显, 而秋季不明显; 西北地区东部夏季降水呈减少趋势, 而秋季降水增加明显。

## 参考文献(References):

- [1] Alverson K D, Oldfield F, Bradley R S. Past global changes and their significance for the future [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, **19**(2): 88—140.
- [2] Bradley R S. Climate paradigms for the last millennium [J]. *PAGES Newsletter*, **8**(1): 2—3.
- [3] Clark P U, Webb R S, Keigwin L D. Mechanisms of global climate change at millenium time scales [J]. *Geophysical Monograph Series*, **112**: 1—56.
- [4] Zhu Kezhen. Preliminary study on climatic change during last five thousand years in China [J]. *Acta Archeologica Sinica*, 1972, **2**(1): 18—38. [竺可桢. 中国近 5000 年来气候变迁的初步研究 [J]. *考古学报*, 1972, **2**(1): 15—38.]
- [5] Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, *et al.* Climate and environments of the Holocene Megathermal Maximum in China [J]. *Science in China (Series B)*, 1993, **37**(4): 481—493.
- [6] Watson R. T, Core Writing Team, IPCC, 2002. *Climate Change 2001: Synthesis Report* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 148.
- [7] Wang Shaowu, Dong Guangrong. Environmental Features and Their Change in West China. Qin Dahe. *Assessment on Environment in West China*, Vol. I [M]. Beijing: Science Press, 2002. 71—145. [王绍武, 董光荣主编. 中国西部环境演变评估. 秦大河总主编. 中国西部环境特征及其演变 (第一卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 71—145.]
- [8] Ding Yihui, Wang Shourong. Generality on Climate and Eco-Environment in Northwest Region of China [M]. Beijing: Meteorological Press, 2001. 77—154. [丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论 [M]. 北京: 气象出版社, 2001. 77—154.]
- [9] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 219—226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 [J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(3): 219—226.]
- [10] Ding Yongjian, Ye Baisheng, Liu Shiyin. Impact of climate on the alpine streamflow during the past 40 a in the middle part of the Qilian Mountain, Northwestern China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(3): 193—198. [丁永建, 叶佰生, 刘时银. 祁连山中部地区 40 a 来气候变化及其对径流的影响 [J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(3): 193—198.]
- [11] Xie Jinnan, Zhou Jialing. A preliminary study on trends and inter-annual variation of precipitation in center and western portions of Northwest China [J]. *Plateau Meteorology*, 2001, **20**(4): 362—367. [谢金南, 周嘉陵. 西北地区中、东部降水趋势的初步研究 [J]. *高原气象*, 2001, **20**(4): 362—367.]
- [12] Xie Jinnan. Study of Arid Climate's Changing and Predicting in

