

玛曲县草地退牧还草工程效果评价

王 静*, 郭 妮, 蔡迪花, 邓振镛

(中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020)

摘要: 利用残差趋势法对玛曲县草地退牧还草工程(禁牧、休牧)效果进行了评价, 即利用 2000~2006 年 250m 的 MODIS16 天合成 NDVI 产品数据及同期气象资料, 建立工程区内退牧前 2000~2004 年两种时间尺度(年、月), 3 种空间尺度(县、乡镇、围栏)的 NDVI 值同气象要素的回归模型, 并利用模型预测无该工程影响下的模拟 NDVI 值, 分析退牧前后模拟 NDVI 值与实际 NDVI 值的残差及变化趋势, 从而判断退牧还草工程对草地恢复状况的影响, 及分析不同工程措施对草地恢复的作用。结果表明, 退牧还草工程有利于玛曲县草地牧草生长和草地恢复, 但草地恢复效果存在时空差异, 退牧还草工程有助于牧草整个生育期的生长, 尤其是牧草生长初期和末期效果最为显著。禁牧措施较休牧措施对于草地恢复效果更显著。整个工程区内草地总体处于恢复中, 但恢复状况各有差异, 一些区域草地恢复状况不理想, 说明这些区域还存在较为严重的放牧或不合理放牧行为, 退牧还草工程执行力度差。就各乡草地恢复状况而言, 曼日玛乡草地总体恢复趋势最好, 欧拉乡草地总体恢复趋势相对较差。各乡下辖各围栏区草地恢复效果显著, 但个别围栏区草地仍处于恶化趋势, 其中恢复效果最好的是 16# 围栏区, 恶化最为严重的是 5# 围栏区草地。

关键词: 玛曲县; 草地; 退牧还草; 评价

文章编号: 1000-0933(2009)03-1276-09 中图分类号: Q143 文献标识码: A

The effect evaluation of the program of restoring grazing to grasslands in Maqu County

WANG Jing*, GUO Ni, CAI Di-Hua, DENG Zhen-Yong

Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1276 ~ 1284.

Abstract: The effect of restoring grazing to grasslands areas in Maqu County was evaluated in this paper. The 16 days 250m MODIS, annual NDVI and month NDVI data and synchronous meteorological data were used to build some regression models. Using these models we can forecast and evaluate the effect if without the project. Moreover we can use the models to analyze the residual difference change trend of actual NDVI and simulative NDVI from 2000 to 2006, and then to deduce the different project types effect on the grasslands restoring. The result showed that restoring grazing to grasslands was benefit for grassland growing and restoring, especially in the earlier and latter growing seasons. Forbidden grazing measure was the most effective. For the grassland restoring condition, all the grassland areas were in the recovering process, but the effects were various in different areas, and the best condition in Manrima village, the worst in Oula village. As a whole, the project was executed well in most enclosures and the restoring conditions were well, among these enclosures, the 16th enclosure was the best condition. However, some enclosures conditions were bad, such as the 5th enclosure, which can be concluded that there were some absurd grazing behaviors and the project was not well executed in those areas.

基金项目: 中国气象局气象新技术推广资助项目(CMATG2007Z09); 国家自然科学基金资助项目(40375011)

致谢: 感谢美国 NASA LP DAAC 提供的 MODIS 产品资料

收稿日期: 2007-11-27; **修订日期:** 2008-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangjing1102@tom.com

Key Words: Maqu county; grassland; restoring grazing to grasslands; effect; evaluation

20 世纪中后期,我国大多数草原草场由于超载放牧等不合理利用,造成草地退化日益严重,对当地生态环境和社会经济产生了重大影响。为了生态环境恢复和社会经济的可持续发展,我国于 1997 年在不适宜农业生产的区域实行退牧还草工程。由于退牧还草工程涉及面广,操作难度大,实施过程中出现了一些问题。为了更好的使该项政策顺利实施,许多学者专家进行了相关的研究^[1~4],取得了诸多成绩,其中,退牧还草工程效果监测与评价成为退牧还草研究中的一个重要方面。目前有关退牧还草工程对草地的恢复评价主要从两个方面进行,一方面采用传统的地面监测手段,评价比较工程区和非工程区的草地群落覆盖度、组成结构、产量及牧草生长状况,另一方面采用遥感手段从反映植被生长状况的植被指数,以及由植被指数经过反演获得的草地覆盖度、生产力方面进行对比,这两种手段都提供了评价退牧还草工程的方法,但是都忽略了气象条件波动对草地的影响,尤其是在评价退牧还草措施初期阶段,此时这种人类活动影响还不显著,气象因素的波动往往会掩盖退牧还草工程对草地产生的影响,因此区分人类活动和气象因素对草地恢复的影响对于正确评价退牧还草工程对草地恢复的作用更加重要。目前,关于区分人为封育措施及气象因素对草地恢复的影响研究很少,但有关于区分人为因素和气象因素导致草地退化方面的研究^[5~8],可加以借鉴并用于评价退牧还草工程效果。

玛曲县草地是甘肃省的优质草原区,是甘肃省天然草场中自然载畜能力较高、耐牧性最强的区域,近几十年来,由于过度放牧引起草地退化、沙化十分严重,成为甘肃省首批实施退牧还草工程的试点之一。本文以甘肃省玛曲县为例,探讨退牧还草工程效果遥感监测与评价方法,并对该工程效果进行分析。

