

甘南高原气候变化及对水资源的影响

杨帆¹, 赵庆云², 张武³

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730000;
3. 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, 甘肃 兰州 730000)

摘要:应用甘南高原8个气象观测站的月平均气温、月降水量、月蒸发量及水文资料,分析甘南高原气候历史演变趋势及其对水资源的影响。结果表明:1973~2010年研究区年降水量呈减少趋势,平均每10 a减少11.9 mm,尤以20世纪90年代减少最为明显。年平均气温呈上升趋势,气温每10 a升高0.46℃。年蒸发量总体呈增加趋势,平均每10 a增加21.3 mm,尤以近10 a增加最为明显。年降水量为450 mm的等值线南移,年蒸发量为1 250 mm的等值线和年平均气温为3℃等值线西伸,暖干化面积增大。研究区暖干化导致水资源减少,湖泊水位下降,干旱草地面积扩大,草地涵养水源功能降低,产流量减少,黄河“蓄水池”的作用明显下降。

关键词:气候变化;水资源;对策建议;甘南高原

中图分类号:P461+.5

文献标识码:A

引言

甘南地处青藏高原、黄土高原和陇南山区的过渡地带,位于黄河的上游源区,是西北地区森林及草地资源最丰富的地方之一,人均占有林区面积是世界平均水平的2倍。甘南草场更是闻名遐迩,是全国5大牧区之一。甘南州境内有1江3河以及120多条大小支流,全州水资源总量为254.1亿m³,其中自产地表水资源总量为101.1亿m³,过境153亿m³,不仅是全省水资源富集区之一,更是黄河、长江的上游水源涵养区^[1]。随着气候变暖,这一地区的水资源日益短缺,生态环境不断恶化^[2-6]。2006年,全州干旱缺水草地面积已扩大到44.7万hm²,占天然草地面积的17.4%,缺水人口达18万,占总人口的26.9%,缺水牲畜109万头(只),占饲养量的31%。大量研究表明^[7-19],甘南气候变化总体出现干旱化趋势,但是,甘南干旱气候变化对全球变暖的响应机制还不清楚,甘南地区未来气候如何变化,对水资源有何影响以及应该采取何种应对措施等问题有待深入探讨。为此,研究该区域气候的历史演变规律,探索区域增暖所引起的干旱化加剧对水资

源的可能影响,并提出未来应对气候变化的对策建议,为该区的社会经济发展提供科学依据。

1 研究区概况与资料方法

1.1 研究区概况

甘南位于青藏高原东部边缘,甘肃省西南部,地处甘、青、川3省交界处,辖夏河、碌曲、玛曲、临潭、卓尼、迭部、舟曲7县和合作市。此区位于黄河的上游源区,在中国西部生态环境系统中处于十分重要的位置。黄河上游除干流外有大夏河、洮河等一系列支流以及长江的重要分支白龙江均发源于此。境内星罗棋布的大小湖泊和沼泽草场,构成黄河上游完整的水源体系,是黄河径流主要汇集区,也是黄河上游重要水源涵养区,具有特殊的生态功能。

甘南属于大陆季风气候,地势西北部高,东南部低;气候严寒,高寒润湿;境内海拔1 100~4 900 m,大部分地区在3 000 m以上。年平均气温的变化范围在1.6℃(玛曲)~13.3℃(舟曲)。绝大部分地方长冬无夏,春秋短促,无霜期少于140 d。年降水量的变化范围在419 mm(舟曲)~597 mm(玛曲)。受地形和高原季风的影响,各地降水量时空分布不

收稿日期:2012-05-11;改回日期:2012-06-17

基金项目:国家重大科学研究计划(2012CB955302)资助

作者简介:杨帆(1991-),女,河北雄县人。E-mail:401448315@qq.com

通讯作者:赵庆云(1962-),女,甘肃兰州人,正研级高工,主要从事灾害性天气预测与研究。E-mail:zhaogy_gs@126.com

均匀;光照充足,但利用率低。

1.2 数据来源及方法

所选资料为合作、夏河、碌曲、玛曲、临潭、卓尼、迭部和舟曲8个气象观测站1973~2010年逐月降水量、月平均气温和月地面蒸发量资料,均来自甘肃省气象档案馆。采用线性趋势分析方法。

