

P023 E

中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨*

施雅风^① 沈永平^① 李栋梁^① 张国威^② 丁永建^①
胡汝骥^③ 康尔泗^①

(^①)中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州 730000;^②新疆维吾尔自治区水文水资源局,乌鲁木齐 830010;

^③中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐 830011)

摘要 由于全球显著变暖和在水循环加快,使得中国西北主要是新疆地区于1987年气候发生突然变化,随着温度上升,降水量、冰川消融量和径流量连续多年增加,内陆湖泊水位显著上升,洪水灾害也迅猛增加,同时,植被有所改善,沙尘暴日数锐减,从而改变了19世纪末期至20世纪70年代的变暖变干趋势。以降水量增加超过蒸发量增加所导致的径流量增长及湖泊水位上升作为气候向暖湿转型的主要标准,西北地区目前的气候变化可分为3个区域,即1)显著转型区;2)轻度转型区;3)未转型区。作者初步认为,西北气候向暖湿转型可能是世纪性的,预期西北东部在21世纪上半期也会向暖湿转变,但预测有较大的不确定性。

主题词 气候变化 暖干 暖湿 气候转型

1 前言

本文所说的西北气候向暖湿转型,是指承继前100年前后即小冰期结束以后气候波动变暖干的特征而提出的。据冰川、树木年轮和气候相关研究资料,19世纪小冰期至20世纪80年代,天山中段和祁连山东段分别升温1.3℃和1.0℃,而年降水量减少50~65mm和70~85mm^[1]。1920~1978年,新疆北部降水低于近350年的平均水平达11.8%^[2]。1928~1929年前后,在连续多年少雨背景下,西北出现极其严重的旱灾,死亡灾民200万~300万人,黄河于1922~1932年出现连续11年的枯水段^[3]。在1950~1987年,西北53条河流出口径流量总体呈下降趋势^[4]。上述及其它多种资料,使第一作者认为西北气候存在暖干化趋势,并预测这种趋势将延续至21世纪上半期^[5]。但实际情况的变化出人意料,新疆学者首先报道了博斯腾湖水位自1987年开始转为迅速上升,艾比湖面积也迅速扩大^[6]。气候和水文记录显示20世纪80年代以来降水和径流增加的情况,启发作者提出了西北气候自暖干向暖湿转型的假说^[7]。由于这一问题对西部生态环境和社会经济等诸多方面有现实意义和战略意义,因而受到各方面的关注。问题的关键

第一作者简介:施雅风 男 84岁 研究员、中国科学院院士 自然地理学与冰川学专业 E-mail: shi@mail.issas.ac.cn

* 中国科学院知识创新工程重大项目(批准号:KZCX1-10-06)

2002-12-18收稿,2003-01-04收修改稿

在于转型的事实依据是否充分?转型现象是年代际的还是世纪性的?地域上是否有更大的发展可能性?为此,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所联合新疆生态与地理研究所、中国气象局国家气候中心、新疆维吾尔自治区水文水资源局、新疆维吾尔自治区气象局、中国气象局沙漠气象研究所、甘肃省气象局、中国气象局干旱气象研究所、甘肃省水文水资源局和青海省水文水资源局共 10 个单位于 2002 年 9 月在兰州举行研讨会,汇集了截止 2002 年夏季的最新记录,对近期气候和环境变化的事实、特征、原因及未来趋势进行讨论,基本认同了气候由暖干向暖湿转型的假说。本文在上述基础上撰写,是集体研究结果,文内有错误、不妥之处,敬请批评指正。

2 西北气候由暖干向暖湿转型的事实

自 1987 年气候突然变化开始的西北气候转型,表现在下述 8 个方面。

(1) 气温持续攀升。近 50 年的实测记录表明,中国西部气温以 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 趋势上升,特别 20 世纪 80 ~ 90 年代升温迅速,90 年代被公认为近 1 000 年来最暖的 10 年^[3]。

以 1987 ~ 2000 年与 1961 ~ 1986 年相比,西北地区 128 个站的平均气温升高了 0.7°C 。其中新疆北部富蕴偏高至 1.7°C ,变暖季节主要在冬季,但青藏高原北部可可西里山区的木兰冰芯资料则指示 90 年代的青藏高原西北部还存在一个降温区^[1]。

(2) 降水量显著增加。20 世纪 80 年代和 90 年代,全球中高纬度大部分地区降水量增加。我国西北地区主要是西部和中部降水量显著增加。以 1987 ~ 2000 年的平均年降水量与 1961 ~ 1986 年的平均值比较,新疆北部增加了 22%,为 36.0mm;新疆南部增加了 33%,为 17.4mm;河西走廊中、西部及青海部分地区增加 10% ~ 20%,四季中冬季增幅最大,其次是夏季。天山、祁连山和阿尔泰山等高山区降水量最多,是西北干旱区水塔所在,可惜高山降水记录稀少,但从出山口径流量增加的情况可认为上述山区是西北降水量增加最多的地区。

(3) 冰川萎缩,冰川融水量持续增加。西北部各水系共有冰川 22 240 条,面积 $27\,974\text{km}^2$,冰储量约计 $2\,814.81\text{km}^3$ ^[9]。随着气候变暖冰川处于变薄后退过程中,估算 1960 ~ 1995 年冰川已减少 $1\,400\text{km}^2$,但融水一直在增长中。乌鲁木齐河 1 号冰川(图 1)^[2]年均冰川融水径流深在 1985 ~ 2001 年为 936.6mm/a ,比 1958 ~ 1985 年的 508.4mm/a 增加了 84.2%^[2]。