1 研究区概况与数据

1.1 玛曲县概况

玛曲县位于黄河源头及上游区域,甘肃省甘南藏族自治州西南部,东经 $100^{\circ}46' \sim 102^{\circ}29'$,北纬 $33^{\circ}06' \sim 34^{\circ}33'$,地处青藏高原东端,海拔 3300 ~ 4806m 之间,整个地势东南低,西北高。气候具明显的高原大陆性气候特点,冷季长,暖季短,年均温 1.1°C ,年降水量 615.5mm,集中于 5 ~ 9 月份。该县因支流众多,雨水充沛,以及雪山、湖泊和草场,构成了黄河上游完整的水源涵养体系,成为黄河的“蓄水池”,有特殊的生态保护功能。近年来,长期超载过牧,使该县草地植被趋于恶化,草地涵养水分能力下降,对黄河上游的蓄水作用造成了较大影响。

1.2 退牧还草工程区概况

玛曲县退牧还草工程于 2004 年初全面实施,工程涉及该县尼玛、曼日玛(包括河曲马场)、欧拉、阿万仓、齐哈玛 5 乡 23 村,共设置 27 个围栏,2004 年底所有围栏基本建成。退牧还草工程主要采取两种建设布局:禁牧和休牧模式。对沙化草地、退化沼泽地长期封育,将鼠害极度危害形成黑土滩的地方封育禁牧 5 ~ 7a,待植被恢复到一定程度后再进行季节性休牧和划区轮牧;在重度退化草地,以季节性休牧为主,在牧草萌发期和结实期休牧 90d,以使牧草得到休养生息的机会。27 个禁牧和休牧围栏分布位置见表 1。

1.3 数据与处理

采用美国 NASALPDACC(the land processes distributed active archive center)提供的 16d 合成的 250m MODIS 植被指数产品 MOD13 2000 ~ 2006 年数据集进行研究。根据产品说明,NASA 将全球横向分为 36 个区域(分别标示 h0 ~ h35)、纵向分为 14 个区域(分别标示为 V0 ~ V13),每一区域覆盖范围为 $1200 \times 1200\text{km}$,研究区域位于 h26v05 区。该数据集统一采用 SIN GRID 投影并已做了去云、辐射校正、大气校正等处理。

利用 MRT 投影转换工具,对该产品进行投影转换,转换为等经纬度坐标投影,基准面为 WGS-84 坐标系,并对数据进行低通滤波处理,剔除噪音点。同时对每月两次产品进行最大值合成处理,生成 MODIS 月、年植被指数集。根据玛曲县退牧还草工程项目作业图,在制图软件下,形成玛曲县围栏矢量图。按照玛曲县行政区划图,提取玛曲县、各行政乡工程区、各围栏、各工程类型草地 2000 ~ 2006 年生长季(5 ~ 10 月份)及年植被

指数。

表 1 玛曲县围栏区状况

Table 1 Enclosures condition in Maqu county

围栏号 Enclosure number	经度(°) Longitude	纬度(°) Latitude	海拔高度(m) Altitude	面积(km ²) Area	工程类型 Project types	行政位置 Location
1#	101.481	33.8173	4100	5.06	禁牧	阿万仓乡
2#	101.481	33.7486	4058	35.44	禁牧	阿万仓乡
3#	101.6832	33.7702	3600	38.44	休牧	阿万仓乡
4#	101.6043	33.7067	3777	35.63	休牧	阿万仓乡
5#	101.6425	33.8592	3588	32.81	休牧	阿万仓乡
6#	101.4924	33.9406	3739	15.19	禁牧	阿万仓乡
7#	102.1283	33.8389	3465	65.13	禁牧	曼日玛乡
8#	102.343	33.5276	3500	138.75	休牧、禁牧	曼日玛乡
9#	102.0723	33.6456	3500	60.56	休牧、禁牧	曼日玛乡
10#	102.2643	33.6393	3500	113.38	休牧、禁牧	曼日玛乡
11#	102.0265	33.6011	3500	109.94	休牧、禁牧	曼日玛乡
12#	102.0812	33.6558	3500	95.69	休牧、禁牧	曼日玛乡
13#	101.8447	34.1123	4000	64.88	休牧、禁牧	尼玛乡
14#	102.0405	34.1034	3700	66.50	休牧、禁牧	尼玛乡
15#	102.052	34.0373	3705	49.44	休牧	尼玛乡
16#	102.2185	34.0131	3453	21.94	休牧	尼玛乡
17#	101.9627	34.0801	3805	59.25	休牧、禁牧	尼玛乡
18#	101.7633	34.0157	3603	58.94	休牧、禁牧	欧拉乡
19#	101.9019	33.9546	3601	66.75	休牧、禁牧	欧拉乡
20#	101.6895	34.0856	3500	38.63	休牧、禁牧	欧拉乡
21#	102.0138	33.9508	3500	53.06	休牧、禁牧	欧拉乡
22#	101.4556	34.1238	4045	79.69	禁牧	欧拉乡
23#	101.5382	34.0449	4366	82.94	休牧、禁牧	欧拉乡
24#	101.8536	33.2641	3600	98.56	休牧、禁牧	齐哈玛乡
25#	102.057	33.3137	3569	91.56	休牧、禁牧	齐哈玛乡
26#	102.1206	33.4205	3500	89.94	休牧、禁牧	齐哈玛乡
27#	101.94	33.3493	3707	75.69	休牧、禁牧	齐哈玛乡