2 结果与分析

2.1 气候变化

2.1.1 降水量变化

研究区1973~2010年年降水量总的变化呈减少趋势(图1)。一元回归线性拟合方程为: $y = -1.1852x + 2905.3$,年降水量递减率为 -1.1852 mm/a 。下降的幅度高于甘肃年降水量递减率(-0.57 mm/a)和全国年降水量递减率(-0.29 mm/a)。1973~2010年甘南年降水量长期演

变趋势来看,甘南20世纪70年代、80年代年降水量呈增加趋势,90年代年降水量开始下降,2002年达到最低,为有气象记录以来降水量最少(439.4 mm)的年份,比多年平均值 539.3 mm 少 100 mm ;2003年猛增到 657.8 mm 。2000~2005年降水上下波动的幅度大,2005年以后连续5a持续下降。

甘南各站年降水量虽然变化趋势一致,但变化幅度不同,且自西北向东南递减的幅度越来越大,迭部减少最明显,平均每10a减少 28.4 mm (图1)。从迭部降水量年代际变化趋势来看(图略),1970~1980年代末降水量明显偏多,最多出现在1984年,年降水量比历史同期增加超过 188 mm ,1990年代以来明显下降,1999年、2002年、2004年和2009年比历年同期减少超过 100 mm ,其中2002年减少了 158 mm 。

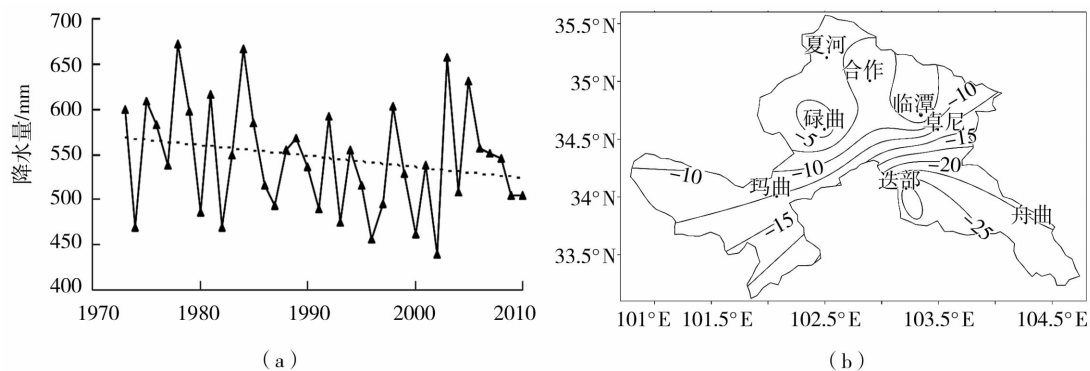


图1 甘南1973~2010年降水量变化(a)和降水量变化率(单位: $\text{mm}/10 \text{ a}$)(b)
(图中虚线为演变趋势)

Fig. 1 The yearly variation of annual precipitation(a) and the spatial distribution of precipitation variability(b) in Gannan from 1973 to 2010
(The dotted line is the evolution trend)

甘南年降水量空间分布自玛曲为最大中心向周围递减,年降水量最少的舟曲站多年平均为 418.5 mm ,降水量最多的玛曲站多年平均为 596.8 mm ,降水分布不均匀(图2)。1970年代各站降水量均呈增加趋势,降水量迭部站增加的幅度最大,达 60 mm ;1980年代甘南各站降水量仍呈明显增加趋势,降水量舟曲站增加的幅度最大,达 39 mm ;1990年代除甘南北部夏河站降水增加外,甘南各站降水量呈明显减少趋势,减少幅度最大的站是碌曲站,达 49 mm ,本世纪初10a各站年降水量趋势变化不一

致,分布不均匀,甘南东南部降水量迭部站和舟曲站均呈减少趋势,而甘南北部的夏河站自1970年代至本世纪初的10a降水均呈增加趋势,增加幅度不大,介于 $3 \sim 8 \text{ mm}$ 之间。

