

近 40 a 来玛曲草原的气候生态特征

李国军, 张胜智, 汪治桂, 黄莹霞

(甘南藏族自治州气象局, 甘肃 合作 747000)

摘要: 利用趋势分析法、Mann - kendall 非参数趋势检验法和小波分析法对玛曲县气象站近 40 a 的积温、日照时数进行统计分析, 结果表明: 积温年际变化呈增加趋势, 0 积温倾向率为 59.5 /10 a, 极值出现在 16 a 振荡周期的跃变点处; 10 积温倾向率为 33.7 /10 a, 极小值出现在 10 a 振荡周期的跃变点处; 积温初日日期有提前的趋势, 积温终日日期有推迟的趋势; 10 积温强振荡中心对应的周期比 0 多 2 a, 次强振荡中心对应的周期少 5 ~ 6 a, 低频和高频振荡同时趋向增大; 日照时数年际变化呈增加趋势, 倾向率为 40.2 h/10 a, 极小值发生在 16 a 振荡周期跃变点左右。Speaman 秩相关分析, 光、热、水的正匹配特征明显, 其中牧草生长季 5 ~ 9 月水热同步变化, 6 ~ 7 月光水同步变化。牧草生长状况应当从光、热、水三者的匹配关系考虑, 降水正常、气温偏高、日照丰富是最有利于牧草生长的草原气候生态环境。

关键词: 气候生态特征; 光热水匹配; 玛曲草原

中图分类号: P468

文献标识码: A

引言

玛曲县位于甘南州西南部, 东经 100°46' ~ 102°29', 北纬 33°06' ~ 34°33', 地理位置属青藏高原东端, 海拔在 3 300 ~ 4 806 m 之间^[1], 气候高寒阴湿, 属半湿润过渡地带的草原区^[2]。全县土地总面积 960 500 hm², 天然草场面积 859 000 hm², 占土地面积的 89.4%^[2], 天然草场植被覆盖良好, 植物种类丰富, 素有“亚洲第一草场之誉”。玛曲为高原生态草畜旅游产业区, 其特点是海拔高, 年总辐射量较强, 但温度低, 牧草生长期短^[3]。玛曲近 40 a 的气候变化特征表明, 气温在逐渐升高, 倾向率为 0.31 /10 a, 降水量在逐渐减少, 倾向率 - 6.95 mm/10 a, 蒸发量在增加, 可利用水资源量锐减, 倾向率 - 12.2 mm/10 a^[4]。玛曲草原的环境蠕变与人类活动导致的气候暖干化^[5], 草地沙化, 湿地锐减, 产流量下降^[6]有关。研究认为, 玛曲草原牧草生长的热量、光照、水资源以及光热水匹配在环境蠕变作用下均发生了明显的变化, 对牧草生长及产量造成重要影响。由于畜牧业是甘南州的特色产业^[7], 被认为是 21 世纪的朝阳产业, 玛曲县又是甘南州重要的畜牧业生产基地, 因此分析近 40 a 来玛曲草原气候生

态条件的变化十分必要。

1 资料和方法

1.1 资料及处理

选取玛曲气象站 1967 ~ 2005 年 0 和 10 的积温资料, 1967 ~ 2005 年的日照时数、气温和降水量资料, 以及玛曲畜牧局提供的 1985 ~ 2005 年的牧草产量资料。为了分析积温初、终日日期出现提前或推迟的变化趋势, 对积温初、终日日期作了量化处理: 0 的积温初日日期以 3 月 1 日为起点作日数合计, 10 的以 6 月 1 日为起点作日数合计; 0 的积温终日日期以 10 月 1 日为起点作日数合计, 10 的以 7 月 1 日为起点作日数合计。为了统计分析水热匹配与牧草产量的相关性, 取牧草产量 3 000 kg/hm² 以上为 1, 以下为 0 作相关性统计分析。

1.2 研究方法

(1) 趋势分析法: 判别分析资料时间序列中的趋势变化和倾向率。

(2) Mann - kendall 非参数趋势检验法^[8]

对资料序列 $X_t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 先确定所有对偶值 $(x_k, x_j, j > k)$ 中 x_k 与 x_j 的大小关系 (设为 s),

收稿日期: 2007 - 08 - 23; 改回日期: 2007 - 09 - 04

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工作. E - mail: ligj378@yahoo.com.cn

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \text{sgn}(x_j - x_k), \text{sgn}(\cdot) = \begin{cases} 1 & > 0 \\ 0 & = 0 \\ -1 & < 0 \end{cases}$$