选用玛曲县 1999 ~ 2006 年逐日及逐月气象资料(降水、气温),建立各气象要素数据集。使用 SPSS 统计分析软件分析数据。

2 研究方法

目前,基于卫星遥感数据对退牧还草工程实施效果的监测评价方法为对比退牧前后草地 NDVI(归一化植被指数)的差异来分析退牧还草效果,这一方法简便快捷,但是并没有考虑气象因子的影响,尤其是在退牧还草工程实施短期内,NDVI 增加不甚明显,植被变化不显著的状况并不适用,因此,比较退牧还草工程效果,首先要分离气象要素波动对植被的影响。Evans 和 Geerken 在 2004 年提出的残差趋势法^[5,6],可以有效的分离气象因素和人为因素对 NDVI 的影响,该方法认为草地生产力主要由该年度气象条件和人类活动强度所决定;通过建立气象要素和反映草地生产力的年 NDVI 最大值(NDVImax)之间的回归关系预测各年度由气象条件所决定的 NDVImax,实际 NDVImax 同预测 NDVImax 之间的差值即为残差,通过分析残差趋势判断人类活动对草地生产力的影响;但该方法采用整个时间序列的 NDVImax 值进行建模,所以该模型已经包含了人类活动的影响。曹鑫对该方法进行了改进,分时间段建立 NDVImax 与气象因子的回归模型,同时考虑了温度对植被生长的影响,这一改进有效的分离了气象要素及人类活动对草地生产力的影响^[7]。卓莉在探讨锡林郭

勒草原生态恢复工程的效果时,借鉴了 Evans 和曹鑫的方法,在此基础上提出了针对短时间序列情形下的草原恢复监测与评价方法,即认为某一局部范围内 NDVI 最大的像元可以看作受人类活动干扰最小的未退化状态,以此为基准探讨草地恢复情况,并针对大范围植被类型多样的情况下,提出了相对残差的概念^[8],但是该方法在整个区域均处于人类影响的状态下,仅仅通过临近像元的差异来假设为受影响和不受影响的状态,有较大误差,相比较而言,曹鑫的改进残差趋势法对于区别人为影响和气候因素影响更为可靠。因此,本文主要基于曹鑫提出的分段残差趋势法评价玛曲县退牧还草工程草地恢复趋势,以 2000 ~ 2004 作为未受退牧影响的阶段,建立 NDVI 同气象因子的回归模型,以此为基础评价退牧后(2005 ~ 2006 年)草地恢复趋势,具体评价步骤如下:

首先,根据评价区域特征确定评价尺度。Evans、Geerken、曹鑫和卓莉等探讨人类活动影响时,均以像元尺度与气象要素建立回归模型,针对较大区域,植被多样,气候差异较大的研究对象时该方法效果可能较好,但对小区域,例如县域尺度和乡域尺度,插值后像元间气象要素差异很小,基于像元建立回归模型效果并不明显,因此本文以研究目标区域(县、围栏或乡)为单元,以其 NDVI 平均值同气象因素建立相关模型。

其次,建立回归模型。本文参考李晓兵等人的研究^[9~13],在此共考虑包括累积降水、同期降水、前期降水、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、同期与前期月平均温度、年均温、生长期均温等 10 个指标进行分析。例如植被在 7 月底 8 月初达到峰值,因此以 7 月份的气象资料作为 NDVI_{max} 同期气象资料,前期资料则指前一个月(6 月份)及前两个月(5 月份)气象资料,累积降水、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温及年均温均指从前一年 11 月至达到该 NDVI 值的这一时段的累积降水、积温和均温,生长期均温指从当年 5 月份至达到该 NDVI 值的时段的平均温度。

利用退牧前 2000 ~ 2004 年两种时间尺度年 NDVI 值(包括生长季 NDVI 最大值 NDVI_{max} 和生长季 NDVI 平均值 NDVI_{aver})、月 NDVI 值,以及 3 种空间尺度(县、乡、围栏)同气象要素建立回归模型。对 NDVI_{max} 同气象要素的相关性分析结果表明,NDVI_{max} 同年均温相关性最好,其次为 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、同期温度、前两个月降水,利用相关性最好的几个指标同 NDVI_{max} 建立一元线性和多元线性回归模型,最终考虑统计分析所需样本和各区域相互比较,以及回归模型的精度,最后认为利用年均温同 NDVI_{max} 建立的一元线性回归方程在各空间尺度上都能较好的通过显著性水平检验。

最后,利用各时空尺度下建立的回归模型计算 2000 ~ 2006 年的模拟 NDVI,计算残差,考虑资料年限较短,因此,最终对各尺度下 NDVI 残差退牧前后 2a(2002 ~ 2006 年)按年序排列,以线性回归方程拟合残差年际变化趋势,如果拟合趋势为正,表明去除气候的影响,草地 NDVI 值逐年增大,草地处于恢复之中,如果拟合趋势为负,则表明退牧后草地 NDVI 值实际在逐年减小,草地处于退化状态下,退牧还草工程执行力度较差。

3 结果与分析

3.1 退牧还草工程区草地 NDVI 变化

根据玛曲县退牧还草工程区工程实施后 2a(2005 ~ 2006 年)同工程实施前 2a(2002 ~ 2003 年)的 NDVI(图 1)比较可以看出:退牧后植被指数增加,这种效应在植被生长前期较明显,尤其是在 5 月份结果差异最大,退牧后第 1 年 2005 年 NDVI 值最高,2006 年 NDVI 值略微下降,从生长季内 NDVI_{aver} 及年 NDVI_{max} 的统计结果也可以看出这一点,工程前 2a NDVI_{aver} 草地均为 0.599,工程后 2 年 NDVI_{aver} 平均为 0.639,工程前后增长 6.6%。工程前 2a NDVI_{max} 平均为 0.780,工程后 2a NDVI_{max} 平均为 0.800,退牧后较退牧前增加了 2.6%。

