影响共和盆地天然草地牧草生育期的气候因子变化特征

郭连云[1],张旭萍[1],丁生祥[2]
(1.青海省海南州气象局,青海 共和 813000;2.青海省同德县气象局,青海 同德 813200)

摘　要:对影响共和盆地天然草地产量的气候因子近47 a来的趋势性、阶段性和周期性进行分析。结果表明:影响天然草地产量的气候因子中,4～9月的平均气温和积温增加趋势显著;4～9月的积温、平均气温和降水量有显著的阶段性;4～9月的积温、降水量、日照时数和上年度秋季降水量都有显著的振荡周期,总日照时数有2～6 a的振荡周期,上年度秋季降水量有1～2 a、5～6 a的振荡周期。

关键词:天然草地;气候因子;气候变化;共和盆地
中图分类号:S162.5+6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-7601(2008)06-0201-06

草地是我国陆地上面积最大的生态系统类型,总面积达3.9×10^8 hm^2,占世界草地面积的13%,占全国国土面积的41%左右,其中可利用面积3.10×10^8 hm^2[1～4]。天然牧草产量形成的高低很大程度上受制于区域气候、土壤和牧草本身机能等因素,人为干扰较轻。但对固定区域来讲,一定时间尺度内其土壤性质、牧草种类组成等变化相对平稳,表现出牧草产量与气候因素有着不可分割的内存联系[5～7]。在共和盆地现有各种土地面积中,主要是草场,耕地仅占极少比例,高寒草地是共和盆地面积最大的土地利用类型。按海南州区划队统计,区内共和、贵南两县的耕地仅占2.7%,草原占76.5%,草地畜牧业是共和盆地的主体经济。但不利的气候条件往往造成天然草地产草量不稳定或降低,将直接影响草地畜牧业的经济效益。目前,全球气候正经历一次以变暖为主要特征的变化过程[8～12],给适应、调整能力差,生产脆弱的典型草原区畜牧业带来的影响有的已经显现出来,有的将会在相当长的一段时间陆续显现[13,14]。鉴于此,本文主要分析在全球气候变化的大背景下影响天然草地产草量的气候因子的变化规律,为减缓和适应气候变化引起的天然草地产量变化提供依据。

1　研究区概况

共和盆地位于青海共和县和贵南县境内,是祁连山与昆仑山的过渡带,位于青藏高原东北部,在青海南山与巴颜喀拉山之间,黄河在其腹部的半圆形流程达400 km,其流域面积占黄河发源区总面积的10.5%。盆地东西长约210 km,南北60 km,总面积13 800 km^2,在气候类型上属于高寒干旱荒漠和半干旱草原过渡区域。共和盆地由于所处经、纬度,海拔高度,以及东南部低洼闭塞和西北部高亢开口的地势,决定了本地区气候总体为高寒干旱、半干旱气候。气温较低,冷热剧变,多年平均气温2.4℃～4.1℃,≥10℃的年活动积温达1 800℃以上;降水少,变率大,降水量一般在314.3～414.8 mm之间,且盆地各处降水不均匀,降水主要集中在5～9月,占年总量的80%以上;由于每年印度低压和海洋季风在本区出现、退出和停留时间不一,降雨的年际变化也较大,最多(619.6 mm)与最少(158.6 mm),变幅相差461 mm;蒸发强烈,年均蒸发量1 378.5～1 692.1 mm;年均风速2.0～2.4 m/s之间,本区多大风,年均大风日数17～38 d,最多可达63 d。平均霜期长达250 d以上,没有绝对无霜期。雨热同季,光照充足,四季气候不明显,冬长夏短。主要气象灾害有低温霜冻、干旱、风沙、冰雹、暴雨和雪灾等。

2　资料与方法

选用共和盆地内共和气象站1961～2006年的月平均气温、月平均最低气温、月降水量、月日照时数等实测资料。对各要素进行标准化处理后分析其变化特征。

(1) 序列的趋势性分析　用10 a滑动平均法分析因子的变化趋势,用斯波曼(spearman)秩相关系

收稿日期:2008-04-15
基金项目:国家"十一五"科技支撑计划项目(2006BAD26B10)
作者简介:郭连云(1969－),男,工程师,从事气象业务管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数[15]进行变化趋势显著性检验。