在随机状态下,假设:

$$E(s) = 0, \text{var}(s) = n(n-1)(2n+5)/18$$

$$\text{定义统计量 } z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s < 0 \end{cases}$$

若 $|z| < z_{\alpha/2}$, 则认为时间序列没有显著的趋势;
 若 $|z| > z_{\alpha/2}$, 则认为时间序列有显著的趋势存在;
 $z > z_{\alpha/2}$ 时表明时间序列有显著的上升趋势, $z < -z_{\alpha/2}$ 时表明时间序列有显著的下降趋势。信度 $\alpha = 0.05$, $Z_{\alpha/2} = 1.96$; 信度 $\alpha = 0.1$, $Z_{\alpha/2} = 1.28$ 。

(3)小波分析法^[9]

基小波为 Morlet 小波, $\psi(x) = \exp(-\frac{x^2}{2}) \cos 5x$, $T = \frac{2\pi}{5} = 1.26 a$, a 为放缩参数, T 为周期; 小

波系数 $W_f(a, b)$ 的绝对值表示振动强度, 正负号表示振动位相。考虑头部误差, 先将资料序列向前和向后各延拓一个样本长度, 变换后再将前后延拓部分舍弃。

(4) Spearman 秩相关分析法^[10]

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

式中 r 为秩相关系数, d 为各对应项的秩差, n 为样本容量。

取信度 $\alpha = 0.01$, 样本容量 $n = 12$, 则 $k_{0.01} = 0.708$, $|r| > k_{0.01}$ 秩的正负相关显著。

2 结果与分析

2.1 0 积温变化

玛曲近 40 a 来 0 平均积温为 1 464.0, 极大值 1 726.2, 出现在 1998 年; 极小值 1 240.3, 出现在 1976 年。20 世纪 70 年代与 60 年代末期相比积温变化不大, 增加了 1.8; 80 年代比 70 年代积温增加 21.9; 90 年代比 80 年代积温增加 83.2; 21 世纪初比 20 世纪 90 年代积温增加 108.5, 增加幅度较大。图 1 看出, 积温年际变化呈上升趋势, 倾向率为 59.5 / 10 a; $Z = 3.871$, 通过信度 $\alpha = 0.05$ 的 Mann-kendall 趋势检验, 上升趋势显著。小波分析 (图 2), $a = 21 (T = 26)$, 在 1973、1987、2000 年处, 0 的积温有强的振荡中心, 位相变化 13 ~ 14 a, 跃变点分别出现在 1980、1994 年。 $a = 13 (T = 16)$, 在 1971、1979、1986、1994、2002 年处, 0 的积温有次强的振荡中心,

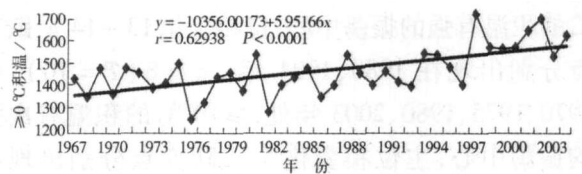


图 1 玛曲 1967 ~ 2005 年 0 积温年际变化趋势
 Fig 1 The annual trend of accumulated temperature (0 °C), of Maqu County during 1967 - 2005

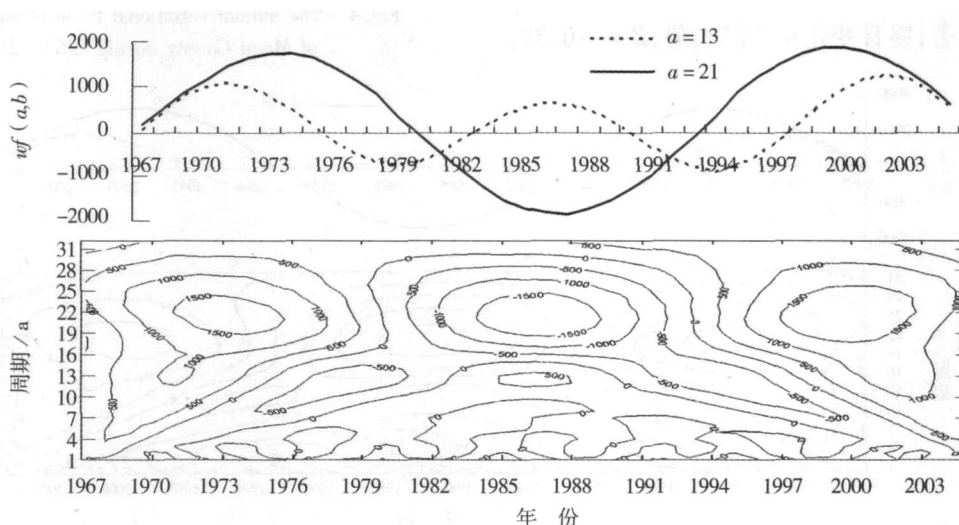


图 2 玛曲 1967 ~ 2005 年 0 积温 Morlet 小波分析
 Fig 2 The Morlet wavelet analysis of accumulated temperature over 0 °C of Maqu County during 1967 - 2005