光、温、水等气象要素是牧草生长的主要因素和必备条件,但气象条件的波动有可能抵消或者放大退牧还草工程对草地产生的影响,因此需要分离气象要素在植被指数变化中的贡献来正确评价退牧还草工程对

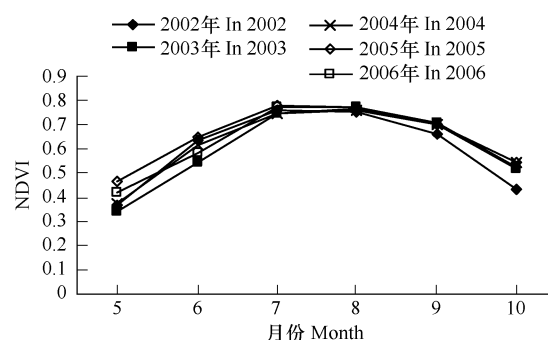


图1 工程区内 NDVI 初步比较

Fig. 1 NDVI preliminary comparison in project regions

植被恢复的影响。

3.2 退牧还草工程对草地生产力的实际影响

依据 2000 年~2004 年气象资料同表征草地生产力的年 NDVImax 建立回归模型 ($NDVImax = 0.791 - 0.012 \times T_{aver}$, $r = 0.906$), 并根据 2005 年和 2006 年气象资料, 模拟预测退牧后 2005 年和 2006 年植被 NDVImax 值(图 2a), 计算并拟合残差趋势, 拟合结果如图 2b 所示。从图上可以看出, 如果不进行退牧还草工程, 根据 2005 年气象条件, 2005 年草地 NDVImax 模拟值为 0.782, 而实际达到了 0.806, 增加了 3.1%, 2006 年草地 NDVImax 模拟值为 0.777, 实际 NDVImax 为 0.794, 增加了 2.2%, 残差线性拟合趋势(图 2b)斜率为 0.0052, 大于 0, 表明退牧后 NDVImax 逐渐增加, 退牧还草工程有助于草地植被生长、草地生产力增加, 草地呈逐步恢复趋势。另外, 利用残差趋势法分析了退牧前 2000~2004 年玛曲县草地发展趋势, NDVImax 的残差趋势斜率分别为 -0.0008 , 退牧前草地呈退化趋势, 相比退牧后草地恢复趋势来说, 其退化速度较小, 这一方面可能因为在 2000 年草地就已经退化比较严重了, 只是在之后的几年里维持这种退化状态, 而没有向更加恶化的趋势发展, 同时随着人口转移等政策实施, 部分地区处于恢复中, 抵消了另一部分地区的退化趋势, 另外由于近几十年气候变化原因, 青藏高原 NDVI 值呈增加趋势^[9]。因此, 总体来看退化趋势略小。而退牧后, 人为创造了更加有利于牧草生长的环境, 草地逐渐呈现较为明显的恢复趋势。