秩相关系数按下式计算：

$$r = 1 - [6\sum_{i=1}^{n} d_i^2]/[N^3 - N]$$

其中，$d_i = m_i - n_i$，m_i 为时间序列从小到大排列中的序号，n_i 为要素按时间排列时的序号，N 为样本数。显著性检验，计算 T 值：$T = r\left|\frac{N-1}{1-r^2}\right|^{\frac{1}{2}}$

由公式可见，如果 m_i 与 n_i 相近，则 d_i 趋于零，秩相关系数大，趋势显著，可以证明 T 服从自由度为$(N-2)$的 t 分布，采用 t 检验法，在显著水平 a 下检验 $|T| > t_{a./2}$ 是否成立。如果成立，则说明序列存在趋势项，否则不存在趋势成分。

(2) 序列的阶段性分析　先绘制气象要素的距平累积图，按距平累积线上升段与下降段，将时间序列分成不同的时段，进而分成不同的组，用方差分析检验不同组的差异显著性[16]。如果不同组的差异显著，则气候要素有显著的阶段性，否则没有显著的阶段性。如果有显著的阶段性，距平累积线上升段，为气候要素偏多或偏高时段；距平累积线下降段，为气候要素偏少或偏低时段。

(3) 序列的周期性分析　周期性用谐波分析[17]。时间函数 $x(t)$，可以展开成Fourier级数：

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k\cos\frac{2\pi k}{T}t + b_k\sin\frac{2\pi k}{T}t)$$

其中，a_0，a_k，b_k 为Fourier系数。

$$a_0 = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t \quad a_k = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t\cos\frac{2k\pi}{n}(t-1)$$

$$b_k = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t\sin\frac{2k\pi}{n}(t-1)$$

式中，k 为波数，$k = 1,2,\cdots\cdots,[\frac{n}{2}]$，[ ] 表示取整数，波数 k 与周期 T 的对应关系为 $T_k = \frac{n}{k}$。进行 F 检验，计算式为：

$$F_k = \frac{\frac{1}{2}(a_k^2 + b_k^2)/2}{(S^2 - \frac{1}{2}a_k^2 - \frac{1}{2}b_k^2)(n-2-1)}$$

式中，自由度分别为2，$(n-2-1)$，s^2 为原序列的方差。如果 $F_k > F_a$，则认为该波动是显著的，否则波动不显著。** 表示通过0.05水平的显著性检验，* 表示通过0.1水平的显著性检验。

3 气候因子选择

高寒牧区牧草生育期较长，生长期相对较短。牧草从返青到种子成熟，可分为返青、分蘖(旁枝形成)、拔节(抽茎)、抽穗(现蕾)、开花、成熟、枯黄七个时期。牧草返青期主要受温度和水分条件的制约；日平均气温5℃～10℃时为牧草分蘖期；拔节期气温较高，却是牧草需水关键期，如果缺水，生长受到严重抑制；日平均气温在8℃～15℃之间时，牧草开始抽穗；开花期处于全年的相对高温阶段，也是全年雨水最多的时期，牧草营养价值高；8月中下旬牧草进入成熟期；9月上中旬牧草便进入枯黄期。温度、水分和光照等气候因子影响着牧草生育期的始终，也影响着牧草产量和牧草品质的高低。

青海高原天然牧草的产量与当年生育期和上年秋季的降水量呈显著的正相关关系，与上年度草地最大可能蒸散量呈显著的负相关关系[18,19]；而牧草生育期的长短与气温稳定通过0℃的初日和气温稳定通过5℃的终日关系密切[20]。牧草生育期的气温、积温、降水量、日照时数以及上年秋季的降水量显著影响牧草产量，所以，选取4～9月的平均气温、≥0℃的积温、降水量、日照时数和上年度秋季的降水量为牧草生育期及产量影响因子。

