

玛曲草原气候生态环境变化及牧草产量灰色预测

李国军¹, 张胜智¹, 吉哲君¹

(甘肃省甘南藏族自治州气象局, 甘肃 合作 747000)

摘要:应用甘肃省玛曲县气象站 1985~2005 年生长季 4~9 月气温、降水、日照时数、蒸发量、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温以及牧草产量资料对年序列进行模糊聚类分析, 得出光热水配置对牧草产量影响显著; 模糊聚类的结果与 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的强振荡波和次强振荡波的迭加有关。灰色关联度分析表明 4 月降水对牧草返青至关重要, 6 月气温对牧草分蘖和抽穗影响最大, 7 月降水对牧草抽穗和开花作用明显; 其次, 5 月、7 月日照, 5 月气温、9 月降水对牧草生长发育也有较大影响。牧草产量的突变点与气候突变点重合, 认为气候变化的负面影响或累积效应是引起牧草产量突变的原因。由于玛曲草原气候生态系统复杂, 对牧草产量进行 GM(1, 1) 建模预测, 对认识气候生态环境变化影响牧草生长有一定的实际意义。

关键词:玛曲草原; 气候生态环境; 牧草产量; 灰色预测

中图分类号: S161

文献标识码: A

引言

甘肃省玛曲县位于青藏高原的东部, 海拔在 300~4 806 m 之间, 气候高寒阴湿, 属半湿润过渡地带的草原区, 拥有 $85.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 亚洲最优质的天然草场^[1]。玛曲草原是青藏高原生态系统的重要组成部分之一, 也是黄河上游地区的主要水源涵养区^[2]。黄河上游是生态环境脆弱区, 也是气候变化的敏感区^[3], 气候上的微小波动都可以引起环境的急剧变化。玛曲草原牧草生长的热量、光照、水资源以及光热水的配置随环境变化均发生明显变化, 热量增加, 日照增多, 水资源减少^[4], 气温升高, 降水减少^[5-9], 气候生态环境及牧草生长特性发生了明显变化。玛曲草原沙化面积 20 世纪 70 年代到 80 年代增加了 $1\,424 \text{ hm}^2$, 80 年代到 90 年代增加了 $3\,349 \text{ hm}^2$, 90 年代到 21 世纪初增加了 $1\,291 \text{ hm}^2$ 。气候变化的负面影响或累积效应引起牧草产量突变。本文通过模糊聚类, 研究光热水配置类型和牧草产量的关系并通过灰色关联度, 分析牧草生长期主要影响气候因子, 通过对牧草产量进行 GM(1, 1) 建模, 预测牧草产量变化趋势, 分析气候生态环境变化对牧草生长影响。

1 研究方法

1.1 资料

选取玛曲气象站 1985~2005 年牧草产量资料, 以及与其相对应的有显著生态学意义的气候因子, 主要选取生长季 4~9 月的平均气温、降水量、日照时数、蒸发量及 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温资料。

1.2 数据处理

1.2.1 模糊聚类分析^[10]

首先对数据进行标准化处理, 使数据样本平均值为 0, 方差为 1。计算模糊相似矩阵采用欧氏距离法。

欧氏距离公式:

$$r_{ij} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}}{\max D} \quad (i, j \leq n)$$

式中 $\max D = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}$ 中的最大值。 r_{ij} 模糊矩阵的相似系数, m 为模糊聚类因子数, n 为样本个数。

给定不同置信水平 $\lambda \in [0, 1]$, 求 λ 截阵 $R^* \lambda$ 阵, 找 R^* 的 λ 显示, 得到普通的分类关系, 随 λ 值

收稿日期: 2009-02-26; 改回日期: 2009-03-10

作者简介: 李国军(1964年-), 男, 甘肃灵台人, 工程师, 主要从事天气预报及决策气象服务工作. E-mail: ligj378@yahoo.com.cn

的变化,最后得到动态聚类谱系图。

1.2.2 灰色关联度分析^[10]

首先对数据进行标准化处理,使数据样本平均值为0,方差为1。牧草产量为母序列,生长季各月气温、降水、日照时数为子序列,计算关联系数,求取关联度。

1.2.3 GM(1,1) 预测模型^[10]

第1步:对数据序列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(N)\}$ 作一次累加生成,得到

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(N)\}$$

$$\text{其中 } x^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t x^{(0)}(k)$$

第2步:构造累加矩阵 B 与常数项向量 Y_N ,即

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(N-1) + x^{(1)}(N)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = [x_1^{(0)}(2), x_1^{(0)}(3), \dots, x_1^{(0)}(N)]^T$$

第3步:用最小二乘法解灰参数 \hat{a}

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$$

第4步:将灰参数代入时间函数:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}$$

第5步:对 $\hat{X}^{(1)}$ 求导还原得到

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = -a \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at}$$