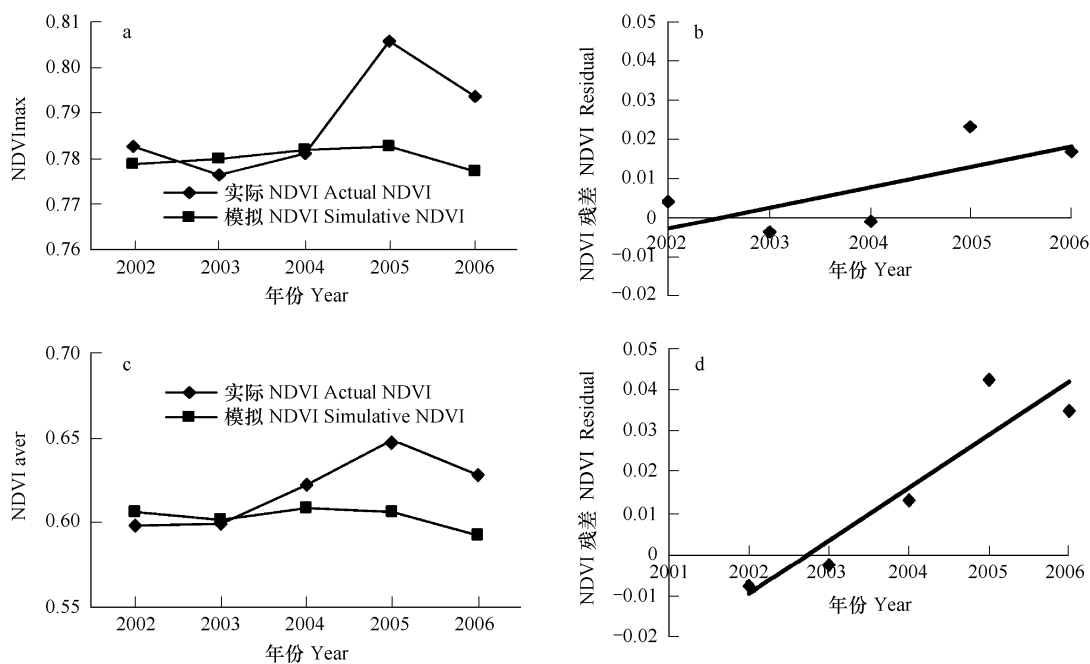


图2 退牧还草工程对草地生产力影响

Fig. 2 Effects of restoring grazing to grasslands on grassland productivity

生长季(5~10月份)NDVIaver 主要反映牧草整个生育期的平均状况, 考虑其同气象要素的相关性, 需从一个生育周期考虑, 因此气象要素主要包括年均温、生长期均温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和累积降水, 经相关性分析 NDVIaver 同年均温相关性最高, 因此主要采用这一要素同 NDVIaver 建立回归模型, 预测退牧后植被 NDVIaver 值(图 2c), 按照模拟结果 2005 年和 2006 年 NDVIaver 值分别为 0.606 和 0.593, 但是这两年 NDVIaver 实际值分别为 0.649 和 0.628, 分别增加了 7.1% 和 5.9%, 残差线性拟合趋势(图 2d)斜率为 0.0129, 也证明退牧还草工程有利于草地全生育期的生长活动。另外, NDVIaver 拟合趋势斜率大于 NDVImax 拟合趋势斜率, 说明退牧还草工程中草地在不同生长时段内恢复效果不同。

3.3 不同时间草地恢复趋势分析

不同时间阶段退牧还草工程区草地恢复状况较为复杂, 因此, 为了具体分析退牧还草工程对不同生育期

草地生长的影响,在此分别计算了2000年~2006年整个工程区每个月的NDVI平均值,并分别建立各月植被指数同气象因子的回归模型,预测不退牧情况下2005年和2006年5~10月NDVI值及残差趋势,结果如图3a~f所示,除6月外,其它各月残差线性拟合趋势均为正。对2000~2004年草地进行残差趋势拟合,拟合斜率表明6月份草地恶化最为严重(-0.0068),因此退牧后该时期草地拟合斜率虽然为负值(-0.0001),但残差趋势增加了 0.0067 ,说明同退牧前相比,退牧还草工程对这一时期草地还是起到了恢复作用,因此退牧还草工程有利于牧草各生育时期生长。从拟合趋势斜率值的大小反映影响效应的大小,退牧还草工程对各月草地生长效应不同,效应大小依次为10月、5月、9月、7月、8月、6月份,对生长初期和生长末期效应比较显著,对牧草生育盛期的影响小一些,这同前面图1反映的结果有差异。这主要是同退牧还草工程实施布局和实施时间有关,退牧还草工程2/3均处于休牧模式,休牧主要在牧草萌发期和结实期休牧,因此有助于前期和末期草地恢复,植被指数增加,而其它时期则处于放牧状态下,不利于草地牧草生长和草地生产力增加,草地恢复程度较小,植被指数相对较小,同其它月份相比,这几个时期草地恢复不明显。

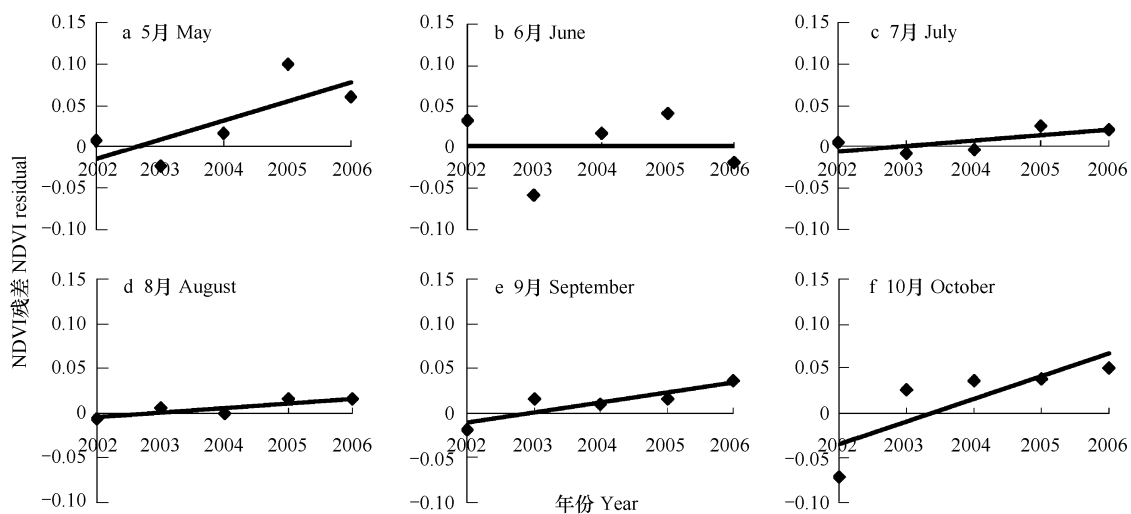


图3 不同生长阶段草地恢复状况残差趋势

Fig. 3 Residual trend of grassland recovery in different stages

3.4 不同工程措施草地恢复比较

为了协调草地生态环境和当地经济的发展,退牧还草工程采用了禁牧和休牧两种工程布局,为了分析不同工程措施对草地恢复的影响,分别提取了禁牧区和休牧区NDVI_{max},并计算了禁牧区和休牧区在工程前后的草地生产力NDVI_{max}残差趋势(图4)。对禁牧区和休牧区2000~2004残差拟合结果表明,休牧区退化较禁牧区略微严重些。分析图4可知,无论是禁牧还是休牧措施,残差拟合趋势的斜率均为正,草地均处于明显的恢复状态,说明这两种工程措施均有利于草地恢复,草地生产力增加。但这两种工程措施对于草原恢复的作用和效果是不同,这点可以从拟合趋势的斜率大小可以看出,禁牧区残差拟合趋势的斜率为 0.0065 ,休牧区残差拟合趋势的斜率为 0.0045 ,禁牧区草地恢复效果明显比休牧区草地恢复效果好,这说明采用禁牧措施对于草地恢复效果更显著。