4 气候因子的变化特点

4.1 影响牧草生育期的气候因子的变化

4.1.1 4～9月平均温度　1961～2007年4～9月的气温平均值为11.9℃，变异系数为5%，10 a滑动平均结果显示(图1)，先增加后减少然后持续增加的变化趋势，全序列的秩相关系数 $R=0.4789^*$，通过了0.1水平的显著性检验，说明增温趋势比较显著。谐波分析有1波($F=9.4352^{**}$)和2波($F=6.4831^{**}$)的显著振荡，说明其变化具有47 a或47 a以上和23～24 a的振荡周期。依距平累积图可分2个阶段，方差分析 $F=51.073^{**}$，表明4～9月平均气温有显著的阶段性，1961～1990年为温度相对较低的阶段，平均温度为11.5℃，变异系数为4%，1991～2007年为温度相对较高的阶段，平均温度为12.5℃，变异系数为4%，现在正处于温度相对较高的阶段。

4.1.2 4～9月积温　4～9月总积温的多年平均为2 177.6℃·d，变异系数为6%。从10 a滑动平均可以看出(图2)，1961～2007年有先增加较快后增加平缓然后明显增加的趋势，秩相关系数 $R=0.3627^*$，说明共和盆地4～9月的总积温近47 a来增多趋势显著。根据距平累积图，共和盆地4～9月的总积温近47 a可分为2个阶段。方差分析 $F=50.667^{**}$，表明积温变化的阶段性显著，1961～1990年(30 a)平均总积温为2 102.7℃·d，比多年平

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

均值偏少 74.9℃•d,变异系数为 4%;1991～2007 年(17 a)为总积温偏多阶段,总积温平均值为 2 309.8℃•d,较多年平均值偏多132.2℃•d,变异系数为 5%。图 2 显示总积温明显增加是从 1991 年开始的。谐波分析结果显示,有 1 波(F=11.8185**)和 2 波(F=7.2089**)的显著振荡,说明共和盆地 4～9 月的总积温和温度一样具有 47 a 或 47 a 以上和 23～24 a 的振荡周期。

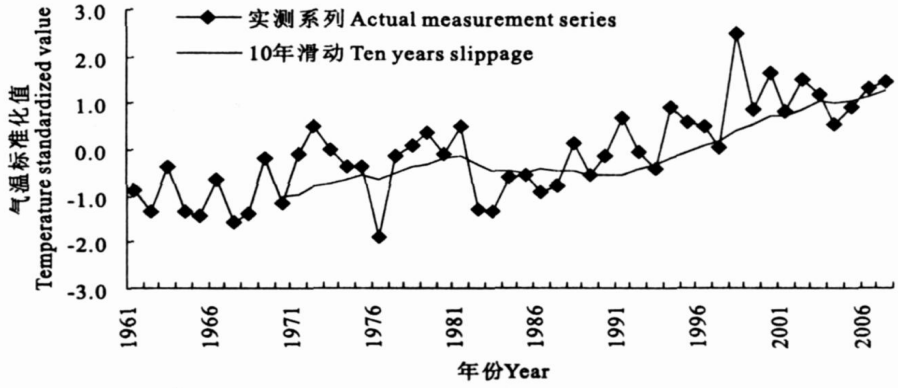

图 1　1961～2007 年 4～9 月平均气温的年际变化

Fig.1　The annual change of average temperature from April to September during 1961～2007