位相变化 7 ~ 8 a, 跃变点分别出现在 1976、1983、1990、1998年。极值出现年份在其次强振荡中心对应 16 a周期的跃变点处。0 的积温初日变化呈下降趋势, $Z = -0.919$, 没有通过 Mann - kendall趋势检验, 初日日期提前的趋势不明显; 终日变化呈上升趋势, $Z = 2.794$, 通过信度 $= 0.05$ 的 Mann - kendall趋势检验, 终日日期推迟趋势显著。0 的积温初终日数变化呈增加的趋势, $Z = 2.25$, 通过信度 $= 0.05$ 的 Mann - kendall趋势检验, 初终日数增加趋势显著。

2.2 10 积温变化

玛曲近 40 a来 10 平均积温为 311.9 , 极大值 620.3 , 出现在 1970年; 极小值 118.9 , 出现在 1983年。20世纪 70年代比 60年代末期积温偏少 44.5 , 80年代比 70年代积温增加 33.7 , 90年代比 80年代积温增加 28.9 , 21世纪初比 20世纪 90年代积温增加 103.9 , 增加幅度较大。图 3看出, 积温年际变化呈上升趋势, 倾向率为 33.7 /10 a; $Z = 2.38$, 通过信度 $= 0.05$ 的 Mann - kendall趋势检验, 上升趋势显著。小波分析(图略), $a = 22 (T = 28)$, 在 1974、1987、2001年处; 10 的积温有强的振荡中心, 位相变化 13 ~ 14 a, 跃变点分别出现在 1980、1994年。 $a = 8 (T = 10)$, 在 1970、1975、1980、2003年处, 10 的积温有次强的振荡中心, 主位相变化 5 a, 跃变点分别出现在 1968、1973、1978、1983、2001年。极小值出现年份在其次强振荡中心对应 10 a周期的跃变点处。10 的积温初日变化呈下降趋势, $Z = -1.65$, 通过信度 $= 0.05$ 的 Mann - kendall趋势检验, 初日日期提前的趋势显著; 终日变化呈下降趋势, $Z = -0.38$,

没有通过 Mann - kendall趋势检验, 终日日期推迟趋势不明显。10 的积温初终日数变化呈增加的趋势, $Z = 1.899$ 通过信度 $= 0.1$ 的 Mann - kendall趋势检验。

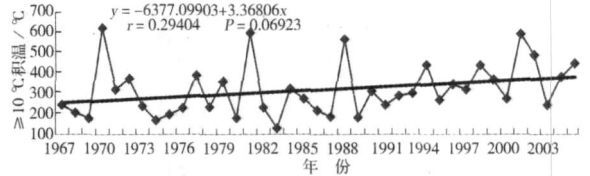


图 3 玛曲 1967 ~ 2005年 10 积温年际变化趋势
Fig 3 The annual variational trend of accumulated temperature over 10 of Maqu County during 1967 - 2005

2.3 日照时数变化

玛曲近 40 a来年平均日照时数为 2594.9 h, 极大值 2881.1 h, 出现在 2002年; 极小值 2278.5 h, 出现在 1989年。20世纪 70年代比 60年代末期日照时数减少 43.4 h, 80年代比 70年代日照时数减少 110.5 h, 减少幅度较大, 90年代比 80年代日照时数增加 236.3 h, 增加幅度较大, 21世纪初比 20世纪 90年代日照时数减少 35.3 h。从图 4看出, 日照时数年际变化呈上升趋势, 倾向率为 40.2 h /10 a; $Z = 1.863$, 通过信度 $= 0.1$ 的 Mann - kendall趋势检验。小波分析(图 5), $a = 21 (T = 26)$, 在 1973、

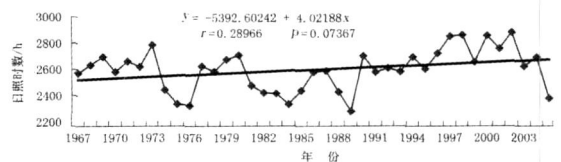


图 4 玛曲 1967 ~ 2005年日照时数年际变化趋势
Fig 4 The annual variational trend of sunlight hours of Maqu County during 1967 - 2005

