

文章编号: 1004- 4574(2010) 01- 0013- 08

# 基于植被 – 气候最大响应模型的草地退化评价

辜智慧<sup>1</sup>, 史培军<sup>2</sup>, 陈晋<sup>2</sup>, 葛怡

(1. 深圳大学 建筑与城市规划学院, 广东 深圳 518060; 2. 北京师范大学, 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 草地植被生长现状及变化趋势的宏观监测, 对草地资源的管理及生态建设有着重要的理论指导和实践监督意义。然而, 多数的草地退化程度评价都没有考虑草地植被对气候条件年际变化的敏感性, 评价“基准”不一, 致使对草地退化程度评价的结果也无从比较, 给草地生态建设恢复工作的实施与监督带来不便。基于植被 – 气候最大响应模型的草地退化评价方法, 认为非气候因子(如病虫害、野火、放牧和人类活动等等)如果对草地植被的生长影响过度, 就会造成草地植被生产力下降等后果。因此, 利用长期的遥感数据和气象观测资料的空间插值结果, 查找特定气候条件下同种类型草地植被所能达到的最大生产力, 即可建立一定时间空间范围内草地植被生产力与气候条件的最大响应模型, 以此作为草地退化的评价“基准”, 可对草地植被的生长状态及其变化过程进行监测与评价。对锡林郭勒盟草地植被退化状态及其变化趋势的评价结果表明: 非气候因子导致的锡林郭勒盟草地退化非常严重, 但从多年变化趋势来看, 全盟的草地退化面积和平均退化程度均有减小的趋势。

**关键词:** 植被 – 气候最大响应模型; 草地退化; 评价基准

中图分类号: S157. 1

文献标识码: A

## Estimation of grassland degradation based on maximum response of vegetation to climate

GU Zhihui<sup>1</sup>, SHI Peijun<sup>2</sup>, CHEN Jin<sup>2</sup>

(1 College of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** Grassland degradation is a complicated process of multi-system interaction. Observation on grassland vegetation growth and change is of critical importance to grassland resource management and environment construction. However, most of estimations on grassland degradation neglected sensitivity of grassland vegetation to annual climate change. Uncertainty of assessment baseline results in inconsistent and incomparable estimations, which further leads to inconvenience of implementing and supervising grassland environment recovery. This paper presents a new estimation method of grassland degradation based on the maximum response model of vegetation to climate. Assuming that non-climatic factors, such as insects, wild fire, grazing and human activities would decrease the growth of grassland vegetation with excessive effects, a maximum response model of grassland vegetation production to climate was constructed based on long time series of remote sensing data and spatial interpolated meteorological data. This model theoretically presents a better quantitative description of vegetation-climate response, which excludes the effects of human activities and other non-climatic factors on vegetation growth. Using this model as the benchmark of grassland degradation estimation, the degradation of grassland in Xilin Gol League, Inner Mongolia from 1982 to 2000 was evaluated.

收稿日期: 2009- 05- 21 修订日期: 2009- 11- 25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40701005); 深圳大学科研启动基金资助项目(200831)

作者简介: 辜智慧(1979-), 女, 讲师, 博士, 主要从事自然灾害遥感及城市防灾减灾规划研究。E-mail: gh@szu.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

ted. Estimation of its trend was also given in this paper. Results are consistent with those acquired based on ground observation, which shows that non-climatic factors had resulted in severe grassland degradation in Xilin Gol League, but the multi-year changing trend of grassland degradation is slowing down.

**Key words** maximum response model of vegetation to climate; grassland degradation; assessment base

草地退化是由于人为活动或不利的自然因素所引起的草地(包括植被和土壤)质量衰退,生产力、经济潜力及服务功能降低,环境变劣以及生物多样性或复杂程度降低,恢复功能减弱或丧失恢复功能<sup>[1]</sup>。草地生态系统的退化已成为当前我国干旱、半干旱地区草原面临的最主要生态和经济问题。国内外专家就我国的草地退化评价已开展了多项研究工作<sup>[2-3]</sup>。然而,正如 Yang 等<sup>[4]</sup>在综述了国内外多项草地退化评价工作后所指出的:目前的草地退化评价工作存在两大问题,一是退化评价指标和基准的不确定;二是对遥感数据的误用。早有专家指出荒漠化的评价基准应该是自然状态下一定气候条件下的植被生长状况<sup>[5-7]</sup>,但多数研究者还是仅采用两个绝对时间状态(如利用两景 Landsat TM 遥感影像或不同时间段的实地调查)进行草地退化评价,而忽视了气候条件的差异以及判断“基准”的研究。