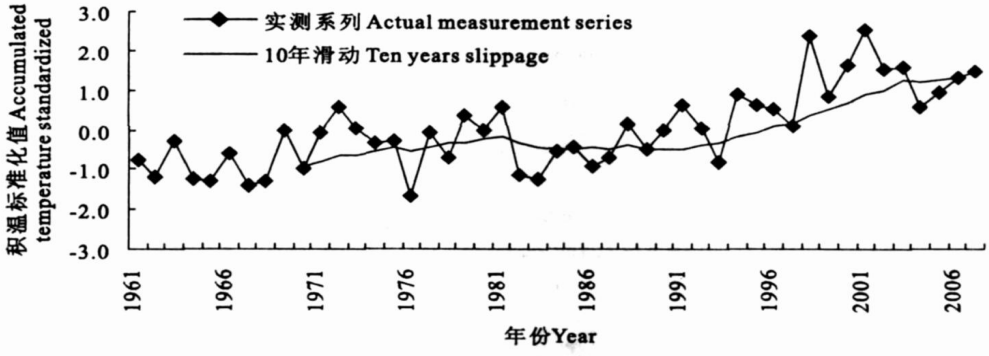

图 2　1961～2007 年 4～9 月积温的年际变化

Fig.2　The annual change of accumulated temperature from April to September during 1961～2007

4.1.3　4～9 月降水量　共和盆地 4～9 月的多年平均降水量为 291.1 mm,占全年降水量的 92.2%。从 10 a 滑动平均可以看出(图 3),1961～2007 年 4～9 月的降水量增减的趋势不明显,总体上呈现略有下降的趋势,秩相关系数 R=0.1256,T=0.8589,表明共和盆地 4～9 月的降水量在近 47 a 来增减的趋势不显著。根据距平累积图,共和 4～9 月的降水量近 47 a 可分为 7 个阶段(见表 1),方差分析 F=1.535*,(α=0.192),表明降水量变化有显著的阶段性,其中 1961～1966 年、1977～1982 年、1994～2000 年为少雨期,持续时间分别是 6 a、6a 和 7 a,降水量比多年平均偏少 8%、11%和 11%;1967～1974 年、1975～1976 年、1983～1993 年和 2001～2007 年为多雨期,持续时间分别是 8、2、11 和 7 a,降水量分别比多年平均值偏多 3%、18%、8%和 5%。谐波分析结果显示,有 11 波(F=5.0630**)的显著振荡,说明其变化具有 4～5 a 的振荡周期。

4.1.4　4～9 月日照时数　4～9 月总日照时数的多年平均为1 495.1 h,变异系数为 5%。从 10 a 滑动平均看(图 4),1961～2007 年有先减少再逐渐增多的趋势,全序列秩相关系数为 0.1247*,说明共和盆地 4～9 月的总日照时数近 47 a 来增多的趋势显著。根据距平累积图,共和盆地 4～9 月的总日照时数近 47 a 可分为 5 个阶段,方差分析 F=0.344,表明日照时数变化的阶段性不显著。1975～1989 年、2005～2007 年比多年平均值偏少 2%和 3%;1961～1967 年、1968～1974 年、1990～2004 年比多年平

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

均值偏多1%。谐波分析显示有13波($F=2.760^*$)、8波($F=2.6738^*$)和15波($F=2.5396^*$)的显著振荡,说明共和盆地4～9月的总日照时数有2～3 a、5～6 a和3～4 a的振荡周期。