3.5 草地恢复分布特征分析

3.5.1 各乡草地恢复趋势的比较

利用前述研究方法,计算了各乡草地恢复总体情况,以及各乡不同工程措施下草地的恢复趋势(表2)。结果表明,各乡草地均处于恢复趋势,但各乡草地恢复趋势存在差别,按照恢复效果排序,依次为曼日玛乡、尼玛乡、齐哈玛乡、阿万仓乡、欧拉乡,其中曼日玛乡草地恢复总体趋势最好,其拟合趋势一次项斜率达到了 0.0075 ,说明该乡退牧还草政策执行力度最强,草地恢复情况好,而欧拉乡草地总体恢复趋势相对较差,其拟合趋势一次项斜率仅为 0.0028 ,说明该乡退牧还草政策执行较差,可能依然存在不规范放牧,该乡还需要进

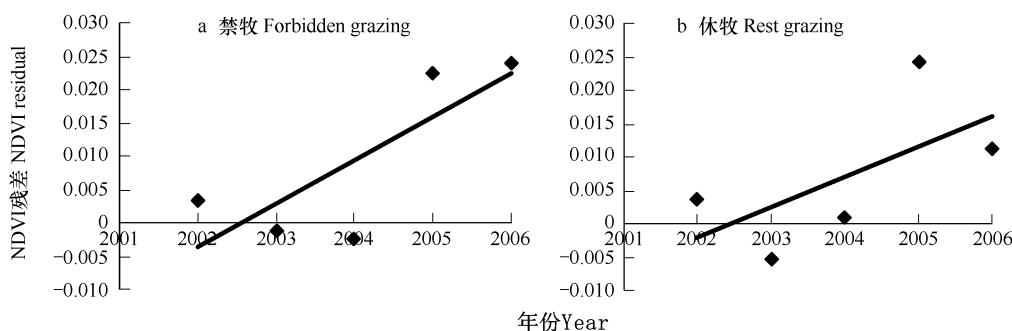


图4 不同工程措施草地恢复状况残差趋势

Fig. 4 Residual trend of grassland recovery in different project types

进一步加大退牧还草工程措施的力度。按照恢复趋势的空间分布看,离玛曲县城较近的乡镇,草地恢复趋势越好,而离县城较远的乡镇草地恢复趋势略差些,这可能因为离县城较近的乡镇,交通便利,便于对退牧还草工程进行监督管理,因此工程执行情况较好,草地恢复情况好,而离县城较远的乡镇,位置偏僻,交通不便,因此不利于监管,所以工程执行力度较差,存在不规范放牧情况,草地恢复情况较差,退牧还草工程不能有效落实,尚需加大退牧还草工程落实力度。

表2 各乡草地恢复状况残差趋势

Table 2 Residual trend of grassland recovery in each village

乡镇 Village	阿万仓乡 Awancang village		曼日玛乡 Manrima village		尼玛乡 Nima village		欧拉乡 Oula village		齐哈玛乡 Qihama village	
	禁牧 Forbidden grazing	休牧 Rest grazing	禁牧 Forbidden grazing	休牧 Rest grazing	禁牧 Forbidden grazing	休牧 Rest grazing	禁牧 Forbidden grazing	休牧 Rest grazing	禁牧 Forbidden grazing	休牧 Rest grazing
	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend	NDVI 残差趋势 NDVI residual trend
	0.0085	0.0011	0.0085	0.0057	0.005	0.0073	0.0045	0.0016	0.0033	0.0046
	0.0032		0.0075		0.0066		0.0028		0.0041	

另外,对各乡 2000 ~ 2004 年草地发展趋势进行了分析,除齐哈玛乡外,其他各乡草地均处于退化状态,其退化趋势排序依次为阿万仓、曼日玛、欧拉、尼玛乡,其残差趋势拟合斜率分别为 -0.0046 、 -0.0013 、 -0.0013 和 -0.001 ,阿万仓乡退化最严重。齐哈玛乡处于恢复中,其残差拟合趋势为 0.0019 ,比退牧后恢复趋势 0.0041 小,说明退牧还草工程加速了齐哈玛乡的这种恢复趋势,改变了其它乡草地的退化趋势。

各乡禁牧区和休牧区草地恢复趋势如表 2 所示,分析可知,各乡禁牧区和休牧区草地均呈恢复趋势,但恢复程度存在差异,禁牧区草地恢复趋势状况最好的是曼日玛乡和阿万仓乡,其拟合趋势均为 0.0085 ,其次为尼玛乡、欧拉乡、齐哈玛乡,休牧区草地恢复趋势依次为尼玛乡、曼日玛乡、齐哈玛乡、欧拉乡、阿万仓乡,曼日玛乡和尼玛乡无论休牧区还是禁牧区恢复趋势均比较好,所以草地总体恢复趋势也是最好的,而欧拉乡无论禁牧区还是休牧区草地恢复状况都是较差的,草地总体趋势也最差。阿万仓乡、曼日玛乡和欧拉乡禁牧区草地恢复情况明显好于休牧区草地情况,其中以阿万仓乡禁牧区草地和休牧区草地恢复趋势间的差异最为明显,其禁牧区草地恢复趋势为 0.0085 ,而休牧区草地恢复趋势仅为 0.0011 ,相差 0.0074 ,根据统计,阿万仓乡休牧地占了较大比例,因此,尽管阿万仓乡禁牧区草地恢复趋势很好,但是总体恢复趋势依然较低,仅为 0.0032 。