Evans 和 Geenken<sup>[8-9]</sup>首次在草地退化评价的过程中提出以判断植被生长与气候条件相应关系变化趋势的方式来区分人为活动对草地退化的影响。他们所采用的相对评价“基准”是植被指数 NDVI-Max 与降水量的长期响应关系(即降水利用率)。但该评价“基准”存在两个问题:1)尽管草地植被的生长对降水条件极为敏感,但温度的影响也是不容忽视的,近些年的研究表明,全球变暖,温度的升高对干旱、半干旱地区的植被生长也有着明显的影响;2)该模型采用的平均降水利用率是植被在受到各种气候非气候影响因子影响下的结果数据,并非理想状态下的降水利用率。曹鑫等<sup>[10]</sup>在此研究基础上对气候与植被指数之间的回归模型加以改进,以内蒙古自治区锡林郭勒草原为例,利用 1983—1999 年 8 km 空间分辨率的逐旬 NOAA / AVHRR - NDVI 数据及同期气候数据为基础数据源,对每个像元分别建立 1983—1988 年的气候因子(考虑温度、降水及其时滞效应)与 NDVI 的回归关系模型,并分析 1989—1999 年 NDVI 实际值与基于气候条件的预测值之差(残差)的变化趋势,从而识别出以前一时段为基准,后一时间段人类活动影响的草原退化区域变化趋势。尽管这一工作充分考虑了温度和降水因子对植被生长的可能影响程度,但显然,其作为评价“基准”还缺乏生态意义上的解释。卓莉等<sup>[11]</sup>通过搜寻区域内部最大 NDVI 植被指数构建像元级的植被与气候因子的响应关系模型,在一定程度上优化了植被与气候的响应关系模型,但由于其时间数据序列较短,搜寻范围的尺度没有考虑到草地类型的差异可能引起的误差,其方法与结果仍需进一步探讨。

事实上大多数植被与气候响应模式的研究都没有考虑到:表征植被生长状况的遥感植被指数也是受多种自然与人为因素影响后的结果数据,直接计算其与气候条件的相关性,在受非气候因子影响较大的区域必然导致偏差。但如果从气候因子与非气候因子对草地植被生长的影响作用入手,则可以从另外一个角度来解决这个问题。一般影响草地植被生长的非气候因子如病虫害、野火、放牧和人类活动等等,如果过度就会对草地植被的最大生长量产生负面影响,即降低其植被覆盖率、草高、生产力,引起草地退化等等,也进而造成了其遥感植被指数的降低。因此可以认为:在相同的气候条件下,一定空间范围内的同种植被所对应的最大生长状态(或最大遥感植被指数)即代表着其受非气候因子影响最小的状态,这种状态在理论上更接近于该气候条件下草地植被生长的“基准”状态。

基于以上思考,本文提出一种基于植被-气候最大响应模型的草地退化程度评价方法,即利用长时间序列的遥感植被指数与气象数据,寻找不同气候条件下各草地类型所能达到的最大生长程度,以构建其与气候条件的最大响应模型,作为草地退化程度的评价“基准”,通过计算年气候条件下草地植被的现实生长状况偏离理想“基准”的程度及其年变化趋势,还可评价草地退化变化状况。模型的构建关键在于解决 3 个问题:(1)选取何种指标来表征植被的生长状态和气候影响条件;(2)如何提取最大的植被生长指标;(3)如何构建气候因子与植被最大生长指标之间的响应模型。

## 1 数据和方法

### 1.1 研究区与数据收集

研究区位于内蒙古自治区中部锡林郭勒盟的锡林郭勒草原(图 1),地处北纬 42°—47°、东经 111°—120°,  
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

属中温带半干旱大陆性气候。年平均温度 $0\sim3^{\circ}\text{C}$ , 年降水量在 $200\sim350\text{ mm}$ 之间, 自东南向西北递减, 大部分地区蒸发量在 $1500\sim2000\text{ mm}$ 范围内, 时有干旱发生<sup>[12]</sup>。