- Northwest China (Vol. 1) [M]. Beijing: Meteorological Press, 2000. 1—8. [谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 1—8.]
- [13] Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, *et al.* The present facts and the future tendency of the climate change in Northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 135—142. [李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 135—142.]
- [14] Song Lianchun, Zhang Cunjie. Study on trend of precipitation over Northwest China during the 20th century [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 143—148. [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.]
- [15] Han Ping, Xue Yan, Su Hongchao. The signal responses of precipitation of Xinjiang in climatic variation [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 179—182. [韩萍, 薛燕, 苏宏超. 新疆降水在气候转型中的信号反映[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 179—182.]
- [16] Gou Xiaohua, Chen Fahu, Wang Yajun. The spring precipitation reconstruction in the past 280 a in the eastern part of Qilian Mts. using tree ring [J]. Glaciology and Geocryology, 2001, **23**(3): 292—295. [勾晓华, 陈发虎, 王亚军. 利用树轮宽度重建近 280 a 来祁连山东部地区的春季降水[J]. 冰川冻土, 2001, **23**(3): 292—295.]
- [17] Li Dongliang, Liu Dexiang. Gansu Climate [M]. Beijing: Meteorological Press, 2000. 243—362. [李栋梁, 刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 243—362.]
- [18] Wang Shaowu. Advance in Modern Climatological Studies [M]. Beijing: Meteorological Press, 2001. 80—450. [王绍武. 现代气候学研究进展[M]. 北京: 气象出版社, 2001. 80—450.]
- [19] Su Hongchao, Wei Wenshou, Han Ping. Changes in the air temperature and the evaporation in Xinjiang in recent 50 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 130—134. [苏宏超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近 50 a 来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 174—178.]
- [20] Bai Zhaoey, Xu Guochang. Weather of Northwest China [M]. Beijing: Meteorological Press, 1998. 1—51. [白肇烨, 徐国昌. 中国西北天气[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 1—51.]
- [21] Qian Zhengang, Wu Tongwen, Song Minhong, *et al.* The problem and advance of studying about drought disaster and arid climate in Northwest China [J]. Advance of Earth Science, 2001, **16**(1): 28—35. [钱正安, 吴统文, 宋敏红, 等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J]. 地球科学进展, 2001, **16**(1): 28—35.]
- [22] Mu Mingquan, Li Chongyin. Interdecade change of atmosphere circulation. I: observation data analysis [J]. Climatic and Environmental Research, 2000, **3**(5): 233—241. [穆明权, 李崇银. 大气环流的年代际变化, I: 观测资料的分析[J]. 气候与环境研究, 2000, **3**(5): 233—241.]
- [23] Xu Guochang. Climate Changes over China Drought and Semi-drought Areas [M]. Beijing: Meteorological Press, 1997. 85—97. [徐国昌. 中国干旱半干旱区气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 45—85.]
- [24] Yu Yaxun, Wu Guoxiong. Water vapor content and mean transfer in the atmosphere over Northwest China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, **15**(2): 191—204.
- [25] Yu Yaxun, Wang Jinsong, Li Qingyun. Spatial and temporal distribution of water vapor and its variation trend in atmosphere over Northwest China. [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 149—156. [俞亚勋, 王劲松. 西北地区空中水汽分布特征及变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 149—156.]
- [26] Philander S G H. El Nino southern oscillation phenomena [J]. Nature, 1983, **302**: 295—301.
- [27] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in china and its mechanisms [J]. Adv. Atmos. Sci., 1989, **6**: 21—22.
- [28] Wu Guoxiong, N. C. Lau. A GCM simulation of the relationship between tropical storm formation and ENSO [J]. Mon. Wea. Rev., 1992, **120**: 958—977.
- [29] Houghton J. Global Warming [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 1—20.
- [30] Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2) I & II [J]. Mon. Wea. Rev., 1993, **121**: 2 794—2 832.
- [31] Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui. Numerical simulation of climate change by greenhouse effect over Northwest China using a regional climate model [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, **25**(2): 165—169. [高学杰, 赵宗慈, 丁一汇. 区域气候模式对温室效应引起的中国西北地区气候变化的数值模拟[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 165—169.]
- [32] Gordon H B, Farrell P O. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice [J]. Mon. Wea. Rev., 1997, **125**: 875—907.
- [33] Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, *et al.* Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model [J]. Adv. Atmos. Sci., 2001, **6**: 1 224—1 230.

# Impact of Global Warming on Autumn Precipitation in Northwest China

ZHANG Cun-jie<sup>1</sup>, GAO Xue-jie<sup>2</sup>, ZHAO Hong-yan<sup>3</sup>

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou Gansu 730020, China;  
2. National Climate Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;  
3. Lanzhou Genter Meteorological Observatory, Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** On the background of global warming, the spatial and temporal variation characteristics of autumn precipitation were analyzed in Northwest China; major influencing factors were also studied. It was found that the catastrophe of autumn precipitation is more obvious than that in other seasons. The interannual variation of precipitation presents a contrary trend between the East and the West. In the autumn of El Nino years, Xinjiang ridge is intensi-

fied, India—Burma trough is weakened, and the east of Northwest China is dry. The case of La Nina years is opposite. Numerical simulation experiment has been carried out with doubling CO<sub>2</sub> using the regional climatic model. The results show that in west of Northwest China, precipitation will increase in summer, but it is not obvious in autumn; in east of Northwest China, the case is opposite, autumn precipitation will increase obviously.

**Key words:** global warming; Northwest China; autumn precipitation