或

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t)$$

第6步:计算 $x^{(0)}(t)$ 与 $\hat{x}^{(0)}(t)$ 之差 $\varepsilon^{(0)}(t)$ 及相对误差 $e(t)$

$$\varepsilon^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t)$$

$$e(t) = \frac{\varepsilon^{(0)}(t)}{x^{(0)}(t)}$$

第7步:模型诊断及应用模型进行预报

为了分析模型的可靠性,必须对模型进行诊断。目前较通用的诊断方法是对模型进行后验差检验,即先计算观察数据离差 s_1

$$s_1^2 = \sum_{t=1}^m [x^{(0)}(t) - \bar{x}^{(0)}(t)]^2$$

及残差的离差 s_2

$$s_2 = \frac{1}{m-1} \sum_{t=1}^{m-1} [q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t)]^2$$

再计算后验比 $c = \frac{s_1}{s_2}$ 及小误差概率

$$p = \{ |q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t)| < 0.6745s_1 \}$$

根据后验比 c 和小误差概率 p 对模型进行诊断,当 $p > 0.95$ 和 $c < 0.35$ 时,模型可靠,这时可根据模型对系统行为进行预测。当所建立的模型残差较大、精度不够理想时,为了提高精度,一般可以对其残差进行残差 GM(1,1) 模型建模分析,以修正预报模型。

2 结果与分析

2.1 光热水配置与牧草产量

玛曲草原气候生态环境是一个复杂的系统,具有认知不确定性的模糊数学特征。用生长季4~9月气温、降水、日照时数、蒸发量和 ≥ 0 °C 积温以及牧草产量资料,对年序列进行模糊聚类分析,根据图1取 $\lambda = 0.9609$,可以将21个样本分为9类(表1),对各类型中气候生态因子与牧草产量距平的关系,得出气候生态因子及其配置对牧草产量影响显著。气候因子分类标准, -0.5 °C $\leq \Delta t \leq 0.5$ °C 气温正常, $\Delta t > 0.5$ °C 气温偏高, $\Delta t < -0.5$ °C 气温偏低; $-20\% \leq \gamma \leq 20\%$ 降水正常, $\gamma > 20\%$ 降水偏多, $\gamma < -20\%$ 降水偏少; -100.0 °C $\leq \Sigma t \leq 100.0$ °C 积温正常, $\Sigma t > 100.0$ °C 积温偏高, $\Sigma t < -100.0$ °C 积温偏低;蒸发量同降水; -100.0 h $\leq s \leq 100.0$ h 日照正常, $s > 100.0$ h 日照偏多, $s < -100.0$ h 日照偏

少。牧草产量距平值为正定义为正相关,为负定义为负相关。

统计表明牧草产量与生长季降水和积温的相关

系数均为 0.30,虽然不能通过相关性检验,但相比其它气候因子,相关性较好。降水和积温稳定对牧草产量产生重要影响;光热水配置决定牧草产量高低。

表1 光热水配置与牧草产量的关系类型

Tab.1 The classification of relationship between pasture's yield and configuration of light, heat and precipitation

类型	平均气温距平	降水百分率	日照时数距平	蒸发量百分率	≥ 0 °C 积温距平	牧草产量距平
光水正常热少负相关型(1986年)	-0.8	17.5	-60.2	-10.4	-166.9	-20.3
光热水少负相关型(1993年)	-0.5	-22.7	-105.4	-3.7	-123.2	-620.3
光多热少水正常负相关型(1997年)	-0.4	-10.5	146.9	10.2	-113.1	-1263.3
光热水正常正相关型(1998年)	1.1	15.2	157.8	14.6	212.0	1939.7
光热水正常正相关型(1999年)	0.3	4.6	-30.4	1.6	60.8	2665.7
光热水正常负相关型(2002年)	0.8	-5.5	177.3	-4.3	136.3	-969.3
光正常热水多负相关型(2003年)	0.8	25.5	-6.0	-8.6	191.6	-1119.3
光少热多水正常负相关型(2005年)	0.6	9.5	-119.1	-19.9	115.8	-9.3
光热多变型(其余年份)	-0.5~0.3	-23.3~18.7	-256.4~111.1	-10.7~10.5	-116.0~59.1	-828.3~1116.7