以甘南年降水量 $>$ 多年平均值 540 mm 为界限(图2),1970年代年降水量 $> 540 \text{ mm}$ 的面积占甘南总面积的 67% ,1980年代占 67% ,1990年代占 52% ,21世纪初的10a占 67% 以上。年降水量减少的面积南移,1990年代南移 5693 km^2 ,干旱加剧,干旱化趋势明显。

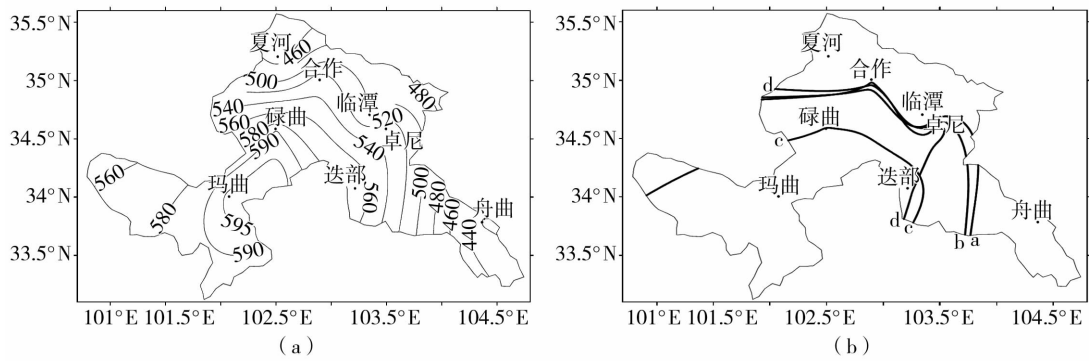


图2 甘南 1973 ~ 2010 年降水量分布(单位:mm)(a)和各年代年降水量 540 mm 等值线位置变化(b)
(图 b 中 a 为 1973 ~ 1980 年, b 为 1981 ~ 1990 年, c 为 1991 ~ 2000 年, d 为 2001 ~ 2010 年)

Fig. 2 The spatial distribution of annual precipitation from 1973 to 2010 in Gannan(a) and the location variation of 540 mm rainfall contour in each decade(b)

2.1.2 气温变化

甘南 1973 ~ 2010 年年平均气温呈上升趋势(图 3),一元回归线性拟合方程为: $y = 0.0455x - 85.622, r = 0.823$,通过 $\alpha = 0.001$ 检验。甘南年平均气温的年代际变化显示,1970 ~ 1980 年代中期甘南年平均气温偏低,1980 年代中期至 1990 年代中期年平均气温在平均线附近波动,1998 年开始明显上升,升高幅度超过 1 °C,此后的 13 a 有 9 a 偏高幅度在 0.5 °C 以上,2010 年偏高幅度为 1.2 °C,达到历史最高。近 10 a 年平均

气温比 1970 年代、1980 年代、1990 年代平均气温分别偏高 1.3 °C、1.1 °C 和 0.6 °C。

甘南气温变化的空间分布是甘南西南部增温明显,增温幅度最大的是玛曲站(图 3),年平均气温每 10 a 升高 0.64 °C(图略)。从长期变化看,玛曲站从 1960 年代末到 1990 年代中后期年平均气温处于偏低的态势,1998 年以后持续偏高,偏高幅度均在 0.7 °C 以上,1998 年、2003 年、2006 年、2009 年和 2010 年偏高 1.1 °C 以上,并且 2010 年偏高的幅度达到 1.7 °C,为历史最高。

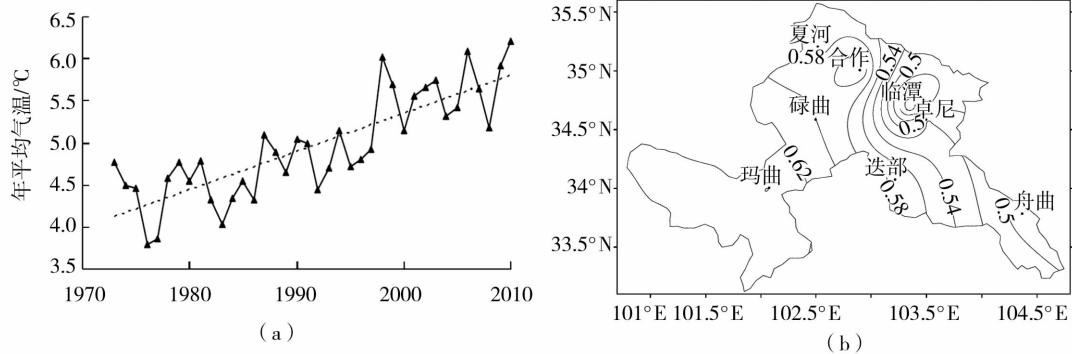


图3 甘南 1973 ~ 2010 年气温变化(a)和变化率(b)(单位:°C/10 a)