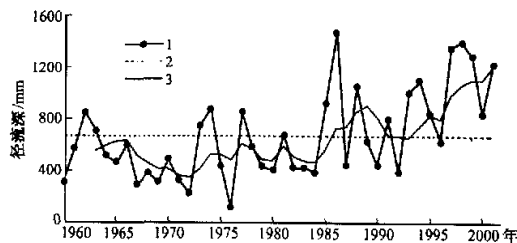


图 1 乌鲁木齐河 1 号冰川融水径流深变化曲线^[2]

1. 径流深 2. 平均径流深 3. 5 年移动径流深

Fig. 1 The variation on the melt water depth of the No. 1 glacier of the Ürümqi River, Tianshan Mountains^[2]

(4) 河川径流量增加。在目前西北中高山区降水和气温资料稀少的情况下,河流出

1) 王有清,姚德栋. 可可西里山区木兰冰芯记录的近几十年气候降温. 2003

2) 李忠勤,韩添丁. 乌鲁木齐河源区冰川及气候变化观测与分析. 2003

山口断面实测径流系列比较好地指示了山区气候环境的变化。在新疆 26 条主要河流中, 源出阿尔泰山、天山、帕米尔北部和喀喇昆仑山的 18 条河流的平均年径流量均有显著增加, 1987—2000 年平均年径流量较 1956—1986 年增幅 5%—40%, 以天山西段南坡河流增幅为最大。但源于西昆仑山中东段河流的同期平均年径流量则下降了 1.6%—9.2%。这可能与前述青藏高原西北部存在一个降温区有关。1987—2000 年新疆河流平均年总径流量较 1956—1986 年增加了 $62.1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 即 7%; 甘肃河西走廊中西段源出祁连山的河流, 如黑河、疏勒河和党河等, 其同期径流量上升了 6.34%—24%, 而东段石羊河及其以东诸河的径流量则呈下降趋势。在青海境内, 位于柴达木盆地东南部、源出东昆仑山的察汗乌苏河和格尔木河等的同期径流量增加了 6.57%—26.1%, 其余河流均呈下降趋势, 其中黄河上游下降了 16.75%, 是下游黄河断流的重要原因之一¹⁾。



图 2 新疆天山中部博斯腾湖的水位变化

Fig.2 The variation on the level of the Bosten Lake in central Tianshan Mountains, Xinjiang

(5) 湖泊水位上升, 面积扩大。天山中部的博斯腾湖自 1955 年有记录以来至 1986 年水位一直呈下降趋势(图 2), 面积也缩去 13%, 1987 年水位转为连续上升, 至 2002 年上升了 4.5m, 超过 50 年代最高水位 1m, 湖面积扩大到 1 000km² 以上。考虑到近湖的焉耆盆地的大量灌溉用水和博斯腾湖年输水 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 补给孔雀河和塔里木河, 可以确认湖泊的水量平衡和有关气候条件已发生了质的

的变化, 即自 1987 年以来入湖的降水量、径流量显著超过了湖面蒸发量、径流输出量和灌溉用水量之和。该湖主要补给源的开都河在大山口站的年径流量由 1986 年的 $24.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加至 2000 年的 $49.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ²⁾, 可以直接指示天山山区降水和冰川融水大幅度增加的特征。博斯腾湖的转变被作者首先确认为西北气候向暖湿转型的信号。

天山西段北麓的艾比湖, 是一个宽浅湖泊, 湖泊的面积对气候变化极为敏感。20 世纪 50 年代至 80 年代, 由于气候暖干和灌溉用水大增, 湖泊的面积由 1957 年的 1 070km² 缩至 1987 年的 499 km²。随后, 入湖水量大增, 至 2002 年 6 月, 湖泊的面积扩展到 1 064 km², 即恢复到 1957 年水平, 如将农业用水量计入还原, 可能会达到 20 世纪初湖泊面积 1 300 km² 的水平³⁾。

天山之北玛纳斯河尾间的玛纳斯湖、天山之南塔里木河尾间的罗布泊及台特马湖和祁连山之北黑河尾间位于内蒙古额济纳旗境内的居延海, 均因河流上中游截用了绝大部分入湖水流而分别于 1962 年(玛纳斯湖)、1972 年(罗布泊)、1961 年(西居延海)和 1994 年

1) 燕华云, 贾绍凤. 青海省水文要素变化规律的初步分析. 2003

2) 苏宏超, 吴素芬, 李燕等. 新疆水文记录中的气候转型信号. 2003

3) 王前进, 巴音查汗, 马道典等. 艾比湖水面近 50a 变化成因分析. 2003

(东居延海)干涸。近年来由于洪水流量增加,玛纳斯湖和台特马湖复苏;2002年7月,黑河上游发生了 $931\text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量,再加上严禁沿途分水的行政措施,洪水在润湿了黑河下游干涸的河床后流入东居延海。

天山西段的赛里木湖和祁连山区的哈拉湖,海拔较高,湖面蒸发较弱,故湖面面积变化较小,而近年来也出现了水位上升、湖面面积扩大的显著趋势。如 NOAA 卫星资料指出哈拉湖 2001 年的面积为 630km^2 ,比 1994 年增加了 40km^2 左右^[1]。