本文所采用的数据有气象数据、遥感植被指数数据以及其他辅助数据。气象数据为1982–2000年的锡林郭勒盟15个气象站点及其 $200\text{ km}$ 范围内其它气象站点的旬平均温度和旬降水量数据; 遥感植被指数数据有美国地球资源观测系统(EROS)数据中心提供的探路者数据库, 1982–2000年逐旬的NOAA/AVHRR-NDVI数据, 空间分辨率为 $8\text{ km}$ , 数据经过大气纠正、云检验和质量控制、图像配准等处理流程<sup>[13–14]</sup>。辅助数据包括多景Landsat-TM数据以及1:4000 000蒙古草地植被类型图<sup>[15]</sup>, 主要用于锡林郭勒盟草地类型分类。

## 1.2 数据预处理

数据的预处理包括两部分: (1)遥感植被指数的纠正, 采用Chen等<sup>[16]</sup>提出的基于Savitzky-Golay滤波器的平滑方法, 对NDVI时间序列数据进行了平滑滤波处理, 以减小由于大气状况变化和云污染等因素造成的噪音。由于1993年的NDVI时间序列数据有部分缺失, 故分析结果中缺此数据。(2)是采用锡林郭勒盟内部及其周边气象站点进行插值<sup>[17]</sup>。此外, 还参考内蒙古1:400万的草地资源分类图对Landsat TM遥感数据进行分类, 并将分类结果转换为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ 的栅格数据。

## 1.3 植被-气候最大响应模型

### 1.3.1 参数选择

一般表征植被生产力的遥感植被指数有3种: NDVI-Max(即NDVI最大值); NDVI-R range(即NDVI的增加值, 一般用NDVI最大值减去NDVI最小值, 或者是用NDVI最大值减去生长季起始点的NDVI值); TN-NDVI(即一定时间内NDVI累积值, 一般为全年NDVI累积值, 也有用生长季NDVI累积值来表示)。考虑到NDVI数据容易受微型传感器及大气状况等因素影响, 并且本身就具有累积性<sup>[18]</sup>, 这里采用NDVI最大值减去生长季起点的NDVIR值来表征植被生长状态。

对锡林浩特市气象站点的实测SOS与其对应的气候条件的考察发现, 观测到的植被返青期多发生在温度上升到 $0^{\circ}\text{C}$ 以后, 其与实测的误差仅在1~2旬。一些研究结果也表明, 对于草地植被, 大于 $0^{\circ}\text{C}$ 的积温是非常有意义的。如潘学清<sup>[19]</sup>对中国呼伦贝尔草地的研究表明当春季日平均温度大于 $0^{\circ}\text{C}$ 以后, 牧草开始萌发生长, 根系较浅的羊草(*Leymus chinensis*)等也陆续返青, 除降水明显偏少的年份外, 牧草返青的迟早主要决定于温度。因此, 这里定义平均温度开始大于 $0^{\circ}\text{C}$ 的旬期作为草地植被返青期的起点, 需要强调的是, 这个返青期并不是代表植被生长达到一定水平的日期, 而代表的是植被的生长过程开始受到气候条件影响的日期。

按照此定义, 除荒漠草原生长季起点多在四月上旬和中旬出现外, 草甸草原、典型草原以及人工植被的生长季起点多集中在四月中旬及下旬。与此相对应的生长季起点植被指数NDVI在不同草地类型有较大的差异, 草甸草原在返青期的NDVI值在 $0.15\sim0.16$ 左右, 典型草原在返青期的NDVI变化幅度较大, 在 $0.1\sim0.15$ 区间均匀分布, 而荒漠草原返青期的NDVI值集中分布在 $0.09\sim0.1$ 左右, 与一般经验定义的各草地类型生长季起点的NDVI基本一致。

研究表明: 年平均温度、年降水量、生长季累积温度、生长季累积降水等对植被生长状态均具有较大的影响<sup>[20–21]</sup>, 尤其是生长季的增长阶段, 其降水与温度对植被生长有较大的影响<sup>[18]</sup>。这里选择了3类气候参数来考察其对NDVIR的影响: 生长季增长阶段(NDVI-SOS到NDVI-Max期间)的气候因子: 生长季增长阶段累积温度、生长季增长阶段累积降水; 生长季增长阶段及前期(年初到NDVI-Max期间)的气候因子, 如1月到NDVI-Max期间累积温度、1月到NDVI-Max期间累积降水等; 全年的气候因子, 如年平均温度、年降水量。以锡林郭勒盟15个气象站点的数据分析结果表明, 其中生长季增长阶段的累积温度和年降水量与植被生长指标NDVIR表现出最强的相关性。考虑到降水插值结果的精度随着时间分辨率的增加而降低<sup>[23]</sup>,