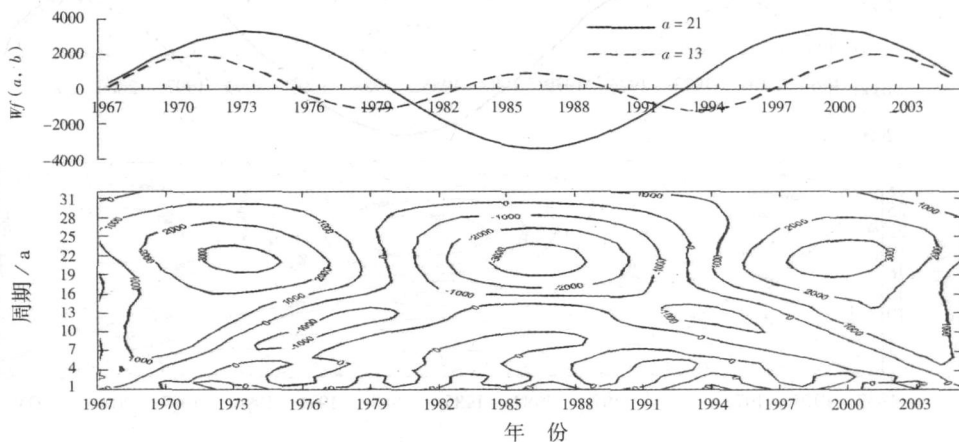


图 5 玛曲 1967 ~ 2005年日照时数 Morlet小波分析
Fig 5 The Morlet wavelet analysis of sunlight hours in Maqu County during 1967 - 2005

1986、1999 年处,年日照时数有强的振荡中心,位相变化 13 a,跃变点分别出现在 1980、1993 年。 $a = 13$ ($T = 16$),在 1971、1979、1986、1994、2002 年处,年日照时数有次强的振荡中心,位相变化 7~8 a,跃变点分别出现在 1976、1983、1990、1998 年。极小值出现在其次强振荡中心对应 16 a 周期跃变点左右。

2.4 光热水匹配与牧草产量

玛曲县是甘南重要的草原生态区,自然植被的生长不仅取决于光、热、水资源的数量,而且与它们的匹配程度关系密切^[11]。从表 1 统计得出:气温与降水秩相关系数 $r = 0.979$,太阳辐射与降水秩相关系数 $r = 0.881$,气温与太阳辐射秩相关系数 $r = 0.888$,都通过相关系数的显著检验,证明光、热、水的正匹配特征明显。其中,牧草生长期^[4]5~9 月水热同步变化,6~7 月光水同步变化。水热变化基本上是同一季节,反映了大陆性季风气候特点。春末夏初 5~6 月太阳辐射量大,气温较高,降水少,土壤含水量较低,易造成干旱^[4],对牧草生长不利;9 月太阳辐射明显减少,降水普遍较多,多连阴雨天气,影响牧草生长。用 t 表示年平均气温距平, R 表示年降水量百分率,依据气候评价标准, $-0.5 < t < 0.5$ 气温正常, $-20\% < R < 20\%$ 降水正常。 $t > 0.5$ 气温偏高, $t < -0.5$ 气温偏低, $R > 20\%$ 降水偏多, $R < -20\%$ 降水偏少。如果把 $t > 0.5$ 或 $t < -0.5$, $R > 20\%$ 或 $R < -20\%$, 两者同时发生为一个年极端气候事件。资料分析出现过 2 a 年极端气候事件,1967 年降水量偏多 34%,

气温偏低 0.6; 2003 年降水量偏多 22%, 气温偏高 1.3, 年极端气候事件为 30 多 a 一遇。

为了定量描述水热匹配与牧草产量的关系,根据前面所述的资料统计方法,把牧草产量与 t 和 R 值作了一下比较,发现牧草产量 3 000 kg/lm² 以上与 $-0.5 < t < 0.5$, $-20\% < R < 20\%$ 和 $-20\% < R < 20\%$, $t > 0.5$ 有较好对应关系,相关系数为 0.645,牧草高产年有降水正常、气温偏高的特点。2 个特殊年份分析:2003 年为极端气候事件年, $R > 20\%$, $t > 0.5$, 水热高能量值匹配,牧草产量并没有提高,为历史次低值,其原因从生态学^[11]原理考虑,各级降水日数增加,云量增加,造成太阳辐射减少,光合作用减弱,同时平均最低气温增高,气温平均日较差减少,不利于有机物质的积累,光水匹配不利。而 1997 年, $-0.5 < t < 0.5$, $-20\% < R < 20\%$, 水热正常量值匹配,气温在这一年发生跃变^[4],气候生态因子变化较大,极端最高气温 23.9, 为历史次高值,出现在 8 月 4 日,日照时数偏多, 0、5 积温值比平均积温值偏低,返青期和青草期的热量不足,热量积累滞后,水热匹配不利,造成牧草产量较低。从生态学^[11]原理分析,牧草生长状况应当从光、热、水三者的匹配关系考虑。降水正常,气温偏高,日照丰富最有利于牧草生长。

