

黄河上游水源补给区气候变化及对水资源的影响

李国军, 李晓媛, 王振国, 张胜智

(甘南藏族自治州气象局, 甘肃 合作 747000)

摘要:应用黄河上游重要水源补给区玛曲县气温、降水资料分析得出:气温年际变化呈上升趋势,降水量年际变化呈下降趋势。气候变化导致可能蒸发量增加,可利用水资源量减少。水资源量多项式拟合变化趋势呈2谷1峰波动型,枯水期年际变化的时间尺度成倍延长。

关键词:玛曲;气候变化;可利用水资源量;水源补给区

中图分类号:P467

文献标识码:A

引言

玛曲县位于青藏高原东部边缘,站点海拔高度3 471.4 m,地理坐标34°00'N,102°05'E,属大陆性寒冷湿润气候。黄河自玛曲县西南进入甘南,流向东南经西北出境,形成黄河首曲,独特的地理环境孕育了大面积的草地和湿地生态系统,是黄河上游重要的生态屏障和水源补给区^[1-3]。玛曲黄河干流在甘南境内流程433 km,流域面积 $1.02 \times 10^4 \text{ km}^2$,入境径流量 $38.91 \times 10^8 \text{ m}^3$,出境流量 $147 \times 10^8 \text{ m}^3$,黄河的水量在玛曲段的径流量增加 $108.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,占黄河源区总径流量 $184.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的58.7%^[2],甘南境内补给黄河的水量达45%^[1]。玛曲县气候的变化呈现出气温升高,降水量减少的特点^[1,4-5],特别是20世纪80年代以来,表现出十分显著的气候暖干化趋势^[6];玛曲县气候变化导致蒸发量增加^[1,4,5-6],冻土变浅^[4],甘南境内补给黄河的水量减少了15%左右^[2],年产流量急剧减少^[4],黄河下游断流^[1-2],水资源锐减^[5],引起生态恶化^[2,4-5]。本文从不同角度分析了玛曲县气候变化对水资源的影响,进一步说明年产流量急剧减少及水资源锐减,与气候变化导致的可利用水资源量的急剧减少,枯水期年际变化的时间尺度成倍延长有关。

1 资料和方法

1.1 资料

选取1967年1月至2005年12月玛曲站平均气温,平均最高、最低气温,降水量资料,1996年4月至2000年9月、2001年4~11月、2002年3~11月、2003年2月至2005年11月玛曲站土壤含水量资料。季节划分:冷季为牧草枯黄期1~3月、10~12月,暖季为牧草生长期4~9月,以下均同此。

1.2 方法

(1) 气候倾向率^[4]

用一次线性方程可以定量描述气候倾向率,即用 $y(t) = a_0 + a_1 t$, $dy(t)/dt = a_1$ 为趋势变化率方程, $a_1 \cdot 10$ 为气候倾向率,单位为 $^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 或 $\text{mm}/10 \text{ a}$ 。方程中的系数用最小二乘法确定。

(2) 时间序列方差周期分析^[7]

此方法对气象要素年代际的分析与多项式拟合分析有较好的一致性。

(3) 高桥浩一郎陆面蒸发经验公式^[8]

$$E = \frac{3100P}{3100 + 1.8P^2 \exp\left(-\frac{34.4T}{235 + T}\right)}$$

式中, E 、 P 、 T 分别为月地面蒸发量(mm)、月降水量(mm)和月平均气温($^\circ\text{C}$)。

收稿日期:2007-01-15;改回日期:2007-05-14

作者简介:李国军(1964-),男,甘肃灵台人,工程师,主要从事短期天气预报与研究。E-mail:ligj378@yahoo.com.cn

(4)其它方法有滑动 t 检验^[9],气温绝对变率、降水变化熵^[10]等统计方法。

2 气候变化特征

2.1 气温变化特征(图1)