著名的青海湖则未进入气候转型区,截止 2001 年的记录,其水位仍处于下降状态,但 2002 年夏季出现了湖水位上升 30cm 的消息^[10]。

(6) 洪水灾害频繁。新疆洪水灾害受灾面积在 20 世纪 50~70 年代仅为 $4.28 \times 10^4 \sim 5.22 \times 10^4 \text{hm}^2$, 1987 年突然上升为 $36.47 \times 10^4 \text{hm}^2$ ^[11],反映了气候的突然变化。由高强度暴雨和持续高温天气冰雪消融所造成的大洪水可看作是气候上的极值事件。统计新疆年最大洪峰流量 $P \geq 50$ 年一遇的特大洪水和 $P \leq 50$ 年但 $P \geq 20$ 年的大洪水,年代际出现的频率变化如图 3²⁾ 所示。1956~2000 年的 45 年间发生大洪水 56 次,其中 1987~2000 年的 14

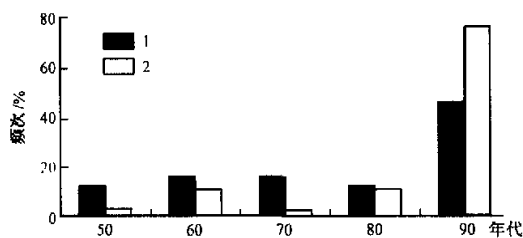


图 3 新疆 26 条河流大洪水和特大洪水 20 世纪不同年代出现频次²⁾

1. 年最大洪峰流量 $20 \leq P \leq 50$ 年一遇

2. 年最大洪峰流量 $P \geq 50$ 年一遇

Fig. 3 The frequency of large and super large floods in different decades of 26 rivers in Xinjiang²⁾

年间出现 27 次,占 48%,而在总共 28 次的特大洪水中,1987~2000 年发生 21 次,占 75%²⁾。正如 IPCC(2001)报告“观察到的气候变率与变化”一章中所指出的“若干区域总降水量增加,而其中大或极端降水事件的增加更为显著”^[12],在新疆历次洪水灾害中以 1996 年最为严重,8 条河流出现了第 1 位洪水的记录,5 条河流出现了第 2 位洪水的记录^[13],其直接经济损失占新疆经济总产值的 7%。1999 年,新疆 24 条河流出现了实测记录第 1 位大洪水,7 条河流出现第 2 位洪水,叶尔羌河出现了多年未有的冰川堵塞河谷而溃决的大洪水,卡群站洪峰流量达 $6070 \text{m}^3/\text{s}$ ^[14]。2002 年,天山南麓的渭干河出现了超 100 年一遇的特大洪水,7 月 19~23 日连续强降水和冰雪消融增强所形成的大洪水,毁坏了 2 座大型水库,其洪峰流量达 $3540\text{m}^3/\text{s}$,使拜城、沙雅、新和及库车 4 个县严重受灾³⁾。

(7) 植被覆盖有增加迹象。利用 NOAA/AVHRR 卫星监测数据,以归一化植被指数(normalize difference vegetative index,简称 NDVI,)统计植被变化,显示出 1981~2001 年西北全区植被有 56% 地域处于退化状态,31% 比较稳定,13% 显著改善,主要改善地区为新疆西部、北部及南部和田附近,甘肃河西走廊及兰州附近,宁夏银川平原和陕北榆林附

1) 郭 锐,张 杰,梁 芸. 西北地区近年湖泊变化所反映的气候问题. 2003

2) 吴素芬,张国威. 新疆洪水河洪灾变化趋势. 2003

3) 黄 健,毛炜峰,王顺德. 渭干河流域“2002.7”特大洪水分析. 2003

近¹⁾。显然,降水量的增加和绿洲所在地区人为因素对改善植被起了决定性作用。

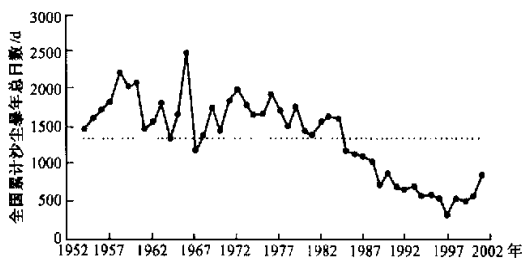


图 4 1954 ~ 2001 年逐年全国沙尘暴总日数变化(据中国沙尘暴网)

Fig.4 The variation of annual dust storm days during 1954 ~ 2001 in China

(8) 沙尘暴日数趋于减少。沙尘暴是指地面能见度小于 1km 的沙尘天气,而最低能见度 $\leq 200\text{m}$ 、最大风速 $\geq 20\text{m/s}$ 的沙尘天气为强沙尘暴,最低能见度 $\leq 50\text{m}$ 、最大风速 $\geq 25\text{m/s}$ 的沙尘天气则为特强沙尘暴。如图 4 所示,由 1954 ~ 2001 年逐年全国沙尘暴总日数变化可看出,20 世纪 60 ~ 70 年代沙尘暴最多,80 年代中期以后降至平均水平以下,1997 年仅为平均水平的约 1/3,以后又

