

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

靳立亚¹, 符娇兰^{1, 2}, 陈发虎^{1, 3}

(1. 兰州大学资源环境学院中德干旱环境联合研究中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用中国西北地区 (75°~105°E, 35°~50°N) 最近 44 年 (1958~2001 年) 77 个气象台站观测的降水量、气温资料以及 NCAR/NCEP 再分析资料, 采用回归分析与合成分析等方法研究了西北干旱区降水量的时空变化特征及其与全球气温变化的关系。结果表明, 西北干旱区的降水量偏多 (偏少) 与全球平均气温升高 (降低) 存在一定的对应关系, 但降水量随气温的变化存在地域差异, 主要表现为干旱区的西部 (93°E 以西) 区域年降水量随全球气温升高呈现增加趋势, 而东部 (93°E 以东) 区域年降水量呈减少趋势。

关键词: 西北地区; 降水量; 区域差异; 全球变暖

中图分类号: X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2005)05-0567-06

近年来, 随着全球变暖的日益显著, 以气候变暖为代表的全球性环境问题已越来越受到科学界、社会公众和各国政府的关注。研究表明^[1]: 气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的, 正面和负面影响并存, 其中负面影响更多地受科学界和社会的普遍关注。全球变暖, 地球环境的许多要素也发生了变化。中国西北地区处在干旱、半干旱区, 自然生态环境受到冰川退缩、湖泊萎缩、沙漠化加剧等因素影响导致水资源短缺, 旱灾、洪水等自然灾害增加, 造成人地关系矛盾十分突出^[2, 3]。因此在全球变暖的条件下, 搞清楚西北地区气候的演变特征对中国西部生态环境建及更好地理解治理北方沙漠化过程等均具有重大的现实意义和深远的战略意义。

在各种气候要素中, 降水量是描述一个地区气候及其变化的关键指标之一, 尤其是对干旱气候的描述。大气降水是重要的气候资源, 在全球气候可能进一步增暖的情况下, 了解西北地区降水未来的变化趋势具有重要科学意义, 也是制定区域可持续性发展战略所需要研究的问题。

对中国西北地区降水量在不同时间尺度和空间尺度上的变化特征以及与其它相关气候因子的

关系研究已开展了许多年, 取得了丰硕成果^[4~8]。近年来, 新的研究发现, 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为主要标准, 西北地区气候出现了由暖干向暖湿转型的趋势^[9]。利用新疆北部地区气象站降水序列趋势分析发现, 近 30 年 (1961~1997) 来该区域年降水量存在增加的趋势^[10]。另外, 通过对新疆天山西部中山带近 30 年积雪量的研究显示, 该地区积雪的增加与冷季 (11~3 月) 降水量呈现增长趋势有关^[11]。不过研究同时也指出, 西北地区由暖干向暖湿转型的趋势或者降水量增加的趋势存在着区域差异^[9, 10]。而且, 西北地区降水量的变化机理不同于中国东部地区主要受东亚季风影响的机制。本文针对已有研究中发现的这些问题, 利用近 44 年来实测气象资料和根据数值模式预报结果的再分析资料, 进一步探讨西北地区降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应特点, 希望从一个侧面对西北干旱区在最近 44 年以来的气候演变特征有一个新的认识。

本文所用资料包括中国气象局国家气候中心最新整理的 1958~2001 年中国西北地区 (研究区的范围是 75°~105°E, 35°~50°N) 77 个气象台站的

收稿日期: 2004-08-09 修订日期: 2004-12-13

基金项目: 国家重大基础研究发展规划“中国北方沙漠化过程及其治理研究”资助项目 (G2000048700)、国家自然科学基金杰出青年基金资助项目 (40125001)。

作者简介: 靳立亚 (1964-), 男, 青海大通人, 副教授, 主要从事干旱区气候环境变化研究。E-mail: jlnl@lzu.edu.cn

通讯作者: 符娇兰, 女, 博士研究生。E-mail: pku.edu.cn

降水量和气温观测资料以及美国国家大气预报中心和环境预测中心 (NCAR/NCEP) 发布的 1958~2001 年的全球和北半球气温距平再分析资料。通过计算温度资料的距平得到了西北地区、北半球和全球的温度变化趋势; 利用西北地区的降水量资料与全球年平均气温资料进行回归分析与合成分析, 得到了西北地区降水量与全球变暖的对应关系。