玛曲县历年平均气温 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,历年平均最高气温 $8.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,历年平均最低气温 $-4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;极端最高气温 $30.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,出现在2000年,极端最低气温 $-29.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,出现在1971年。历年冷季平均气温 $-4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,与历年平均最低气温相当;历年暖季平均气温 $7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,比历年平均最高气温偏低 $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年平均气温、暖季和冷季平均气温年际变化呈上升趋势,气候倾向率分别为 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,增温趋势显著,冷季增温趋势高于暖季。方差分析,年平均气温有16a年代际变化周期,方差比通过信度 $\alpha=0.05$ 的 F 检验。1967~1983年平均气温 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,比历年平均气温偏低 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,为偏冷期。1984~2000年平均气温 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,比历年平均气温偏高 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,为缓升期,比偏冷期平均气温偏高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。2001~2005年平均气温 $2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,比历年平均气温偏高 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,为偏暖期,比缓升期平均气温偏高 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,比偏冷期平均气温偏高 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。滑动 t 检验分析,1997年为突变年,1997~1998年气温突升 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,1997年以后气温显著升高,与文献[11]对整个甘南地区突变时间分析结果相比出现滞后,说明高海拔寒冷阴湿区具有延迟气候突变能力的特征。

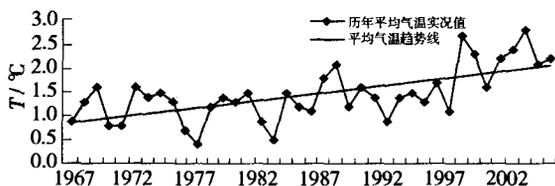


图1 1967~2005年玛曲县平均气温变化趋势

Fig.1 The average annual temperature trend of Maqu County from 1967 to 2005

2.2 降水变化特征(图2)

玛曲县历年平均降水量 599.3 mm ,年最大降水量 809.7 mm ,出现在1981年,年最少降水量 448.4 mm ,出现在1996年。历年冷季平均降水量 75.2 mm ,占全年降水量的 12.5% ,历年暖季平均降水量 524.1 mm ,占全年降水量的 87.5% 。年降水量、暖季和冷季降水量年际变化呈下降趋势,气候倾向率

分别为 $-6.95\text{ mm}/10\text{ a}$, $-6.62\text{ mm}/10\text{ a}$, $-0.33\text{ mm}/10\text{ a}$,年与暖季降水量下降趋势明显,冷季下降趋势弱。方差分析,年降水量有8a的年代际变化周期,11a和14a的年代际变化周期,方差比均通过信度 $\alpha=0.10$ 的 F 检验。1967~1981年,1989~2003年2个时期降水量峰值相差14a,在2个14a之间,1981~1989年2个降水量峰值相差8a。从拟合率分析降水量11a的年代际变化周期为主序列周期。从图2趋势变化可以看出,1967~1978年为正距平波动期,平均降水量 606.3 mm ,比历年平均值多 7 mm ,1967~1971年呈下降趋势,1972~1978年呈上升趋势,降水量变幅较大。1979~1990年为正距平缓降期,平均降水量 609.3 mm ,比历年平均值多 10 mm ,趋势缓慢下降。1991~2002年为负距平稳定期,平均降水量 566.6 mm ,比历年平均值少 32.7 mm ,趋势平稳,2003~2005年为正距平缓升期,平均降水量 662.7 mm ,比历年平均值多 63.4 mm ,趋势缓慢上升。滑动 t 检验分析,1968年为突变年。降水量距平分析, $>100\text{ mm}$ 正距平出现在1967年、1978年、1979年、1981年, $<100\text{ mm}$ 负距平出现在1990年、1993年、1996年。