有所回升,回升地区主要在中国北方的东部,使首都北京感受到相当影响。

强和特强沙尘暴频数在 20 世纪 50,60,70 和 80 年代分别为 48,68,89 和 47 次,而 90 年代则降为 36 次^[15],沙尘暴日数减少的原因可能与前述降水量增加所导致的植被改善有关。据土壤风蚀率与植被覆盖度的实验关系,植被覆盖度大于 60% 时只有轻微风蚀或无风蚀,小于 20% 时才出现强风蚀^[16],而大风日数的减少,可能是更为重要的原因。统计新疆的有关资料,相对于 20 世纪 60 ~ 70 年代,80 ~ 90 年代北疆的大风日数由 14.3 降为 11.2,即减少了 21.7%,平均最大风速由 16.90 m/s 降为 14.11m/s,即减少了 16.5%。统计新疆各地不同年代沙尘暴的出现日数和大风日数,都是正比例关系,90 年代比 60 ~ 80 年代均急剧减少^[13]。大风主要由于冬、春季节北方强冷空气入侵所致。大风的减少可能与全球变暖的大背景下,北方高纬度升温大于中低纬度升温,从而降低了气压梯度有关。但随着天气形势的变化,可能有较大的波动,如 90 年代虽然沙尘暴日数减少,但 1993 年 5 月 5 日出现了甘肃金昌的特强沙尘暴事件,导致了很大损失。

3 由暖干向暖湿转型的标准、当前分布地区和可能原因

3.1 转型标准拟订

上述气温、降水、冰川融水、河川径流、湖泊、洪水、植被和沙尘暴等 8 个方面的变化指示了 1987 年气候转型的重大事实。在当前全球显著变暖(ΔT)的大背景下,水循环加快,降水量(ΔP)和蒸发量(ΔE)均在增加的过程中,P 与 E 平衡的结果,可能会出现如下两种趋势,即

第 1 种情况

$$\Delta P / \Delta T < \Delta E / \Delta T \quad (1)$$

降水量(ΔP)的增加小于蒸发量(ΔE)的增加,气候趋于暖干。如西北和华北小冰期结束至

1) 马明国. 利用 NOAA/AVHRR 数据监测中国西北地区的植被状况. 2003

20 世纪波动性的气候变暖变干。西北东部和华北暖干趋势一直延续至今。

第 2 种情况

$$\Delta P / \Delta T > \Delta E / \Delta T \quad (2)$$

降水量(ΔP)的增加超过了蒸发量(ΔE)的增加,气候趋于暖湿。这种情况出现于 1987 年以来的西北西、中部地区。

上述两式均是理论概念,原因是实际蒸发量包括植物蒸散发量的资料不易取得。但降水超过蒸发平衡结果流域内水储存量(Δs)增加如式

$$R = P - E \pm \Delta s \quad (3)$$

即径流量和冰川融水量均增加,内陆湖泊水位上升,湖面积扩大,进一步水热平衡变化导致了植被改善或沙漠缩小等事实。这样的事实如在一个时期(如 10a 以上)稳定出现,我们即称之为向暖湿转型。这样的转型可以是年代际的,即历时数十年后又可能转回暖干,也可以发展为世纪级的,即历时百年以上。经过一段时间演变,地域范围可以扩大,也可以缩小。

3.2 转型范围和程度分类

当前,西北气候从暖干向暖湿转型可划分为 3 类,如图 5 所示。

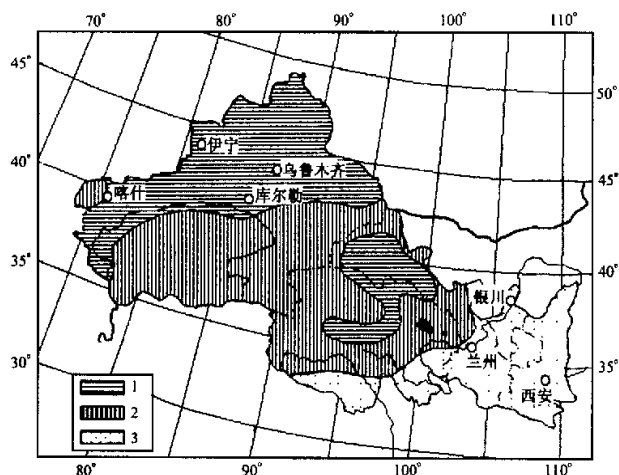


图 5 西北气候从暖干向暖湿转型范围和程度示意

1. 显著转型区 2. 轻度转型区 3. 未转型区

Fig.5 Extension and range of the climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China

(1) 显著转型区。即显著具备前述 8 条事实的地区。该区主要分布于新疆北部、天山及其两侧地带、塔里木盆地西侧,叶尔羌河下游,祁连山及其北侧中西段地区,以及柴达木盆地东南侧格尔木河和察汗乌苏河地区。其西边界实际上应伸入哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等中亚国家,但限于掌握资料不多,暂时不能确定其分布范围。

(2) 轻度转型区。降水量有少量增加,但不足以形成地面径流,植被有局部改善或未得改善和沙尘暴日数有相当减少的地区,主要为塔克拉玛干沙漠、新疆东部和甘肃、青海边缘戈壁荒漠地区,以及柴达木盆地内部。由于原有的极端干旱性质,其地表实际蒸发水汽很少,从而限制了降水在将来不大可能大幅度增加。此外,甘肃和青海局部地区也不稳定地列入本区,将来可能会有变化。

(3) 未转型区。即甘肃中东部地区、宁夏、陕西和青海东部地区,为季风降水所及的半干旱区,20 世纪 90 年代仍处于干旱的低降水期,将来可能会有变化。

3.3 气候转型的可能原因

推测气候转型的原因有以下两点:

(1) 空中水汽含量的增加和有利的天气形势。空中水汽的增减是降水量变化的重要条件。利用美国 NCEP/NCAR 公布的 1958 ~ 2000 年再分析格点资料,以乌鲁木齐、银川和西安 3 地实测资料检验,得知 60 年代和 70 年代西北大部分地区水汽呈减少趋势,80 年代水汽显著增加,90 年代进一步增加,特别是西北西部最为明显(图 6)^[1],许多地点 90 年代水汽增加值达 0.08 ~ 1.6mm。水汽输送主要来自南面的印度洋,部分来自大西洋和北冰洋的西、北方向^[1]。1987 年水汽突然增大,以 1987 ~ 1999 年和 1961 ~ 1986 年两个时段气压 500hPa 的高度场与风场相比,都表明后阶段有利于南风增强,水汽向北输送,西风虽偏弱,但输送水汽也在增强,更有利于以新疆为主地区降水的增多。

(2) 全球显著变暖驱动水循环过程加快。西北西、中部气候向暖湿的转型,不是孤立的现象,而可能是 20 世纪 80 ~ 90 年代全球显著变暖驱动水循环加快、降水增加的部分表现。远在非洲的撒哈拉沙漠于 1984 年最为干旱,其植被指数最低,沙漠扩展至 9 980 000 km²,1985 年后转向湿润,1997 年降雨量低于 200mm/a 的沙漠面减少为 8 930 000 km²,即减少了 12 %^[17],这可作为与中国西北部向湿润变化的遥相关。印度洋表面海温原本较同纬度太平洋和大西洋为高,在 20 世纪 90 年代近 1 000 年以来最暖的 10 年中,以 1998 年温度最高,尤其是热带印度洋水温比正常年高出 3 ~ 5℃,导致珊瑚大量死亡^[18],此时其蒸发水汽必然极其旺盛,从阿拉伯海向中国西北部输送的水汽增加是其必然结果。L. Bengtsson 曾估算温室气体加倍所导致的升温,将使大气中水汽含量增加 15 %,大洋向陆地水汽输送量增加 11 %,陆地蒸发量增加 5 %,陆地降水量增加 8.5 %,回流海洋的径流量将增加 10.3 %^[19]。据上所述,可以认为西北西、中部降水量的增加应是全球显著变暖驱动水循环加剧的部分结果。

4 西北气候由暖干向暖湿转型的前景预估计论

西北气候转型假说一经提出,自然会出现不同的看法和怀疑,关键在于未来发展是年代际的还是世纪性的,是局限于西北西、中部还是可能发展到整个西北地区以至延伸到华北地区。未来预测不论采用何种方法,都存在较大的不确定性。如上所述,作者初步认为,1987 年以来西北西、中部气候的变暖变湿是与全球显著变暖、水循环加剧所导致的

1) 俞亚勋,王幼松. 西北地区空中水汽分布特征及其变化趋势. 2003

降水量增加相联系的。IPCC(2001)综合了国际上 20 多个全球气候模式估测所做的最新评估报告认为,温室气体的大量增加,将使 21 世纪末全球平均气温上升 $1.4 \sim 5.8^{\circ}\text{C}$ ¹²⁾。但水循环加快、降水量变化和温度升高是非线性的,而增加的降水量降于何地则受天气形势影响很大,故难以做出正确的先期预测。如图 6¹⁾所示,西北东部空中水汽含量在 20 世纪 80 年代和 90 年代都处于上升过程,但由于天气形势的差别,致使西北东部主旱、西部主湿,呈反位相变化。

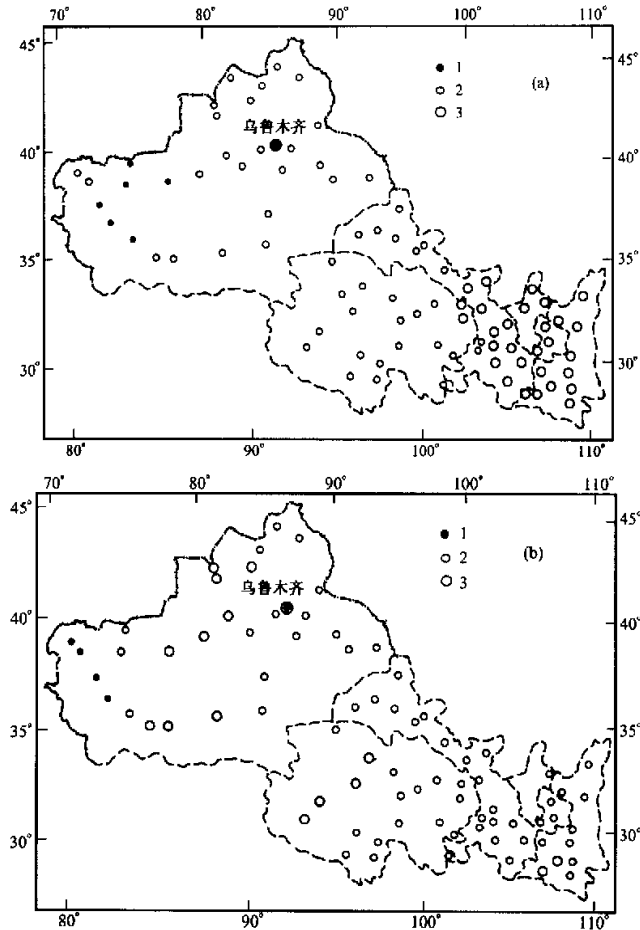


图 6 西北地区空中水汽年代际变化趋势(年平均)¹⁾

(a) 20 世纪 80 年代 (b) 20 世纪 90 年代

1. $-0.2 \sim 0\text{mm}/10\text{a}$ 2. $0 \sim 0.7\text{mm}/10\text{a}$ 3. $0.7 \sim 1.4\text{mm}/10\text{a}$