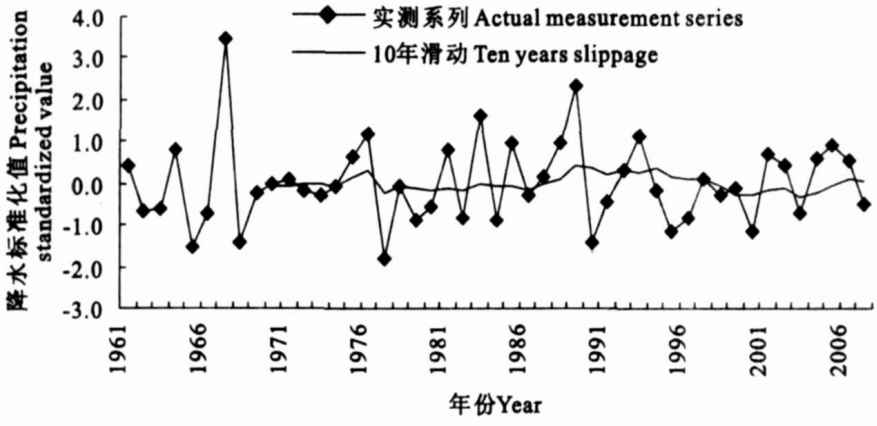

图3 1961～2007年4～9月降水量的年际变化

Fig.3 The annual change of precipitation from April to September duing 1961～2007

表1 4～9月降水量阶段统计值

Table 1 Stage statistics characteristic of precipitation from April to September

项目 Item	1961～2007	1961～1966	1967～1974	1975～1976	1977～1982	1983～1993	1994～2000	2001～2007
年数 Number of years(a)	47	6	8	2	6	11	7	7
平均值 Mean value(mm)	291.1	267.9	300.9	343.9	257.8	314.5	260.5	307.0
变异系数 Coefficient of variation(%)	20	19	28	6	20	21	12	12

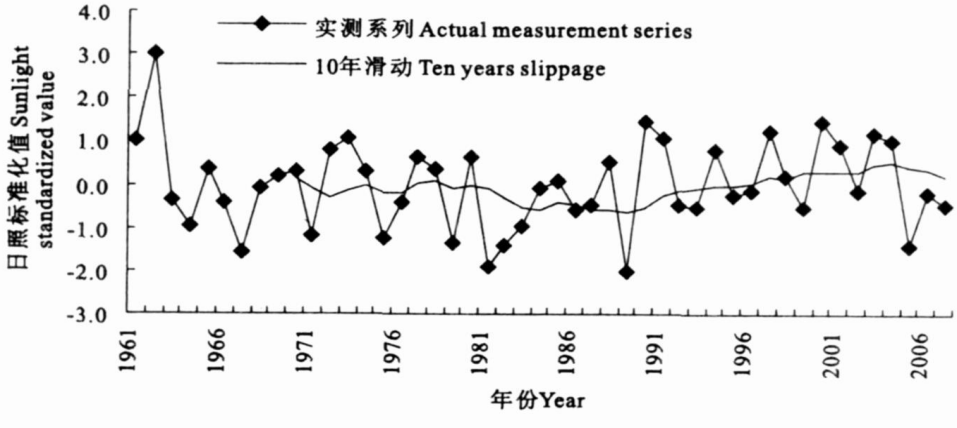

图4 1961～2007年4～9月总日照时数的年际变化

Fig.4 The annual change of total sunshine duration from April to September during 1961～2007

4.1.5 上年度秋季降水量 共和盆地1960～2006年秋季降水量多年值为61.7 mm,占全年降水量的20%。从10 a滑动平均可以看出(图5),1960～2006年秋季降水量呈不明显的下降趋势,秩相关系数为$R=0.054$,$T=0.3668<t_{0.1/2}$,表明共和盆地秋季降水量在近47 a来减少趋势不显著。依距平累积图,共和盆地秋季降水量近47 a可分成5个阶段(见表2),方差分析$F=2.825^*$,表明降水量的变化有显著的阶段性。1968～1974年和1979～1998年为少雨期,降水量比多年平均偏少21%和12%;1960～1967年、1975～1978年和1999～2006年为多雨期,降水量比多年平均值偏多28%、21%和8%。少雨期变异系数比多雨期变异系数大,说明年际变化大。谐波分析表明,有8波($F=2.5193^*$)和23波($F=2.2631^*$)显著振荡,说明有5～6 a、1～2 a的振荡周期。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