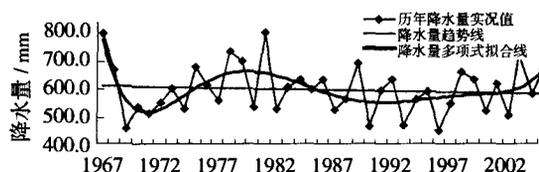


图2 1967~2005年玛曲县降水量变化趋势

Fig.2 The annual rainfall trend of Maqu County from 1967 to 2005

2.3 气温、降水的变率

从图3可看出,整个冷季平均气温绝对变率都比较偏大,冷季1月、2月平均气温绝对变率为次大

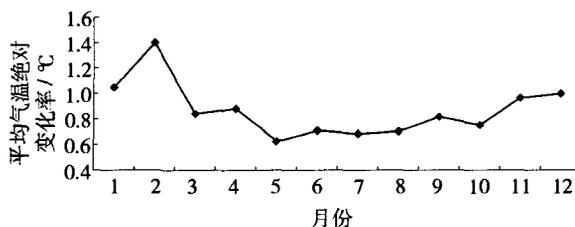


图3 玛曲县历年各月平均气温绝对变化率(1967~2005)

Fig.3 The monthly average temperature absolute variational rate of Maqu County during 1967-2005

和最大。暖季平均气温绝对变率基本处于平稳状态,暖季4月、9月平均气温绝对变率相对偏大。2~3月平均气温绝对变率以最大变化值下降。

从图4可看出整个冷季降水变化熵偏大,使降水偏多或偏少发生的几率变大,12月、1月为最大和次大。暖季降水变化熵小,降水变率也小,基本处于稳定状态。暖季4月降水变率相对偏大。9~12月降水变化熵以较大的变化值连续直线上升,2~3月降水变化熵以最大的变化值下降。

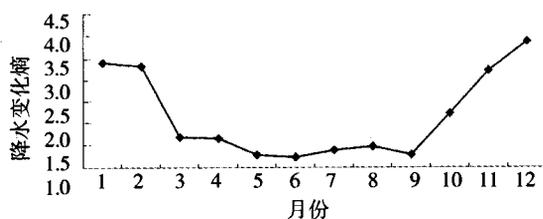


图4 玛曲县历年各月平均降水变化熵(1967~2005)

Fig. 4 The monthly average rainfall variational entropy of Maqu County during 1967 - 2005

冷季气温绝对变率和降水变化熵大,会导致季节气候极端变化,2~3月季节气候极端变化特征明显。暖季气温绝对变率和降水变化熵小,季节气候变化平缓,暖季4月季节气候的过渡特征明显。

3 水资源特征

降水量与可能蒸发量之差称为可利用降水,可以将其作为衡量水资源丰枯的指标,水资源量可定

义为 $F = P - E$, 式中 $F(\text{mm})$ 为水资源量, $P(\text{mm})$ 为降水量, $E(\text{mm})$ 为可能蒸发量(由高桥浩一郎陆面蒸发经验公式求取)。计算出历年1~12月各月的水资源量,将各月相加即得年总水资源量^[8]。高桥浩一郎经验公式与桑斯韦特经验公式计算比较,结果表明,暖季的可能蒸发量平均偏差为2.9 mm,冷季桑斯韦特经验公式不适用^[12],高桥浩一郎经验公式计算较好。由于可能蒸发量用经验公式求取,与实际有偏差,可认为是系统偏差,对水资源量的距平值和多年趋势变化分析影响不大。

3.1 水资源量变化特征

玛曲县历年平均水资源量352.9 mm,年最大水资源量565.8 mm,出现在1967年,1981年为次大,年最少水资源量203.3 mm,出现在1990年,1996年为次少。历年冷季平均水资源量27.2 mm,占全年水资源量的8%,历年暖季平均水资源量325.7 mm,占全年水资源量的92%。年水资源量,暖季和冷季水资源量年际变化呈下降趋势,气候倾向率分别为-12.2 mm/10 a, -10.88 mm/10 a, -1.33 mm/10 a,年与暖季的下降趋势明显,冷季下降趋势弱。从图5的多项式拟合变化趋势线看出,1967年、1968年为丰水年,1969~1976年为枯水期,1977~1986年为丰水期,1987~2000年为枯水期,2001~2005年增幅不大,可为正常期。水资源量多项式拟合变化趋势呈2谷1峰波动型,与可能蒸发量的多项式拟合变化趋势(图略)成反位相对应,枯水期年际变化时间尺度几乎成倍延长。