1 西北地区气温变化及与全球气候变暖的关系

国际政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2001 年的第三次评估报告指出, 20 世纪全球地表平均气温上升了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ^[12]。Mann 等的研究^[13]也说明, 在 20 世纪北半球和全球的气温有两次明显的增暖, 分别是 20 世纪 20 年代的迅速增暖和 80 年代之后的变暖。在这种全球气候变化格局下, 各地区域气候也出现了不同的变化。中国的气温变化以西北、华北、东北地区最为明显^[14], 其中西北地区变暖地区主要在新疆北部、西北东部以及青海东北部, 变暖的季节主要是在冬季^[8]。

图 1 是 1958~2001 年西北区域的气温资料以及 NCAR/NCEP 的全球、北半球年平均气温再分析资料, 计算得到的近 44 年气温变化变化曲线。由图 2 可见, 最近 44 年中国西北地区平均气温的变化趋势与北半球及全球平均气温的变化趋势基本同步, 均表现为上升的趋势, 20 世纪 80 年代以来变暖趋势更加明显, 1998 是最热的年份, 其中西北地区该年的温度距平为 1.1°C 。

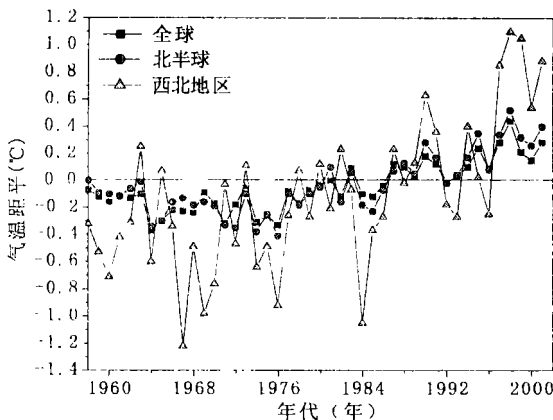


图 1 最近 44 年全球、北半球及西北地区平均气温距平的逐年变化

Fig 1 Year-year variations of global northern hemispheric and Northwest China's mean air temperature anomalies during the last 44 years

不少数值模拟的研究结果认为, 随着人类活动引起的大气温室气体含量的进一步增加和由此引起的全球变暖, 将可能导致区域降水量与降水格局发生变化。如在大陆地区, 尤其是在中高纬度地区降水将增加, 但也有不少地区降水将减少, 如在非洲地区, 由此可造成降水极端事件的发生, 导致洪涝, 干旱灾害的频数与强度的增加、全球干旱化的发展与加剧^[15], 并可能造成世界上一些地区水资源的短缺^[16 17]。下面, 我们分析在全球变暖背景下西北地区降水量变化的区域特征。

全球和北半球气温资料取自 NCAR/NCEP 再分析资料, 温度距平相对于 1971~2000 年平均值 (WMO 新的气候平均值时段)。

2 西北地区降水变化的区域差异及其对全球变暖的响应

2.1 西北地区年降水量区域分布及各月降水量贡献

西北地区幅员广阔, 地形复杂, 降水量差异很大。图 3a 是研究区 1958~2001 年的年平均降水量分布。由于远离海洋, 东亚季风只能影响到西北东部边缘地带, 使得西北地区降水量少且分布很不均匀。其次近于东西走向的天山、阿尔泰山、帕米尔高原等构成的屏障, 使塔里木盆地、准格尔盆地成为干旱的闭塞盆地。因而年降水总量地区分布总趋势 (图 3a) 是东部降水多, 年降水量一般 250~600 mm, 其次是北疆地区, 年降水量 100~200 mm, 南疆盆地不足 50 mm, 若羌一带约 20 mm, 哈密北部戈壁不足 15 mm, 吐鲁番盆地小于 10 mm, 河西走廊西部不足 50 mm, 阿拉善地区东部在 100 mm 左右。

从该地区最近 44 年年降水总量年际变率系数 (均方差与平均值之比) 分布 (图 2b) 来看, 年际降水变率总体上中部大、东部与西部较小。其中塔里木盆地及周围地区年际降水变率最高, 这说明该地区降水变化很不稳定。