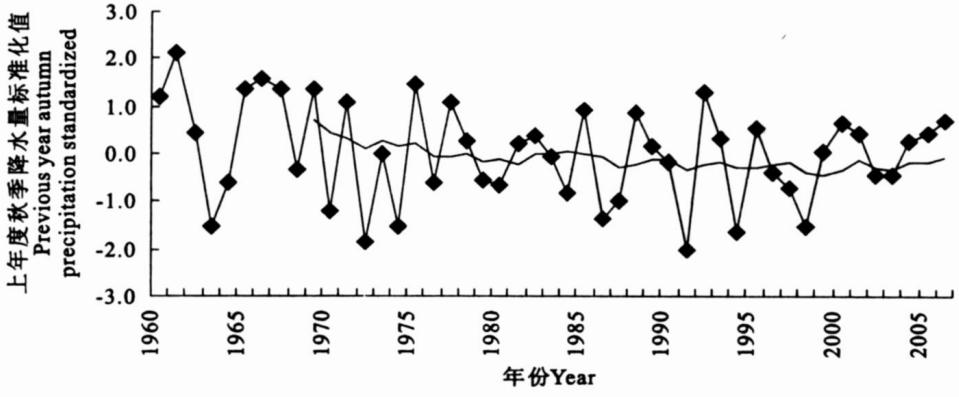

图 5　1960～2006 年秋季降水量的年际变化

Fig.5　The annual change of precipitation in autumn during 1961～2007

表 2　1960～2006 年秋季降水量统计值

Table 2　Statistics of characteristics of precipitation in autumn during 1960～2006

项目 Item	1961～2007	1960～1967	1968～1974	1975～1978	1979～1998	1999～2006
年数 Number of years(a)	47	8	7	4	20	8
平均值 Mean value(mm)	61.7	78.9	49.0	74.6	54.6	66.6
变异系数 Coefficient of variation(%)	38	36	49	29	39	16

5　结　论

1) 共和盆地 4～9 月平均气温与积温近 47 a 来增加的趋势显著,增加的幅度高于青海省和全国,4～9 月的总积温和平均温度有 23～24 a 和 47 a 或 47 a 以上的振荡周期和显著的阶段性。在水分条件不变的情况下,温度的升高有利于天然草地牧草产量的增加。在共和盆地天然草地,年积温和天然草地牧草产量的关联度为 0.9392,说明在该区域水分条件较好的状况下,热量因子就成了牧草生长的主要条件[21,22]。

2) 4～9 月降水量增减的趋势不显著,存在 4～5 a 的振荡周期和显著的阶段性,说明降水偏多或偏少,会持续几年,在温度正常时,共和盆地天然草地产量的高低取决于水分条件,降水量越高,牧草产量越高,反之,降水量少,造成天然草地产量下降。

3) 4～9 月日照时数近 47 a 来增多的趋势显著,有 2～3 a、3～4 a 和 5～6 a 的振荡周期,阶段性不显著。在温度和降水因子基本满足的情况下,牧草生长期日照时数的多少,直接影响当年天然草地的牧草产量。

4) 上年秋季降水量近 47 a 呈不显著的下降趋势;少雨期变异系数比多雨期变异系数大,有 1～2 a 和 5～6 a 的振荡周期和显著的阶段性。牧草返青期与上一年秋季(9～11 月)降水量有较好的相关性,在温度增加趋势显著的条件下,上一年秋季降水量的多少直接影响到牧草返青的早晚,从而影响到天然草地产量的高低。

参 考 文 献:

[1] 马继雄,王文颖,杜军华.草地在陆地生态系统中的作用分析[J].青海草业,2001,10(1):29－31.

[2] 赵同谦,欧阳志云,郑　华,等.草地生态系统服务功能分析及其评价指标体系[J].生态学杂志,2004,23(6):155－160.

[3] 韩永伟,高吉喜.中国草地主要生态环境问题分析与防治对策[J].环境科学研究,2005,18(3):60－62.

[4] 廖国藩,贾幼陵.中国草地资源[M].北京:中国科学技术出版社,1996.1－14.

[5] 杨恒山,曹敏建,李　华.种草养畜与内蒙古自治区农业的可持续发展[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):179－182.

[6] 姜丽霞,王玉光,孙孟梅.黑龙江省玉米产量预报模式的研究[J].中国农业气象,2004,25(1):13－16.

[7] 邓根云,冯雪华.我国光温资源与气候生产潜力[J].自然资源,1980,(4):11－16.