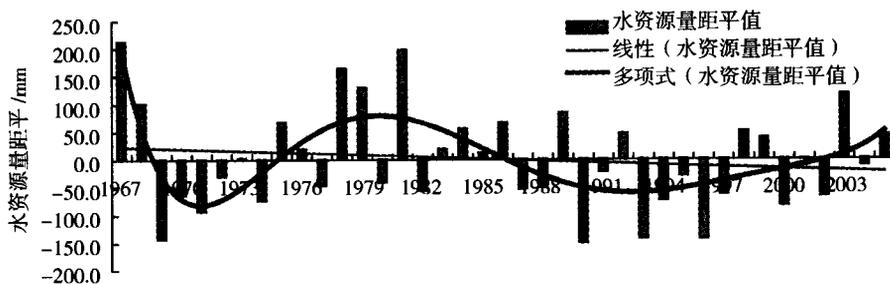


图5 1967~2005年玛曲县水资源量距平及年际变化趋势

Fig. 5 The water resource capacity anomaly and the annual trend of Maqu County during 1967 - 2005

图 6 给出玛曲县 1~12 月的多年平均水资源量

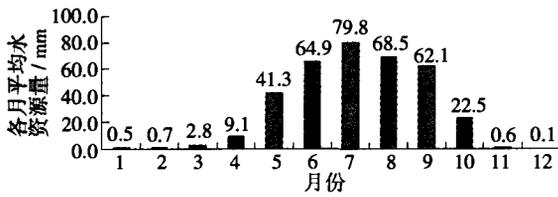


图 6 玛曲县历年各月平均水资源量(1967~2005)

Fig. 6 The monthly average water resource capacity of Maqu County during 1967~2005

表 1 玛曲县 1996~2005 年 2~11 月不同土层土壤水分平均贮存量(单位:mm)

Tab. 1 The average soil moisture content of Maqu County from February to November (1996 - 2005) in different layer

	土层平均含水量										
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
0~10 cm	25.3	29.5	23.0	25.4	28.3	28.1	28.7	29.5	29.4	30.2	
10~20 cm	32.7	30.8	25.0	25.4	27.6	28.4	28.7	29.5	29.6	29.2	
20~30 cm	34.7	37.0	28.9	29.2	30.1	31.8	32.1	33.4	33.4	33.4	
30~40 cm	39.3	38.3	33.3	33.4	33.2	35.3	35.8	36.8	38.8	36.6	
40~50 cm	35.7	35.8	31.9	30.9	31.8	32.6	33.5	34.2	35.4	34.0	

4 小 结

(1)从线性气候倾向率分析,气温升高,可能蒸发量增加,两者有较好的一致性;从波动趋势分析,可能蒸发量有 2 a、4 a、6 a 的年际变化周期(方差比均通过信度 $\alpha = 0.05$ 的 F 检验),而平均气温的年际变化周期长,两者最大峰值的年际变化没有相互对应,与可能蒸发量的变化较复杂有关。

(2)从线性气候倾向率分析,降水量减少,水资源量下降,两者的变化一致,但水资源量的下降趋势是降水量减少趋势的 1.5 倍以上;同时两者相关系数为 0.98,水资源量明显受到降水量变化的影响。从波动趋势分析,两者最大峰值的年际变化没有相互对应,与温度的影响有关。

(3)冷季气温绝对变率和降水变化熵大,水资源量小;暖季气温绝对变率和降水变化熵小,水资源量大。4 月气候的过渡特征比 10 月的变化明显,水资源量比 10 月小。

(4)暖季降水量比冷季大 7 倍,土壤水分总贮存量暖季比冷季偏低,说明牧草生长期耗水量大。

情况。可以看出,7 月水资源量最多,8 月、6 月、9 月、5 月依次较多,4 月、10 月较少,11~3 月最少。

从表 1 看出,各月同一土层土壤水分贮存量相差较小,各月 30~40 cm 土层土壤水分贮存量最大;30~40 cm 土层是降水渗透量和土壤水分总贮存量的最大层,40~50 cm 土层是次大层。暖季降水量比冷季大 7 倍,同一土层土壤水分总贮存量暖季比冷季偏低,说明牧草生长期耗水量大;仲春 4 月是牧草返青期,土壤水分总贮存量最低,易发生春旱。