为了分析各月降水变化在年总降水量变化中的作用, 我们还计算了各月降水对年降水量年际变率方差的贡献。设某气象站第 y 年 ($y = 1, 2, \dots, 44$ 分别对应于 1958, 1959, ..., 2001 年) 第 m 月 ($m = 1, 2, \dots, 12$ 指各月) 月降水量为 R_{ym} , 则年总降水量 $R_y = \sum_{m=1}^{12} R_{ym}$, 年平均降水

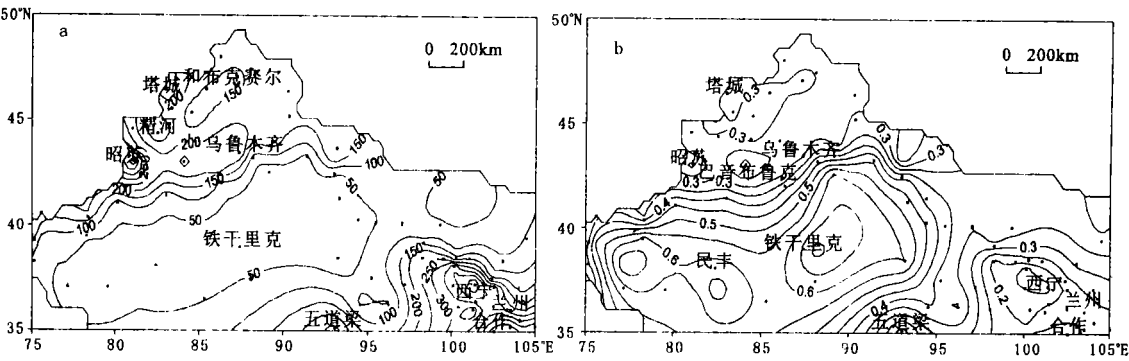


图 2 西北地区 1958~2001 年 (a) 平均降水量 (mm) 和 (b) 年降水量年际变率系数

Fig 2 Annual mean precipitation (mm) over the Northwest China (a) and mean inter annual variability of the annual precipitation (b) in 1958–2001

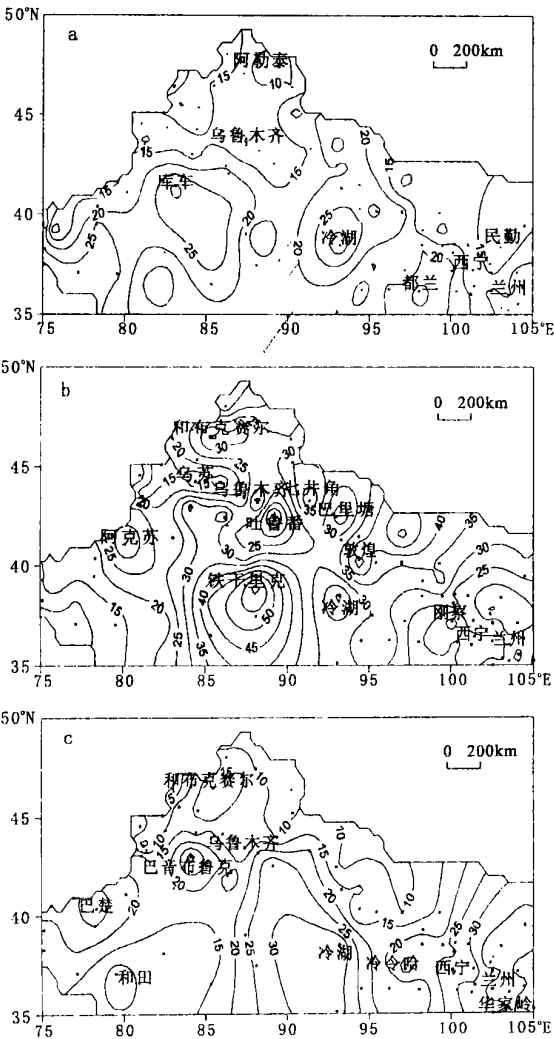


图 3 6 月 (a)、7 月 (b)、8 月 (c) 降水量对年降水量年际变率的方差贡献 (%)

Fig 3 Variance contribution of precipitation variation to the inter annual variability of annual precipitation (%) in June (a), July (b) and August (c)

量 $R_y^* = \sum_{y=1}^{44} R_y / 44$ 月平均降水量 $R_y^* = \sum_{y=1}^{44} R_{ym} / 44$ 于是可以定义第 m 月降水对年降水年际变率方差的方差贡献^[18]为:

$$S_m = \sum_{y=1}^{44} [(R_y - R_y^*) (R_{ym} - R_m^*)] / \sum_{y=1}^{44} (R_y - R_y^*)^2$$