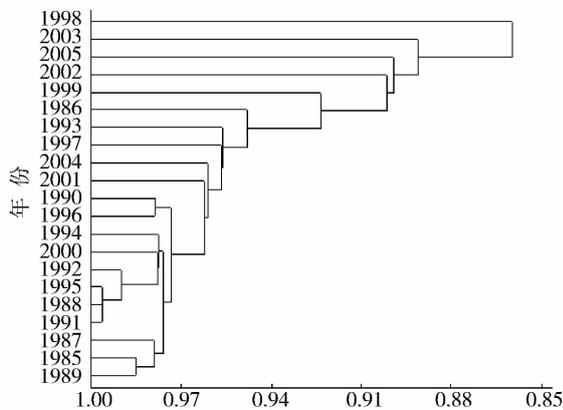


图1 年序列模糊聚类分析的动态谱系图

Fig.1 The dynamic spectrum of the fuzzy cluster analysis for yearly sequence

2.2 牧草生长与气候因子

从生态学意义上,气候因子对牧草生长的影响是显著的;这种影响在牧草不同生长发育阶段作用不同,结果就会有很大不同。气候因子具有随机不确定性的概率统计特征,气候因子对牧草生长作用的结果不具有明显的概率统计特征,具有灰色系统信息不确定性的特点。哪些气候因子在牧草生长过程中起主要作用,其影响程度如何,用概率统计无法正确表述,灰色关联度分析对认识这种变化起到一定的作用。用生长季各月气温、降水、日照时数与牧草产量进行关联度分析,可以发现牧草的主要生长发育期对气候因子的敏感程度(表2)。

表2 牧草产量与气候因子关联度表

Tab.2 The correlation of pasture's yield and climatic factors

气候因子	关联度	气候因子	关联度	气候因子	关联度
4月气温	0.3668	4月降水	0.4818	4月日照	0.3997
5月气温	0.4231	5月降水	0.3726	5月日照	0.4311
6月气温	0.5103	6月降水	0.3955	6月日照	0.3827
7月气温	0.3832	7月降水	0.4871	7月日照	0.4337
8月气温	0.3	8月降水	0.3969	8月日照	0.3502
9月气温	0.3751	9月降水	0.4142	9月日照	0.3461

关联度 > 0.45 的气候因子有 6 月气温、7 月降水、4 月降水。4 月为牧草生长发育返青期,春旱时有发生^[9],降水对牧草生长发育至关重要;6 月为牧草生长分蘖到抽穗期,气温对牧草生长发育影响最大;7 月为牧草生长抽穗到开花期,降水对牧草生长发育作用明显。其次,5 月、7 月日照,5 月气温、9 月降水对牧草生长发育也有较大影响。

2.3 气候蠕变与产量预测

用模糊聚类得到的关系类型(表1)与文献[4] ≥ 0 °C 积温 Morlet 小波分析作比较:1986 年对应强振荡波谷,次强振荡的波峰,1987 ~ 1992 年对应强振荡由波谷,次强振荡由波峰反趋势相交处区域;1993 年对应由相交点到强振荡上升,次强振荡下降的反趋势变化;1994 ~ 1996 年对应强振荡由平衡

点,次强振荡由波谷同趋势上升;1997~1999 年对应次强振荡由平衡点,与强振荡同趋势上升到强振荡波峰,由于是同趋势上升迭加,气候蠕累积效应明显,各自分为不同的关系类型;2000~2001 年对应强振荡由波峰下降,次强振荡上升反趋势变化;2002~2003 年对应次强振荡由波峰下降,强振荡下降同趋势变化;2004 年对应强振荡和次强振荡同趋势下降的相交点。模糊聚类的结果与 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温的强振荡波和次强振荡波所形成迭加有关,有异曲同工的效果。反位相,相交点,平衡点,下降趋势迭加,牧草产量低;同位相及上升趋势迭加牧草产量高。对 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 Morlet 小波的强振荡波和次强振荡波作延伸,2005~2008 年对应相交点后的同趋势下降,牧草产量负距平,同实际相符。

从图 2 的牧草产量趋势变化看出,1997 年以前为低幅振荡,波动年代长,牧草产量呈平稳下降趋势;1997 年以后为高幅振荡,波动年代短,牧草产量呈不平稳突升突降变化。从图 3 的分析得到牧草产量 pettitt 突变点^[11]出现在 1997 年与气候突变点^[10]重合,认为气候变化负面影响或累积效应所引起的气候突变是造成牧草产量突变的原因。

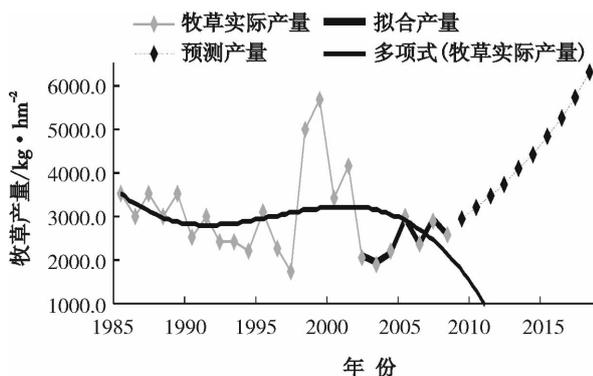


图 2 1985~2008 年牧草产量实测值及 2009~2018 年牧草产量预测值年际趋势图

Fig. 2 The annual trend of pasture's yield during 1985-2008 and the forecast values during 2009-2018