Fig.6 The increasing tendency of the air vapor content during recent years in northwest China¹⁾

1) 俞亚勋,王劲松. 西北地区空中水汽分布特征及其变化趋势. 2003

4.1 气候模式预测 2050 年前的变化

在已知国内现有气候模式中,高学杰等应用区域气候模式模拟了在 CO_2 倍增条件下,中国年平均气温将增加 2.5°C ,西北区更高达到 2.7°C ;中国年平均降水量增加 12% ,其中西北地区增加 25% ¹⁾。图 7¹⁾ 表示他们所模拟的西北区气温和降水量增加的地理分布。

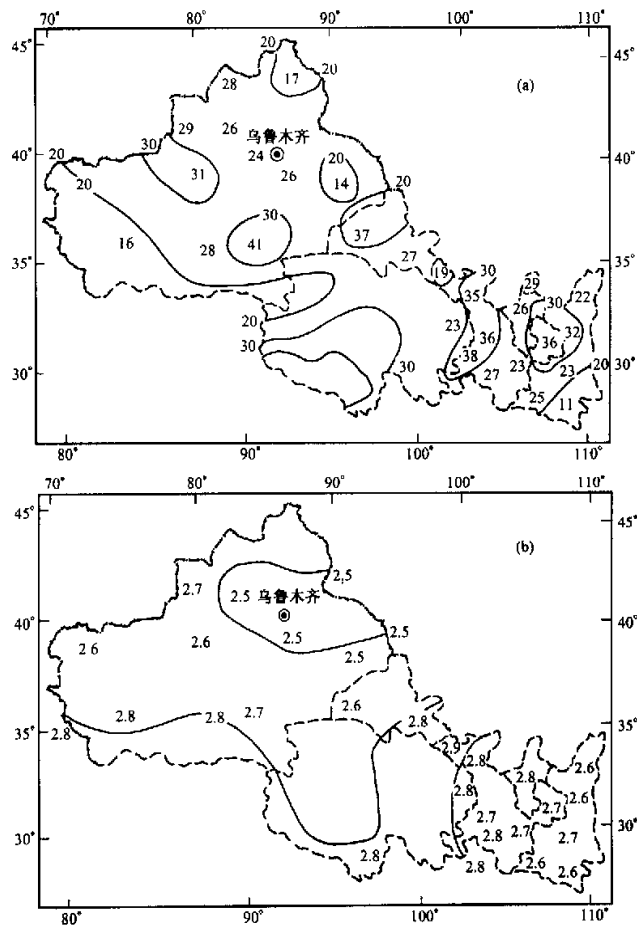


图 7 区域气候模式模拟的 CO_2 倍增情况下气候变化¹⁾

(a) 年平均降水量增幅(%) (b) 年平均气温增幅($^\circ\text{C}$)

Fig.7 Climate change for double CO_2 content simulated by regional climate model in northwest China¹⁾

如 CO_2 倍增、降水量增加能达到图 7a 所示的百分率,则届时西北全区都将转型为暖

1) 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气候变化的数值模拟. 2003

湿。但高学杰等申明,由于气候模式存在各种不确定性,其预测结果虽然是定量的,但更加具有定性的特点。

实际气候变化由上述温室气体增加的人为因素和与人类活动无关的自然因素组成。自然因素也很复杂,这里只提出以太阳黑子周期长度(SCL)为代表的太阳活动变化。预期未来 10 ~ 20 年,黑子周期较长,可能比 20 世纪 90 年代降温,但未来 250 年太阳活动较强,有利于气候温暖湿润^[20]。赵宗慈等综合人为因素(既考虑 CO₂ 增温效应,也考虑气溶胶效应,综合了 7 个全球模式)并结合自然因素变化,预测到 2050 年西北地区可能变暖 2.0℃,降水将增加 19%,其中甘肃最多,为 23%,内蒙古最少,为 14%,年径流量也呈增加趋势,增幅约为几个百分点至十几个百分点。上述预测的原作者申明,气候模式预测温度可靠性较高,而对降水预测则效果较差,结合自然变化,随地区而不同,有略变湿或略变干或干湿交替出现的可能性^[21]。

4.2 古气候相似研究反映西北气候曾多次向暖湿转型

西北古气候研究资料表明,历史上延续数百年至千年以上的暖期均是气候比较湿润时期,相反,冷期对应于干旱时期。以 2.2 ~ 1.8kaB.P. 的暖湿时期为例,据西昆仑山古里雅冰芯记录,0 ~ 270 年是 2 000 年以来温度最高的时期,平均温度高出 20 世纪 0.47℃,而在 3 世纪比现今高 1.3℃^[22]。此时罗布泊附近楼兰曾种植石榴,由此可推测当时气温比今高 2℃^[23]。降水和径流显然也比现代丰富。