按照以上方程计算 1~12 月逐月的方差贡献, 结果发现, 方差贡献最大的是 7 月份, 大部分地区 7 月份的方差贡献在 40% 左右, 在西北地区的中部甚至达 60% 以上 (图 3b), 其次是 6 月和 8 月, 大部分在 30% 以上 (图 3a 3c)。这一事实表明, 6~8 月份的降水是决定年降水量年际变化的关键时期。

2.2 西北地区降水量对全球变暖的响应

已有的研究显示, 在过去的几十年里, 随着气温的上升, 中国西北西部和中部地区降水量显著增加, 其中新疆北部和南部河西走廊中、西部等地区增加最多, 在时间变化上, 以冬季增加最多, 夏季次之^[9~11]。而在西北东部地区, 包括甘肃中东部地区、宁夏、陕西等地 20 世纪 90 年代仍处于干旱的低降水期^[9], 这一特征从位于秦岭北侧的渭河年径流量近几十年的减少也反映了出来。据研究, 1981~1999 年渭河年平均径流量比 1935~1980 年减少 27.4%^[19], 而近 20 年来渭河径流量的减小主要与该流域降水量的减少有关^[20]。以上研究说明, 西北地区降水量变化在近 10~20 年全球变暖背景下, 存在一定的地域差异, 即西北西部地区降水量有增加、而西北东部区域有减少趋势。

为了进一步探求西北地区降水量对全球变暖可能响应的区域特征, 我们利用西北地区 77 个气象台站 1958~2001 年的降水量资料和 NCAR /

NCEP再分析资料的同期全球平均温度资料,进行了最近 44年年降水总量对全球平均气温的线性回归分析及相关分析。结果表明(图 4a),在全球温度升高 1℃的情况下,西北地区西部,主要是西风带降水区和部分季风影响降水区,包括新疆大部、祁连山区和河西走廊中西部、青海的部分地区,降水量明显增加,增加达 10% 以上,其中新疆的天山地区增加最多,约 70%。另一方面,在西北地区东部的季风降水边缘区,包括甘肃河东地区、青海东部,降水量则呈减少趋势;在新疆西南部的塔里木盆地降水量也随气温的升高而呈减少趋势。由此可见西北地区西北部与东部降水变化呈相反趋势。如果以 93°E 为界(约在图 5 中的零等值线附近)将西北地区分为东、西两部分,并分别对这两部分区域近 44 年实际降水量进行平均并进行线性趋势拟合(图 5),可以看出它们的变化与在全球变暖 1℃情况下的趋势(图 4a)是一致的,即西北西部区域降水量有增加的趋势,而西北东部降水量有减少的趋势,但这种增加和减少趋势均未达到 0.1 的信度显著性检验水平。

为了更直观地显示全球冷暖与西北地区区域降水的关系,我们选择了最近 44 年中全球平均气温较高(暖年)的 4 年(1995、1997、1998、2001 年)和气温较低(冷年)的 4 年(1964、1971、1974、1976 年)做合成分析。结果发现,暖年平均降水量与冷年平均降水量差的分布形势(图 4b)与线性回归分析的结果非常相似,在新疆地区 4 个暖年平均降水量比 4 个冷年平均降水量增加了 30% 以上,但在甘新边界及甘肃东部地区是减少的。这表明 44 年以来,在全球变暖背景下西北西部地区降水量呈现增加趋势,而西北东部地区降水量呈减少趋势。随着气温的升高,降水量的增加(或减少)将在一定程度上导致一个地区的气候趋于变得暖湿(或暖干)。因而以上分析结果暗示,西北西部区域气候随气温升高有趋向暖湿变化的可能,而西北东部地区,随气温升高有继续变干的趋势。这一结果与施雅风等^[21]根据降水量、湖泊水位等多种资料分析的结果一致,即西北西部区域气候已由暖干向暖湿转型、而西北东部地区,随气温升高有继续变干的趋势。需要指出的是,一个地区的气候干湿状况不