[8] 秦大河.进入 21 世纪的气候变化科学——气候变化的事实、影响与对策[J].科技导报,2004,(7):4－7.

[9] 李海涛,于贵瑞,袁嘉祖.中国现代气候变化的规律对未来情景预测[J].中国农业气象,2003,24(4):2－5.

[10] 姚檀栋,刘晓东,王宁练.青藏高原地区的气候变化幅度问题[J].科学通报,2000,45(1):98－106.

[11] 吴绍洪,尹云鹤,郑　度,等.青藏高原近 30 年气候变化趋势

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[J]. 地理学报,2005,60(1):3—11.
[12] 徐 影,丁一汇,李栋梁. 青藏地区未来百年气候变化[J]. 高原气象,2003,22(5):451—457.
[13] 王绍武,龚道溢. 对气候变化问题争议的分析[J]. 地理研究,2001,20(2):153—160.
[14] 吕晓蓉,吕晓英. 青藏高原东北部草地气候暖干化趋势分析[J]. 中国草地学报,2002,24(4):9—14.
[15] 雷晓云,陈惠源,张瑞民. 干旱地区地表水资源预测的多层递阶组合模型[J]. 灌溉排水,1998,17(4):26—29.
[16] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社,2002.81.
[17] 黄忠恕. 波谱分析方法及其在水文气象学中的应用[M]. 北京:气象出版社,1983.6—93.
[18] 李 林,王振宇,秦宁生,等. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响[J]. 高原气象,2002,21(1):59—65.
[19] 颜亮东,张国胜,李凤霞. 我国北方牧区天然牧草产量形成的气候模式[J]. 草业科学,2003,(7):8—11.
[20] 颜亮东,李凤霞,张国胜. 青海省环湖地区天然牧草返青与气象条件的关系及其预报[J]. 中国农业气象,1998,(2):42—45.
[21] 郭连云,张旭萍,公保才让,等. 共和盆地天然草地牧草产量与水、热因子的灰色关联度分析[J]. 中国草食动物,2007,27(3):6—9.
[22] 范青慈,李希来. 青海高寒草甸草地生产力与气候因素的灰色关联度分析[J]. 草业科学,2003,20(3):8—11.

Characteristics of the change of climate factors affecting grass growth in the natural grassland of Gonghe basin

GUO Lian-yun[1], ZHANG Xu-ping[1], DING Sheng-xiang[2]
(1. *Hainan Prefectural Meteorological Bureau, Gonghe, Qinghai* 813000, *China*;
2. *Tongde County Meteorological Bureau, Tongde, Qinghai* 813210, *China*)

Abstract: Analysis is made of the tendency, stage and periodicity of the change of climate factors affecting grass growth in the natural grassland of Gonghe basin in the past 47 years. The results showed that, among the various factors, the average temperature and accumulated temperature from April to September presented a significant increasing tendency and cyclical stages; while the accumulated temperature, precipitation, sunshine hours and precipitation in the previous autumn showed a significant oscillating cycle, with the total sunshine hours having 2～6 a oscillating cycle and precipitation in the previous autumn having 1～2 a and 5～6 a oscillating cycles.

Keywords: natural grassland; climate factor; climate change; Gonghe basin

(上接第200页)

Drought forecasting based on the vegetation temperature condition index using weighted Markov model

HAN Ping[1], WANG Peng-xin[2*], WANG Jia-hui[1], SUN Wei[2], ZHU De-hai[2]
(1. *College of Science, China Agricultural University, Beijing* 100094, *China*;
2. *College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The spatial and time series of vegetation temperature condition index (VTCI) for Guanzhong Plain and Weibei Tablelands are analyzed using weighted Markov model. The VTCI images of 2 lead-time prediction are got. Comparing the monitoring images with the forecasting images, we can find the similar characters showing similar drought distribution between the monitoring image and the forecasting image. The further difference detection in difference images shows that the average difference of 1-step prediction is 0.042, and the average difference of 2-step prediction is 0.152.

Keywords: vegetation temperature condition index; weighted Markov model; drought forecasting

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net