3.5.2 不同围栏区草地恢复趋势分析

退牧还草工程评价一方面是为了评估退牧还草效果,另一方面主要是为了准确监测退牧还草执行情况,以便省时、省力、省效指导后面的退牧还草工作,因此以围栏为单位,进行更为详细地分析。退牧还草工程实施后,基本上均处于包产到户的方式进行管理,大致区分为 27 个围栏区域,根据管理力度不同,不同围栏区域

草地恢复状况也存在差异,监测不同围栏区植被恢复状况,有助于更有效的管理和督促退牧还草工程的执行。由于围栏大多是按照地理位置、地形及植被状况进行圈定,因此,对所有围栏区草地生产力应用前面建立的回归方程进行拟合,并不准确,另外为了同前面的结果进行横向对比,在此依然采用前期均温建立各围栏区草地 NDVI_{max} 同气象要素的回归方程,模拟不退牧情况下 2005 年和 2006 年各围栏区草地年 NDVI_{max},计算残差,拟合残差趋势,分析各围栏植被恢复状况。从表 3 可以看出,大多数围栏区草地年 NDVI_{max} 残差趋势线性拟合方程斜率为正,说明退牧区大多数草地都呈恢复的趋势,这些围栏区退牧还草工程执行总体情况较好,但也有个别围栏区草地 NDVI_{max} 残差趋势斜率小于 0,说明这些区域草地生产力逐渐降低,草地呈恶化趋势,退牧还草工程执行情况较差。按照恢复效果排序,依次为 16#、6#、7#、10#、15#、8#、12#、27#、1#、14#、17#、26#、24#、2#、11#、4#、22#、13#、23#、18#、19#、9#、3#、20#,恢复效果最好的是 16# 围栏区。恶化状况排序分别是 5#、25#、21#、5# 围栏草地恶化最为严重,说明这些区域还存在较为严重的放牧或不合理放牧行为,退牧还草工程执行力度差。

表 3 不同围栏区草地恢复状况残差趋势

Table 3 Residual trend of grassland recovery in different endesures

	围栏 Enclosure								
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
NDVI 残差趋势	0.0071	0.0052	0.0011	0.0042	-0.0018	0.0112	0.0107	0.008	0.0013
NDVI residual trend	10#	11#	12#	13#	14#	15#	16#	17#	18#
NDVI 残差趋势	0.0104	0.005	0.0077	0.0038	0.0064	0.009	0.0119	0.0059	0.003
NDVI residual trend	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#	26#	27#
NDVI 残差趋势	0.0027	0.001	-0.0005	0.0041	0.0032	0.0055	-0.0017	0.0057	0.0073
NDVI residual trend									

4 结论与讨论

本文利用残差趋势法对玛曲县草地退牧还草效果进行了评价,即通过建立退牧前 2000 ~ 2004 年草地 NDVI 值同气象因子的回归模型,预测退牧后无该工程影响下的模拟 NDVI 值,分析退牧前后预测 NDVI 值与实际 NDVI 值得残差及变化趋势,从而判断退牧对草地恢复状况的影响。建立各月 NDVI 值同气象因子间的回归关系,预测退牧后各月 NDVI 值的残差趋势,分析退牧措施对不同生长阶段草地植被恢复状况的影响。另外,分析了不同乡、不同围栏区域模拟 NDVI 值与实际 NDVI 值的残差趋势,判断退牧还草对草地恢复效果的空间差异。结果表明,退牧还草工程有利于玛曲县草地牧草生长和草地恢复,但草地恢复效果存在时空差异,并且不同的工程措施也存在差异。退牧还草工程有助于牧草整个生育期的生长,尤其是牧草生长初期和末期效果最为显著,这主要同退牧还草工程在牧草萌发期和结实期进行休牧措施有关。禁牧措施较休牧措施对于草地恢复效果更显著,禁牧区草地恢复效果明显比休牧区草地恢复效果好。按照行政区划对各乡草地恢复状况进行了分析,各乡草地均处于恢复趋势,但各乡草地恢复趋势存在差别,按照恢复效果排序,依次为曼日玛乡、尼玛乡、齐哈玛乡、阿万仓乡、欧拉乡。其中曼日玛乡草地恢复总体趋势最好,说明该乡退牧还草政策执行力度最强,草地恢复情况好,而欧拉乡草地总体恢复趋势相对较差,说明该乡退牧还草政策执行较差。对各乡不同工程措施下草地恢复状况的分析表明禁牧区草地恢复趋势状况最好的是曼日玛乡和阿万仓乡,其次为尼玛乡、欧拉乡、齐哈玛乡,休牧区草地恢复趋势依次为尼玛乡、曼日玛乡、齐哈玛乡、欧拉乡、阿万仓乡。为了方便指导退牧还草工程实施状况,对各乡下辖各围栏区域进行了细致分析,结果表明各围栏区退牧还草工程执行总体情况较好,但也有个别围栏区草地仍然出于恶化趋势,说明这些区域还存在较为严重的放牧或不合理放牧行为,退牧还草工程执行力度差,其中恢复效果最好的是 16# 围栏区,恶化最为严重的是 5# 围栏区草地。

本文利用 MODIS 资料评价了玛曲县退牧还草工程效果,由于 MODIS 空间分辨率较高,因此目前普遍利用 MODIS 资料进行草地植被监测,但是从发射起,迄今为止仅 8a,对于研究牧草生长同气候状况间的关系比