再如,全新世大暖期鼎盛阶段,即 7.2 ~ 6kaB.P. 前后,西北和华北温度比现代高 3℃ 左右,降水量也有大幅度增加,如青海湖区降水高于现代 70% ~ 80%,内陆湖区均呈现高湖面,湖水淡化,沙漠面积缩小,当时正值新石器文化发展时期,农业有很大发展^[24]。

又如,40 ~ 30kaB.P. 的暖湿气候位于末次盛冰期前的间冰阶,古里雅冰芯记录显示温度高出现代 4℃^[25],据汗腾格里沙漠西侧雅布赖山孢粉资料推算,当时温度比现代高 2 ~ 3℃,降水多 250 ~ 350mm^[26]。巴丹吉林沙漠年降水量应达到 100 ~ 300mm,而现代只有 50mm^[27]。新疆的玛纳斯河、艾丁湖、罗布泊,内蒙古的古居延海、白碱湖,柴达木的察尔汗盐湖均为淡水大湖,其成因可能与当时中、低纬度岁差周期高辐射阶段所导致的大洋表面温度升高,蒸发加强,丰沛水汽经季风和西风输送到西北地区,从而导致降水大幅度增加有关。

从以上资料作者判断,西北气候向暖湿转型可能是世纪性的,将长期存在,并可能在 21 世纪上半期覆盖整个西北以至华北地区,但西北深处亚洲大陆内部远离海洋水汽源的地理位置和经长期演变所形成的沙漠和戈壁广布的极端干旱下垫面,严格限制了为空中补充本地水汽,从而将降低降水增加率,再加上较长时间过度的地下水开发、植被破坏、土壤水分减少所导致的生态环境恶化,也增加了气候转型的困难程度,故西北气候转型有其局限性,不宜过分夸大其作用。上述预测有较大的不确定性。

参 考 文 献

- 1 王宗太. 天山中段及祁连山东段小冰期以来冰川与环境. 地理学报, 1991, 46(2): 160 ~ 168
- 2 Yuan Yujang, Li Jiangfeng, Zhang Jiabao. 348 years precipitation reconstruction from tree rings for the north slope of the middle

- Tianshan Mountain. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 15(1):95~104
- 3 徐国昌,姚辉,李珊等.中国干旱、半干旱地区气候变化.北京:气象出版社,1997.1~101
 - 4 赖祖铭,叶伯生.西北地区河川径流变化及其趋势.见:施雅风主编.气候变化对西北华北水资源影响研究.济南:山东科技出版社,1995.95~119
 - 5 施雅风.山地冰川和湖泊萎缩指示的亚洲中部气候暖干化趋势及未来展望.地理学报,1996,45(1):1~13
 - 6 胡汝骥,马虹,樊自立等.近期新疆湖泊变化所示的气候趋势.干旱区资源与环境,2002,16(1):20~27
 - 7 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景的初步探讨.冰川冻土,2000,24(3):219~226
 - 8 王绍武,董光荣主编.中国西部环境特征及其演变.见:秦大河总主编.中国西部环境演变评估(第一卷).北京:科学出版社,2002.49~61
 - 9 刘潮海,施雅风,王宗太等.中国冰川资源及其分布特征——中国冰川目录编制完成.冰川冻土,2000,22(2):100~112
 - 10 徐力宇,王娟.青海湖上涨了30厘米.中国气象报,2002年9月23日,第1版
 - 11 姜逢清,朱诚,穆桂金等.新疆干旱灾害扩大——人类活动影响分析.地理学报,2002,52(1):57~66
 - 12 IPCC. Climate change 2001. In: Houghton *et al.* eds. The Science Basis Contribution of Working Group I. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2001. Chapter 2
 - 13 张家宝,史正光.新疆气候变化及短期预测研究.北京:气象出版社,2002.60~109,145~147
 - 14 吴素芬.新疆1999年春夏洪水特征.水文,2002,22(2):58~60
 - 15 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及其变化趋势分析.中国沙漠,2002,22(2):106~111
 - 16 王涛,陈广庭,钱正安等.中国北方沙尘暴现状与对策.中国沙漠,2001,21(4):322~327
 - 17 Tucker C J, Nicholse S E. Variation in the size of the Sahara Desert from 1984~1997. *Ambio*, 1999, 28(7): 582~591
 - 18 Wilkinson C, Linden O, Cesar H *et al.* Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian Ocean: An El Niño impact and a warming of future change. *Ambio*, 1999, 28(2):188~196
 - 19 Bengtsson L. 人为气候变化的数值模拟. *Ambio* (中文版), 1997, (11):58~65
 - 20 汤懋苍,柳艳香,冯松.一个新的千年暖期可能已经来临.高原气象,2002,21(2):128~131
 - 21 赵宗慈,高学杰,汤懋苍.气候变化预测.见:丁一汇主编.中国西部环境变化的预测.北京:科学出版社,2002.16~46
 - 22 杨保,施雅风.近2000年古里雅冰芯气候变化的子波分析.地理科学,2001,21(6):488~492
 - 23 李江风.新疆气候.北京:气象出版社,1991.287
 - 24 施雅风,孔昭宸,王苏民等.中国全新世大暖期气候与环境的基本特征.见:施雅风主编.中国全新世大暖期气候与环境.北京:海洋出版社,1992.1~18
 - 25 姚檀栋, Thompson L C, 施雅风等.古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究.中国科学(D辑), 1997, 27(5):447~452
 - 26 马玉贞,张虎才,李吉均.腾格里沙漠晚更新世孢粉植物群与气候环境演变.植物学报,1998,40(9):871~879
 - 27 杨小平.巴丹吉林沙漠地区钙质胶结层的发现及其古气候意义.第四纪研究,2000,20(3):295