Fig. 3 The annual temperature variation(a) and its variability(b) from 1973 to 2010 in Gannan
(The dotted line is the evolution trend)

甘南年平均气温空间分布是自西北向东南递增。玛曲年平均气温最低,为 1.6 °C,舟曲年平均气温最高,为 13.3 °C。1970 年代和 1980 年代年平均

气温在 3 °C 以上的面积占甘南总面积的 39%,1990 年代占 55%,21 世纪初的 10 a 占 74%;年平均气温在 3 °C 以上的面积西伸(图 4),暖干化趋势明显。

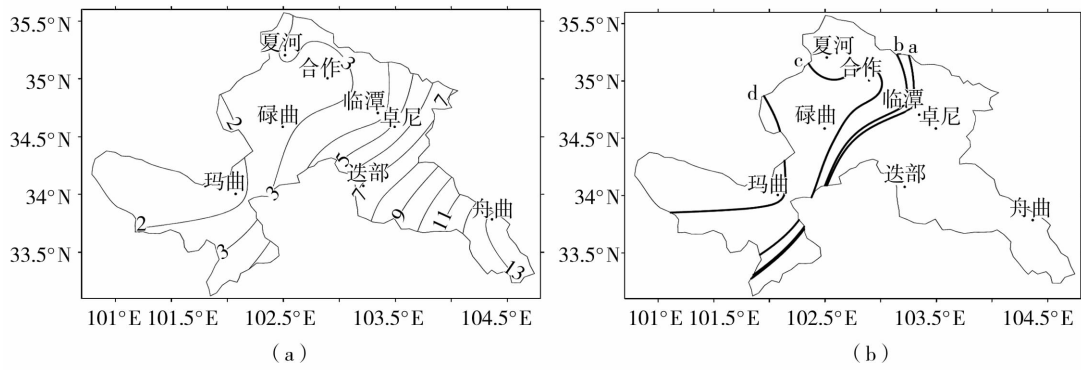


图4 甘南1973~2010年平均气温分布和各年代年平均气温3℃等值线位置变化图
(图b中a为1973~1980年,b为1981~1990年,c为1991~2000年,d为2001~2010年)

Fig. 4 The spatial distribution of annual mean temperature(a) and the location change of 3℃ temperature contour in each decade(b) from 1973 to 2010 in Gannan

2.1.3 蒸发量变化

1973~2010年甘南年蒸发量总体呈增加趋势(图5)。一元回归线性拟合方程为: $y = 2.1337x - 2830, r = 0.344$,通过 $\alpha = 0.05$ 的检验,即年蒸发量以每年2.133 mm的速度增加。从长期变化看,甘南1970年代年蒸发量呈增加趋势,1980年代初年蒸发量开始减少,到1989年减少到历史最低,年蒸发量为1261.4 mm,比多年平均(1416.7 mm)减少了155.3 mm,此后

略有增加,但年蒸发量仍处于偏低的态势;至1990年代中期以后年蒸发量呈阶梯式增加。2002年达到历史最高,年蒸发量为1590.1 mm,比多年平均增加了173.4 mm。

甘南各站年蒸发量虽然变化趋势一致,但变化幅度不同,年蒸发量变化空间差异性十分突出(图5),自北向南年蒸发量逐渐增加。年蒸发量增加最大中心在舟曲,每10 a增加91 mm,次中心在玛曲,每10 a增加了83 mm。