较匮乏,因此本文只能用退牧前的 5a 资料同气象要素进行分析建模,存在一定误差,本文通过对比不同气象要素同植被指数间的关系以及比较不同要素建立的回归模型尽量减少这一误差。另外,曹鑫等认为基于像元建立的回归模型相关性较高,本文也试图进行基于像元尺度分析植被指数同气象要素间的关系,因此对玛曲县进行气象要素插值^[14,15],但是因县域尺度较小,效果并不明显,但是从另一方面来说,县域面积较小,植被空间差异相对较小,因此采用整个区域的植被指数建立模型也具有可行性。

References:

- [1] Yang C J, Liu J Y, Zhang Z X, Dang C L. Decision on reforestation and regressing some of the dry slopin cultivated with support of GIS and remote sensing in Yunnan. *Acta Geographica Sinica*, 2001,56(2):181—188.
- [2] Luo H B, Qian X L, Liu F, He T B, Song G Y. Ecological benefit of soil and water conservation in hilly areas by defarming and reforestation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003,17(4):31—41.
- [3] Hou J Q, Zhang S M. Effects evaluation of conversing farmland to forest or grassland in Loess Plateau area. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(6):29—31.
- [4] Tang C J, Zhou S, Zhang X X, Zhang X Y. Benefit monitor of ceasing herding engineering of Aba County based on “3S” technology. *Pratacultural Science*, 2006, 23(6):55—62.
- [5] Jason Evans, Roland Geerken. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Journal of Arid Environments*, 2004,57:535—554.
- [6] Roland Geerken, Mohammad Ilaiwi. Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation. *Remote Sensing of Environment*, 2004,90:490—504.
- [7] Cao X, Gu Z H, Chen J, Liu J, Shi P J. Analysis of human-induced steppe degradation based on remote sensing in Xilin Gole, Inner Mongolia, China. *Journal of Plant Ecology*, 2006,30(2):268—277.
- [8] Zhuo L, Cao X, Chen J, Chen Z X, Shi P J. Assessment of grassland ecological restoration project in Xilingol Grassland. *Acta Geographica Sinica*, 2007,62(5):471—479.
- [9] Yang Y H, Piao S L. Variations in grassland vegetation cover in relation to climatic factors on the Tibetan plateau. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1):1—8.
- [10] Gu Z H, Chen J, Shi P J, Xu M. Correlation analysis of NDVI difference series and climate variables in Xilingole steppe from 1983 to 1999. *Journal of Plant Ecology*, 2005,29(5):753—765.
- [11] Li X B, Shi P J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China. *Journal of Plant Ecology*, 2000,24(3):379—382.
- [12] Wang H, Li X B, Li X, Ying G, Fu N. The variability of vegetation growing season in the northern China based on NOAA NDVI and MSAVI from 1982 to 1999. *Acta Ecologica Sinica*, 2007,27(2):504—515.
- [13] Zhang Y D, Xu Y T, Gu F X, Pan X L. Correlation analysis of NDVI with climate and hydrological factors in oasis and desert. *Journal of Plant Ecology*, 2003,27(6):816—821.
- [14] Gu Z H, Shi P J, Chen J. Precipitation interpolation research over regions with sparse meteorological stations: a case study in Xilingole league. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2006,42(2):204—208.
- [15] Pan Y Z, Gong D Y, Deng L, Li J, Gao J. Smart distance searching-based and DEM-informed interpolation of surface air temperature in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004,59(3):366—374.

参考文献:

- [1] 杨存建,刘纪远,张增祥,党承林. 遥感和 GIS 支持下的云南省退耕还林还草决策分析. *地理学报*, 2001,56(2):181—188.
- [2] 罗海波,钱晓刚,刘方,何腾兵,宋光煜. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究. *水土保持学报*, 2003,17(4):31—41.
- [3] 侯军岐,张社梅. 黄土高原地区退耕还林还草效果评价. *水土保持通报*, 2002,22(6):29—31.
- [4] 唐川江,周俗,张绪校,张新跃. 基于“3S”技术的阿坝县退牧还草工程效益监测. *草业科学*, 2006,23(6):55—62.
- [7] 曹鑫,辜智慧,陈晋,刘晋,史培军. 基于遥感的草原退化人为因素影响趋势分析. *植物生态学报*, 2006,30(2):268—277.
- [8] 卓莉,曹鑫,陈晋,陈仲新,史培军. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价. *地理学报*, 2007,62(5):471—479.
- [9] 杨元合,朴式龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2006,30(1):1—8.
- [10] 辜智慧,陈晋,史培军,徐明. 锡林郭勒草原 1983—1999 年 NDVI 逐旬变化量与气象因子的相关分析. *植物生态学报*, 2005,29(5):753—765.
- [11] 李晓兵,史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析. *植物生态学报*, 2000,24(3):379—382.
- [12] 王宏,李小兵,李霞,莺歌,符娜. 基于 NOAA NDVI 和 MSAVI 研究中国北方植被生长季变化. *生态学报*, 2007,27(2):504—515.
- [13] 张远东,徐应涛,顾峰雪,潘晓玲. 荒漠绿洲 NDVI 与气候、水文因子的相关分析. *植物生态学报*, 2003,27(6):816—821.
- [14] 辜智慧,史培军,陈晋. 气象观测站点稀疏地区的降水插值方法探讨——以锡林郭勒盟为例. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2006,42(2):204—208.
- [15] 潘耀忠,龚道溢,邓磊,李京,高静. 基于 DEM 的中国陆地多年平均温度插值方法. *地理学报*, 2004,59(3):366—374.