DISCUSSION ON THE PRESENT CLIMATE CHANGE FROM WARM-DRY TO WARM-WET IN NORTHWEST CHINA

Shi Yafeng^① Shen Yongping^① Li Dongliang^① Zhang Guowei^②
Ding Yongjian^① Hu Ruji^③ Kang Ersi^①

(^① Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

^② Bureau of Hydrology and Water Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Ürümqi 830010;

^③ Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Ürümqi 830011)

Abstract

Under the global warming, mainly in northwest China, the climate was basically characterized by the development of warm-dry since the end of the little ice age until 1980s. A climatic mutation to warm-wet happened in 1987. Since 1980s, air temperature has been increasing more rapidly. The average annual temperature during 1987 to 2000 had risen by 0.7°C as compared with that during 1961 to 1986. Nevertheless, with the rising of temperature, precipitation and glacial melt water increase rapidly widespread. As compared with the period from 1961 to 1986, the average precipitation during 1987 to 2000 increased by 22 % in the north Xinjiang, 33 % in the south Xinjiang, and 10 % to 20 %, the middle and west Hexi Corridor area and some areas in the Qinghai-Xizang Plateau, but most of the increasing precipitation fell on the Tianshan Mountains, the Qilian Mountains and other mountains with few actual records. For the increase of glacial melt water, No. One glacier at the source area of the Ürümqi River which has had field measurements and monitoring for several decades is taken as an example, the average annual melt water from 1985 to 2001 increased by 84.2 % as compared with that during the years from 1958 to 1985. Whereas in the east region of northwest China, the conditions were in the opposite, it was still under the warm-dry climate, precipitation decreased by 5 % to 15 % and the draught occurred frequently during the compared periods as above mentioned.

Along with the increase of precipitation, the hydrological conditions and ecological environment were also correspondently changed. Most rivers in Xinjiang, the rivers at the middle and west Qilian Mountains of Gansu Province and at the southeast Qaidam Basin of Qinghai Province had experienced the trend of annual runoff increase since 1987, and the increase range was averaged at more than 5 %, and was above 20 % in most regions and the maximum increase range arrived at 40 % from the years of 1956 to 1986 to the years of 1987 to 2000. The lake-levels of the most influenced inland lakes by the increase of precipitation, such as the Bosten Lake and the Ebinur Lake, had continuously and rapidly risen since 1987. The lake-level of Bosten Lake was risen with 4.5m from 1987 to 2002, exceeding the highest lake-level during 1950s. The area of wide and shallow Ebinur Lake had been enlarged from 499km² in 1987 to 1 064km² in 2002, resuming the

high lake-level in 1957. Along with increase of precipitation, flood disasters happened frequently. In the existing records of flood disasters, the most serious ones occurred in 1987, 1996 and 2002, and the damage of 1996 flood disaster was extremely serious in Xinjiang. However, the climate change from warm-dry to warm-wet brings much more benefits than harms. The mean annual mountain water resources of Xinjiang during the years from 1987 to 2000 was increased by 7 %, about $62.1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, as compared with that during the years from 1956 to 1986. The vegetation index was obviously increased in the area of north and west Xinjiang, where precipitation increased in a larger amount. In northern part of China, especially in the Xinjiang area, the days of sand-dust storms were rapidly decreased because of the reduction of strong windy days.

Above-mentioned evidences indicate that the regional climate of northwest China had showed the trend climate change from the warm-dry pattern to the warm-wet pattern. Through comprehensive evaluation and analysis of the evidences and signals, the present climate change of northwest China can be classified into three regions. The first is the notable change region of climatic pattern with marked becoming wet, mainly in the north Xinjiang, the Tianshan Mountains and their both sides, the west Tarim Basin, the down course area of the Yarkant River, west and central part of the Qilian Mountains, and the area of southwest Qaidam Basin. The west boundary of this region should go into the Central Asia countries where the range is difficult to determine because of the lack of information. The second is the slight change region of climatic pattern with some trend of becoming wet, mainly in the grand Taklimakan Desert, the desert area at the east Xinjiang, the west Gansu and inside the Qaidam Basin, where it is extremely dry and the actual evaporation is also limited, and it is estimated that the precipitation is impossible to increase largely there. The third is the unchanged region of climatic pattern with persistent drought, mainly in the east area of northwest China, and less precipitation was still in the years of 1990s.

Through the analysis of the moisture transportation and atmospheric circulation, it is considered that northwest China is affected by various atmospheric circulation patterns. In the Xinjiang area, the climate is affected mostly by the westerly current coming from the Atlantic Ocean and the Arctic Ocean. However during 1980s and 1990s, the atmospheric moisture content increased obviously, caused by the rapid global warming which enhances the northwards transportation of moisture mainly from the Indian Oceans, and also partly from the westerly current.

By means of modeling, statistical and period analysis, similarity and comparison analysis of paleoclimatology, a speculation is made, in despite of large uncertainties. Most probably, the time scale of present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China would be the centenary with the decadal fluctuation at a new warm-wet level of climatic pattern. Spatially, under the global warming, the still warm-dry climatic pattern in the east area of northwest China could be changed into the warm-wet pattern not long, and it would become wet in the whole area of northwest China to 2050.

Key words climate change, warm-dry, warm-wet, change of climatic pattern