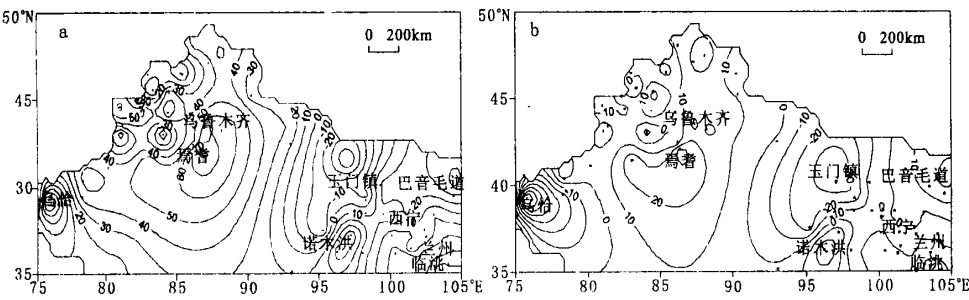


图 4 全球平均温度升高 1℃的情况下 (a)西北地区年降水量距平百分率的变化 (%) 和 (b)最近 44 年中最热的 4 年平均与最冷的 4 年平均降水距平百分率之差 (%)
Fig 4 Variation in the percentage of annual precipitation anomaly over Northwest China with an increase of 1℃ in the global mean air temperature (%) (a) and difference in the percentages of annual precipitation anomalies between the warmest four years and the coldest four years in the past 44 years (%) (b)

仅与气温和降水量有关,还与其它因子,如下垫面的蒸发蒸散等有密切关系,因而要全面分析一个地区的气候干湿型态及其变化特征还需要进行多种要素的综合研究。

3 结果与讨论

从以上分析可以看出,西北地区降水量年际变化存在着明显的地域差异,最近 44 年以来,西北西部区域降水量呈增加趋势,而东部区域降水量呈减

少趋势。通过与全球气温变化的相关分析表明,西北地区年降水量的变化与全球气温变化存在一定的对应关系,即暖年多对应西北西部区域降水量的正距平和西北东部区域降水量的负距平。而冷年多对应西北西部区域降水量的负距平。由于西北地区夏季(6~8 月)降水量对全年降水量年际变率的方差贡献达 50%~90%(图 3),因而是决定西北地区全年降水年际变化的关键时期。

尽管区域性气候变化的原因复杂,影响因子很

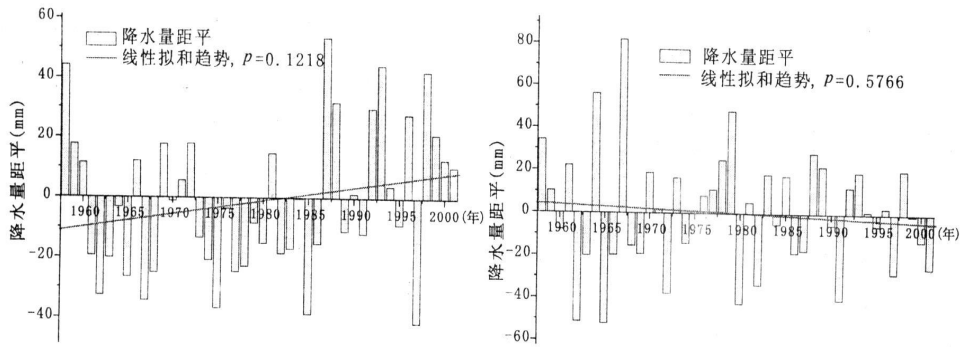


图 5 (a)最近 44 年西北地区西部 (93. 0°E 以西)和 (b)东部 (93. 0°E 以东)年降水量距平逐年变化

Fig 5 Year-to-year variations of annual precipitation anomaly during the last 44 years in Northwest China west of 93. 0°E (a) and east of 93. 0°E (b)

多,但未来全球气候进一步变暖的气候背景有利于西北西部区域夏季降水量的增多,而不利于西北东部区域夏季降水量的增加。最近,赵宗慈等^[21]、姜大膀等^[23]利用 IPCC 公布的国际上著名耦合气候模式对 21 世纪全球气候情景的预测资料综合分析了东亚地区和中国西北的气温和降水变化趋势。结果表明,中国西北地区气温将平均升高 2.79~4.50℃/100a 而未来西北降水量将增加 48~60 mm/100 a。