表 1 多年各月平均气温、降水量、太阳辐射值^[11]及其秩排序

Tab 1 The monthly average temperature, precipitation, solar radiation and their ranks compositor of Maqu County during 1967 - 2005

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均气温 /	-9.4	-6.7	-2.2	2.2	5.9	8.9	10.9	10.3	6.7	1.9	-4.0	-8.2
秩排序	12	10	8	6	5	3	1	2	4	7	9	11
降水量 /mm	4.0	6.5	14.9	29.0	69.6	102.1	122.0	103.7	92.0	44.9	5.9	1.8
秩排序	11	9	8	7	5	3	1	2	4	6	10	12
太阳辐射 MJ·m ⁻²	324.06	352.95	472.69	541.77	584.90	572.75	596.20	556.84	440.3	398.58	335.78	310.24
秩排序	11	9	6	5	2	3	1	4	7	8	10	12

3 结 论

- (1) 0 积温年际变化呈显著增加趋势,倾向率为 59.5 /10 a,极值出现在 16 a 振荡周期的跃变点处。
- (2) 10 积温年际变化呈显著增加趋势,倾

向率为 33.7 /10 a,极小值出现在 10 a 振荡周期的跃变点处。

- (3) 日照时数年际变化呈增加趋势,倾向率为 40.2 h/10 a,极小值发生在日照时数 16 a 振荡周期跃变点的前一年。

- (4) 0、10 积温、日照时数在 20 世纪

90年代以后有明显增加。

(5)牧草生长状况应当从光、热、水三者的匹配关系考虑。降水正常、气温偏高、日照丰富最有利于牧草生长。

参考文献:

- [1] 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): 1.
- [2] 孙国武,李耀辉. 关于环境蠕变问题的研究 [J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 8 - 9.
- [3] 安华银,姚玉璧,尹东,等. 甘南高原生物气候资源及其农业区划 [J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 67 - 71.
- [4] 李国军,李晓媛,王振国,等. 黄河上游水源补给区气候变化及对水资源的影响 [J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 68 - 69.
- [5] 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.
- [6] 董安祥,白虎志. 2006年度干旱气候变化与减灾学术研讨会技术总结 [J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 90.
- [7] 李巍,师守祥. 甘南生态经济建设支撑体系研究 [J]. 草业科学, 2003, 20(5): 67 - 69.
- [8] 许何也,李小雁,孙永亮. 近 47 a来青海湖流域气候变化分析 [J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 52.
- [9] 吴洪宝,吴蕾. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京:气象出版社, 2005. 218 - 225.
- [10] 李云林. 气象站天气预报 [M]. 河南:人民出版社, 1980. 116 - 117.
- [11] 李博. 生态学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2000. 21 - 31.

Analysis of Climate Environment Characteristic in Recent 40 Years in Maqu Grassland

LI Guojun, ZHANG Shengzhi, WANG Zhigui, HUANG Yingxia

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

Abstract: The variations of the accumulated temperature and the sunlight hours in Maqu grassland in recent 40 years were analyzed by using a non-parameter Mann-Kendall test method and wavelet analysis. The results show that annual variation of accumulated temperature tended to increase, and the tendency rate of 0 accumulated temperature is 59.5 /10 a, and 33.7 /10 a for 10 accumulated temperature. The period corresponding to high oscillation center of 10 accumulated temperature is two years more than that of 0 accumulated temperature; the low and high frequency oscillation tended to increase at the same time. The annual trend of sunlight hours is also increasing, and the tendency rate is 40.2 h/10 a. By Spearman's order correlation analysis, we know that the positive matching characteristic of light, heat and water is remarkable; the synchronous changes presented in May to September for water and heat, and June to July for light and water. The appropriate precipitation, higher air temperature and the adequate sunshine are helpful to pasture's growth of Maqu grassland.

Key words: climate environment; characteristic; matching of light, heat and water; Maqu grassland