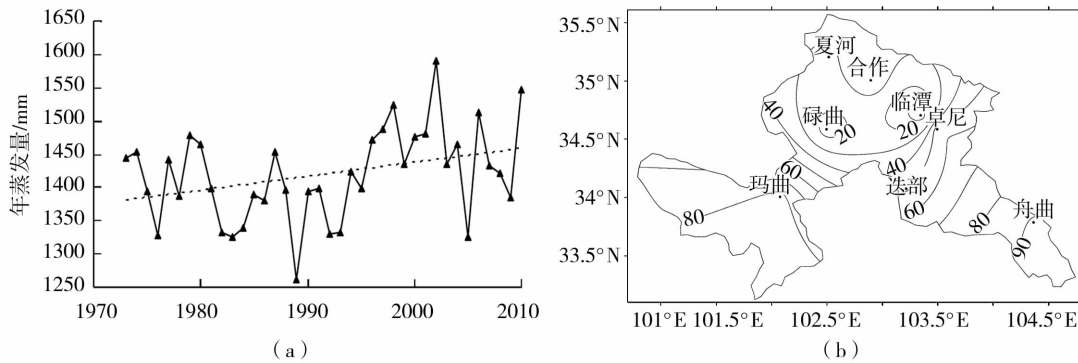


图5 甘南1973~2010年蒸发量变化(a)和变化率(b,单位:mm/10 a)
(图中虚线为演变趋势)

Fig. 5 The variation of annual mean evaporation(a) and its variability(b) from 1973 to 2010 in Gannan
(The dotted line is the evolution trend)

甘南年蒸发量的空间分布自西北向东南逐渐增加。年蒸发量最少的碌曲站多年平均为1213.3 mm,最多的舟曲站多年平均为2018.8 mm(图6)。1970年代甘南西南部的玛曲、中部临潭和迭部站年蒸发量增加,北部和东南部减少;1980年代甘南年蒸发量均减少,以南部的玛曲和舟曲减少的幅度最

大,一般在80~90 mm;1990年代卓尼和碌曲一线以北年蒸发量增加,以南年蒸发量减少,增加的幅度一般在50 mm,并且增加的幅度大于减少的幅度。21世纪初的10 a除碌曲和临潭年蒸发量变化不明显外,甘南各地年蒸发量增加明显,并且舟曲增加的幅度最大,达120 mm,玛曲次之,年蒸发量增加了

78 mm。

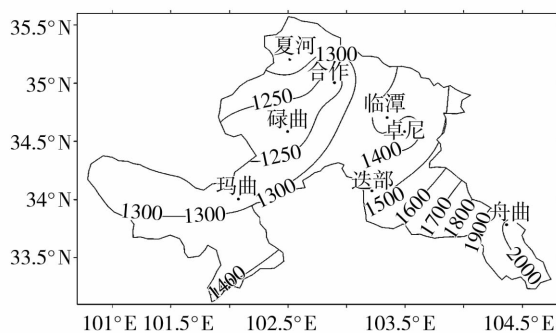


图6 甘南1973~2010年蒸发量分布图(单位:mm)

Fig. 6 The spatial distribution of annual evaporation in Gannan from 1973 to 2010

选择年蒸发量 $> 1\ 250\ \text{mm}$ 为界限,1970年代 $> 1\ 250\ \text{mm}$ 的区域年蒸发量的面积占甘南总面积的66%,1980年代占55%,1990年代占74%,21世纪初的10 a占81%以上。年蒸发量增加的面积西伸,地面的蒸发力很强,干旱加剧。