参考文献:

- [1] 姚玉璧,尹东,王润元,等.黄河首曲气候变化及其对黄河断流的影响[J].水土保持通报,2006,26(4):2.
- [2] 洛桑·灵智多杰.青藏高原甘南生态经济示范区研究[M].兰州:甘肃科技出版社,2005.1.
- [3] 王静,尉元明,孙旭映.过牧对草地生态系统服务价值的影响[J].自然资源学报,2006,21(1):113.
- [4] 王素平,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):556-558.
- [5] 宋连春,杨兴国,韩永翔,等.甘肃气象灾害与气候变化问题的初步研究[J].干旱气象,2006,24(2):66.
- [6] 吕晓英,吕胜利.甘南州草地畜牧业的可持续发展问题[J].草业科学,2002,19(7):1.
- [7] 黄嘉佑.“气象统计分析与预报方法”[M].北京:气象出版社,2004.19-22.
- [8] 刘德,李永华,向波,等.重庆市主城区近百余年水资源变化及评估[J].热带气象学报,2004,20(6):743-744.
- [9] 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.
- [10] 罗汉民,吴诗敦,谭克光.“气候学”[M].北京:气象出版社,1980.
- [11] 王建兵,王振国,汪治桂.甘南地区近 40 年气温变化特征[J].气象,2007,33(1):114.
- [12] 邓振镛.“干旱地区农业气象研究”[M].北京:气象出版社,1999.230

(下转第 89 页)

ting Uncertainty Forecasts[M]. The National Research Academies Press. 2006. 15 - 38.

[23] Katz Richard W, Murphy Allan H. Forecast Value; Prototype Deci-

sion - making Models. in: Katz Richard W, Murphy Allan H. Economic Value of Weather and Climate Forecasts[M]. Carabridge University Press, 1997. 183 - 215.

Law of Public Needs to Weather Information and Public Weather Services

HAN Jiarui¹, YE Qian¹, TIAN Qing²

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, CMA, Beijing 100081, China;

2. Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on statistical analysis of the data obtained from the activity of "Beijing 2008 Olympic Weather Services Public Survey", it is found that public needs of meteorological information have the following characteristics: 1) The meteorological information mostly needed by the public is that meets their physiological need such as temperature and air pollution index; 2) The information which plays a role in public safety and better welfare is in the second place of the public needs; 3) The information which the public has less interest in has two common characters, i. e. the user groups are very specific and the information is not easily got from most media. The study shows that the public needs to meteorological information can be well explained by the Maslow's Hierarchy of Need Theory, and the Availability Theory in Behavioral Economics must be applied to explain why the public pay less attention to such information as hailstorm and precipitation probability. The results obtained from this study could be used to improve meteorological services.

Key words: weather information; public weather services; public needs; Maslow's Hierarchy of Need Theory; Availability Theory in Behavioral Economics

(上接第 70 页)

Climate Change and Its Impact on Water Resource in Water Replenishment Region in Upper Stream of Yellow River

LI Guojun, LI Xiaoyuan, WANG Zhenguo, ZHANG Shengzhi

(Gannan Meteorological Bureau of Gansu Province, Hezuo 747000, China)

Abstract: By using the data of temperature, rainfall during 1967 - 2005 and soil water content during 1996 - 2005 from Maqu County, which is located in the upper stream of the Yellow River and is an important water replenishment region for the Yellow River, the climate change and its impact on water resource there are analyzed. Results show that the annual trend of temperature is rising but rainfall is declining, and climate change results in the potential evaporation increase and the available water resources decrease. The polynomial fitting curve of water resource presented fluctuation with a two - vale and one - peak, and the time scale of annual change in low water period prolonged doubled.

Key words: Maqu; climate change; available water resource; water replenishment region