然而,值得指出的是,随着全球气温的不断升高,影响降水产生的气候因子也会随之发生变化。因此,我们不能期待当气温进一步升高的情况下有利于西北地区夏季降水气候因子(如大气环流形势等)会一成不变。尽管气候模式已做出可能变化的预测,但由于全球气候模式在模拟区域尺度气候变化上存在着不确定性,同时由人类活动导致的温室气体排放和硫化物气溶胶增加也具有一定的不确定性,因此由模式预测的气候变化存在着不确定性。

参考文献:

[1] 秦大河,丁一汇,王绍武,等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 314~318

[2] 程国栋,张志强,李锐. 西部地区生态环境建设的若干问题与建议对策[J]. 地理科学, 2000, 20(6): 503~510

[3] 姜逢清,朱诚,穆桂金,等. 新疆绿洲当代人地关系紧张态势与缓解途径[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 157~163

[4] 靳立亚,秦宁生,吴永森. 中国西北地区不同季节降水气温异常的时空分布及其与西北干旱的关系[A]. 孙国武(主编). 中国西北干旱气候研究[C]. 北京:气象出版社, 1997.

[5] 谢金梦. “西北地区干旱预测系统研究”专题研究成果综述

[A]. 谢金南(主编). 中国西北干旱气候变化与预测研究(1~3卷)[C]. 北京:气象出版社, 2000

[6] 韦志刚,董文杰,惠小英. 中国西北地区降水的演变趋势和年际变化[J]. 气象学报, 2000, 58(2): 234~243.

[7] 宋连春,张存杰. 20 世纪西北地区降水量的变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143~148.

[8] 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

[9] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152~164.

[10] 姜逢清,朱诚,胡汝骥. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 669~672

[11] 张丽旭,魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系——以巩乃斯河谷为例[J]. 地理科学, 2002, 22(1): 67~71.

[12] Houghton JT, Ding Y, Griggs D J et al(Eds). Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. London: Cambridge University Press, 2001. 944.

[13] Mann M E, Amman C, Bradley R, et al. On the past temperatures and anomalous late-20th century warmth[J]. EOS, 2003, 84(27): 256

[14] Wang S, Gong D. Enhancement of the warming trend in China[J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27: 2581~2584

[15] 李新周,刘晓东,马柱国. 近百年来全球主要干旱区的干旱化特征分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 97~103

[16] Amell N W. Climate change and global resources[J]. Global Environmental change, 1999 (supp): 31~49.

[17] Vorosmarty C J, Green P, Salisbury J et al. Global water resources Vulnerability from climate change arid population growth[J]. Science, 2000, 289: 284~288

[18] 刘晓东,安芷生,方建刚,等. 全球气候变暖条件下黄河流域降水的可能变化[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 513~519.

[19] 查小春,延军平. 全球变化下秦岭南北河流径流泥沙比较分析[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 404~407

[20] 延军平,汪西莉,孙 虎,等. 陕、甘干旱地区不同时段地表径流递减率的分析 [J]. 地理科学, 1999, 19(6): 532~ 535.

[21] 施雅风 (主编). 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估 [M]. 北京: 气象出版社, 2003. 1~ 122

[22] 赵宗慈,丁一汇,徐 影,等. 人类活动对 20世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21世纪预测 [J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 27~ 34

[23] 姜大膀,王会军,郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测 [J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 590~ 596.

Spatial Differences of Precipitation over Northwest China During the Last 44 Years and Its Response to Global Warming

JIN LiYan¹, FU Jiao-Lan^{1, 2}, CHEN FaHu^{1, 3}

- (1. Center for Arid Environment and Paleoclimate Research, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000;
2. Department of Atmospheric Sciences, College of Physics, Beijing University, Beijing 100871;
3. Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract Based on climatic data of precipitation and temperature of 77 meteorological stations covering 1958–2001 in the northwestern China (the area is within the north of 35°N and west of 105°E in China) as well as the NCAR /NCEP reanalyzed data and by using the methods of regressive analysis and composition analysis, the inter-annual variation of the precipitation over the northwestern China as well as its relationship with global warming were studied. The results show that there exists relationship between the anomalies of precipitation over the northwestern China and that of the global mean temperature. However, the trends of precipitation with temperature are different in west (west of 93°E) and east part (east of 93°E) of the northwestern China. In west part the precipitation has increased with global warming in the past 44 years, while in east part the precipitation declined.

Key words northwestern China, precipitation, temporal variation, spatial differences, global warming