2.2 气候变化对水资源的影响

2.2.1 气候变化对草地涵养水源的影响

玛曲草原是黄河径流的主要汇集区,为黄河提供了45%的水量,称为黄河天然的“蓄水池”,对黄河水源具有特殊的调节作用,在丰水期大量存蓄黄河及支流的河水、降雨等,而在枯水期随着河面的下降将存蓄的水资源补给黄河,具有特殊的生态功能。生态环境的恶化致使草地涵养水源功能大为降低。从1980年代起,黄河玛曲段的年平均产流量迅速减少,年产流量在1980~2004年间呈显著的下降趋势^[20],下降速率为 $1.2\ \text{亿}\ \text{m}^3/\text{a}$ 。1980年代,黄河玛曲段的年平均产流量为 $38.5\ \text{亿}\ \text{m}^3$,1990年代减少为 $25.4\ \text{亿}\ \text{m}^3$,减少了34%,而21世纪初5 a,年平均产流量为 $13.8\ \text{亿}\ \text{m}^3$,较1980年代减少了64.2%,黄河蓄水池的作用明显下降。玛曲年径流量也反映了同样的趋势,在1959~2004年之间,年平均下降速率为 $0.7\ \text{亿}\ \text{m}^3$,其中1980年代平均年径流为 $168\ \text{亿}\ \text{m}^3$,1990年代仅为 $127\ \text{亿}\ \text{m}^3$,而2002年更是达到历史最低点 $72\ \text{亿}\ \text{m}^3$ 。黄河“蓄水池”的作用大大下降,黄河水量急剧减少,对整个流域的工农业生产造成了巨大的影响。

2.2.2 气候变化对水环境的影响

由于甘南高原草地的严重退化、沙化和盐碱化,以及森林被乱砍滥伐,导致水土流失日益加剧。甘南州的水土流失区主要分布于其东部的舟曲、卓尼、

迭部3县。1980年代初甘南全州水土流失面积为 $8\ 000\ \text{km}^2$ ^[21],1990年代末水土流失面积扩大到 $11\ 805.35\ \text{km}^2$,增加了47.57%。白龙江、洮河、大夏河流量减少了,而含沙量却增加了。据有关资料,白龙江平均流量1980年代末比1960年代初减少了20.6%,而含沙量增加了12倍;洮河平均流量1980年代末比1960年代初减少了14.7%,而含沙量增加了73.3%;大夏河平均流量1980年代末比1960年代初减少了31.6%,而含沙量增加了52.4%。截止1998年底,累计治理的水土流失面积 $1\ 957.7\ \text{km}^2$ ^[22],仅占水土流失面积的16.58%。

3 结论与对策

从甘南气候变化事实来看,甘南高原气温升高,降水量减少,蒸发潜力加大,全区整体暖干化趋势导致水资源日益短缺,地表径流减少、地下水位下降、干旱化急剧发展、植被破坏、草场严重退化及水土流失日趋严重,水环境面临严峻挑战,生态环境的恶化致使草地植被涵养水源功能大为降低。

基于《气候变化国家评估报告》^[23]和IPCC第4次评估综合报告^[24]中的17个模式的预估结果:预计到2020年,甘南气温均有所升高,降水呈现出一致的增加趋势。

根据以上结论,提出以下对策建议:

(1)甘南高原的植被资源是甘南州畜牧业发展和数十万牧民群众赖以生存的物质基础,是黄河、长江上游的重要水源涵养区和防止黄河、长江上游水土流失,保护生态环境的天然屏障;草地资源是保护生态平衡的不可替代的生态屏障。严格以草定畜,控制载畜量,以建设草地生态农业为根本宗旨,建立草地生态系统与畜牧业发展之间的动态平衡,实现草地生态系统的良性循环;通过草地水土保持防治工程、水源涵养草地工程、退化草场治理工程、沙化草场治理工程、草地鼠虫害控制工程、草地围栏封育工程等生态工程,全面实施“三化”草场综合治理生态建设工程,遏制住草地生态环境持续恶化的趋势,并逐步恢复草地生态系统的良性循环;

(2)加强甘南高原人工增雨工作。针对甘南整体暖干化的趋势,人工增雨是比较有效的缓解办法。高寒阴湿的玛曲空中水资源非常丰富,在玛曲及甘南草原区科学地开展规模化的人工增雨作业,增加地表降水,从而改变生态环境;

(3)开展气候变化专项研究。甘南气候变化问

题需要百年以上时间尺度来深入分析研究,而目前给出的许多事实所用的观测资料时间较短;对玛曲草原的生态变化情况基本上仍然是宏观和感性的认识,生态观测资料非常缺乏,难以评估整个草原生态和水资源变化的实际时空分布。因此,亟须加强生态变化和水资源变化的监测工作,建立玛曲草原生态变化监测体系,加深气候变化以及人类活动对水资源影响机理的认识,弄清楚哪些变化是自然波动作用,哪些变化是由全球变暖的影响造成的。从而为治理玛曲生态提供科学依据。