考虑后验比 c 和小误差概率 p 检验以及牧草产量未来的变化趋势,研究认为,用 2002 年到 2008 年牧草产量样本资料,经过 6 次残差序列 GM(1, 1) 建模分析,其预测值接近用 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 Morlet 小波的强振荡波和次强振荡波作延伸的分析结果:2009 年对应同趋势下降,牧草产量低于平均值,2010~2018 年对应强振荡波和次强振荡波同趋势上升,牧草产量高于平均值。从强振荡波和次强振荡波的迭加趋势看,2016~2018 年预测值与实际值可能有较

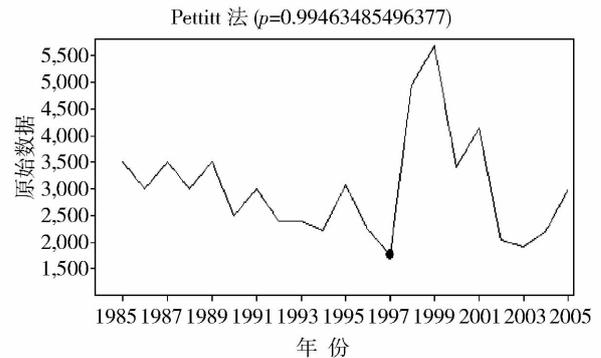


图 3 1985~2005 年牧草产量 pettitt 突变点分析图

Fig. 3 The analysis of pettitt abrupt change of pasture's yield during 1985-2005

大误差。

$c = 0.0830, p = 1.0000$ 通过后验比 c 和小误差概率 p 检验。

参数 $a = -0.026117, u = 67.026226$

其模型为: $\hat{x}(t+1) = 2635.366634e^{0.026117t} - 2566.395301$

表 3 未来 10 a 牧草产量预测值(单位: kg/hm^2)

Tab. 3 The forecast values of pasture's yield in the future ten years

预测年份	牧草产量预测值	预测年份	牧草产量预测值
2009	2960.3	2010	3193.8
2011	3454.6	2012	3744.6
2013	4066.0	2014	4422.0
2015	4816.3	2016	5253.2
2017	5737.7	2018	6275.8

3 小 结

(1) 没有考虑极端温度因子,对各年份模糊聚类分析无明显影响。

(2) 年份模糊聚类结果表明,光热水配置决定牧草产量高低。

(3) 关联度分析可以认识到气候因子影响牧草生长发育期的几个重要阶段。

(4) 牧草产量的突变点与气候突变点重合,认为气候变化负面影响或累积效应引起的气候突变是造成牧草产量突变的原因。

(5) 玛曲草原气候生态环境变化特征明显,各

气候因子对牧草生长的影响随气候变化发生位移。

参考文献:

- [1] 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):10.
- [2] 刘振恒,杨俊明,杨志才,等.甘南玛曲高寒草原生态环境退化现状与治理对策[J].青海草业,2002(4):18-23.
- [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] 李国军,张胜智,汪治桂,等.近40a来玛曲草原气候生态特征[J].干旱气象,2007,25(3):34.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.481,498,501.
- [11] 王毅荣,张存杰.中国黄土高原气候生产力次区域反向演变特征[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):186-187.

Environment Variation Characteristic and Gray – relation Forecast on Pasture’s Yield in Maqu Grassland

LI Guojun, ZHANG Shengzhi, JI Zhejun

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

Abstract: Based on temperature, precipitation, sunshine hours, evaporation, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature and pasture’s yield data from April to September during 1985 – 2005 in Maqu grassland, the relation between meteorological factors and pasture’s yield was analyzed through the method of fuzzy cluster analysis. Results indicated that the configuration of light, heat and water has an obvious influence on pasture’s yield, and the pasture’s yield was related to $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature. The gray – relation analysis showed that the precipitation in April is crucial to pasture’s recovery and the temperature in June affects pasture’s tiller and heading most, and the precipitation in July has marked influence on pasture’s heading and blooming. Both sunshine hours in May, July and precipitation in September has an influence on pasture’s growth. The negative or accumulated effects of climate change resulted in decrease of pasture’s yield in Maqu grassland. Due to the complicated climates environment system, it will have a practical significance to set up forecast model to forecast pasture’s yield in Maqu grassland.

Key words: Maqu grassland; climate environment; pasture’s yield; gray – relation forecast