参考文献:

- [1] 张志强,孙成权,吴新年,等.论甘南高原生态建设与可持续发展战略[J].草业科学,2000,17(5):59-64.
- [2] 秦大河.中国西部环境演变评估[M].北京:科学出版社,2002.
- [3] 王根绪,沈永平,程国栋.黄河源区生态环境变化与成因分析[J].冰川冻土,2000,22(3):200-205.
- [4] 甘南州计划委员会.甘南藏族自治州国土总体规划[Z].1996.
- [5] 甘肃省综合自然区划[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1998.
- [6] 王根绪,李琪,程国栋,等.40 a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J].冰川冻土,2001,23(4):346-352.
- [7] 张龙生,马立鹏.黄河上游玛曲县土地沙漠化研究[J].中国沙漠,2001,21(1):84-87.
- [8] 吴发启.中国西部生态环境[J].中国水土保持,2000,7(1):2-6.
- [9] 巩杰,黄高玉.西部大开发中甘肃省生态环境建设与保护对策[J].水土保持通报,2001,21(4):75-78.
- [10] 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,2001.77-154.
- [11] 张强,胡隐樵,曹晓彦,等.论西北干旱气候的若干问题[J].中国沙漠,2000,20(4):357-361.
- [12] 秦大河,王绍武,董光荣.中国西部环境演变评估(第一卷)[A].中国西部环境特征及其演变[M].北京:科学出版社,2002.71-145.
- [13] 秦大河,王苏民.中国西部环境演变评估(第三卷)[A].环境演变对中国西部发展的影响及对策[M].北京:科学出版社,2002.15-17.
- [14] 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.
- [15] 张胜利,李靖.中国西北地区农业水土环境问题及对策[J].水土保持学报,2002,16(4):78-81.
- [16] 董安祥,白虎志,雷小斌.中国西北地区干旱气候学的新进展及其主要科学问题[J].干旱气象,2006,24(4):57-62.
- [17] 罗哲贤.西北干旱研究的若干问题[J].干旱气象,2003,21(4):55-58.
- [18] 杨绚,李栋梁.中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J].干旱气象,2008,26(2):17-24.
- [19] 张强,张存杰,白虎志,等.西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响—总体暖干化,局部出现暖湿迹象[J].干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [20] 王素萍,宋连春,韩永翔,等.玛曲气候变化对生态环境的影响[J].冰川冻土,2006,28(4):556-561.
- [21] 丹正嘉.关于加强甘南草地生态建设的几点思考[N].甘南报,1999-05-22(1).
- [22] 杨镇海.回顾过去成就辉煌,展望未来充满希望[J].甘南调研与决策,1999,(2):39-42.
- [23] 气候变化国家评估报告编写委员会.第二次气候变化国家评估报告[M].北京:科学出版社,2011.45-49,162-165.
- [24] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.

Climate Change and Its Influence on Water Resources in Gannan Plateau

YANG Fan¹, ZHAO Qingyun², ZHANG Wu³

(1. College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China; 3. Key Laboratory of Semi-arid Climate Changes of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the monthly average temperature, monthly precipitation, monthly evaporation and the hydrological data from 8 weather stations in southeast Gansu, the historical evolution of climate change and its impact on water resources were analyzed. The results showed that the annual precipitation in the area presented a decreasing trend with the rate of 11.9 mm/10 a during the period of 1973-2010, and the annual average temperature increased with the rate of 0.46 °C/10 a, and the annual evaporation increased with the rate of 21.3 mm/10 a, which were more severe in recent 10 years. The contour of 450 mm annual precipitation moved towards south, and both the contour of 3 °C annual average temperature and the contour of 1 250 mm annual evaporation moved towards west. The water resource reduced sharply because of warming and drying in Gannan, the water level in the lake declined. The dry grassland area increased and the grassland function of keeping waterhead declined greatly. The surface runoff decreased rapidly, the "reservoir" effect of the Huanghe River decreased obviously. So in order to deal with the challenge of the climatic change, the vulnerability of water resources and the arid meteorological disaster should be evaluated correctly, and some scientific countermeasures for drought should be proposed.

Key words: climatic change; water resources; countermeasure; Gannan plateau