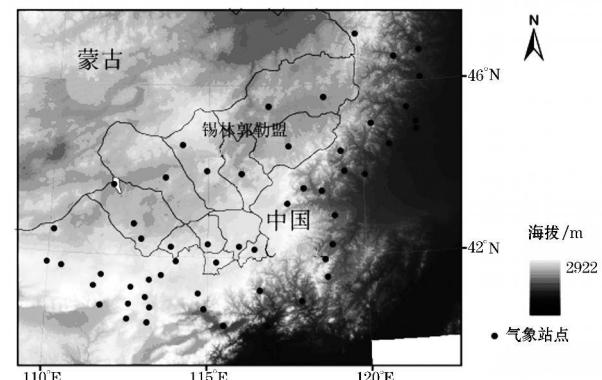


图1 研究区位置及相应的气象站点

Fig 1 Location of study area and corresponding meteorological stations

这里选取生长季增长阶段的累积温度(以下皆以生长季累积温度表述)和年降水量作为影响其植被生长状态的主要气候因子,与 NDVIR 一起构建理想的植被与气候最大响应模型。

表 1 NDVIR 与不同类型的气候影响因子相关分析结果

Table 1 Analysis of correlation between different climatic factors and NDVIR

	SOS-Max 累积温度	1月-Max 累积温度	年平均温度	SOS-Max 累积降水	1月-Max 累积降水	年降水量
草甸草原	-0.63894 <sup>* *</sup>	-0.40061 <sup>* *</sup>	-0.57576 <sup>* *</sup>	-0.01179	0.005631	0.181708
典型草原	-0.11165	0.015176	-0.17362	0.462087 <sup>* *</sup>	0.462193 <sup>* *</sup>	0.524618 <sup>* *</sup>
荒漠草原	0.295693 <sup>*</sup>	0.288963 <sup>*</sup>	0.039008	0.630228 <sup>* *</sup>	0.6356 <sup>* *</sup>	0.645301 <sup>* *</sup>
人工植被	-0.39937 <sup>*</sup>	-0.18103	0.006326	0.182637	0.14565	0.40303 <sup>*</sup>
全部站点	-0.3371 <sup>* *</sup>	-0.27814 <sup>*</sup>	-0.59969 <sup>* *</sup>	0.60576 <sup>* *</sup>	0.613773 <sup>* *</sup>	0.724723 <sup>* *</sup>

注: “\*”表示  $p < 0.01$ ; “\*\*”表示  $p < 0.001$

### 1.3.2 数据提取

根据分类结果,可将锡林郭勒盟草地类型分为四种:草甸草原、典型草原、荒漠草原和沙地草原。不同植被类型在不同气候条件下所对应的植被最大生长参数选取方式是首先界定气候条件(温度与降水条件分开界定),如从年降水量 50~500 mm,以 10 mm 为提取间隔,再提取该气候条件下(即每个间隔内,如 50~60 mm 年降水量条件)各植被类型对应的最大 NDVIR。不同生长季累积温度条件下的最大 NDVIR 提取也是如此,提取间隔为 10 °C。

为避免所选取的不同气候条件下对应的最大 NDVIR 过于片面和集中,这里首先进行了逐年的提取,并且为了避免由于草地类型的误判或个别象元的异常导致的误差,对不同气候条件下该草地类型所对应的所有 NDVIR 取其前 10% 的数据进行平均,其结果作为该年该草地类型在该气候条件下所对应的最大 NDVIR,最后,为了减少年际间的差别,对不同气候条件下 18a 来所对应的最大 NDVIR 取平均。

### 1.3.3 模型构建

不同植被类型在不同降水、温度条件下所对应最大 NDVIR 如图 2 和图 3 所示。对不同的降水条件,草甸草原所对应的最大 NDVIR 变化与降水量关系不明显;而在典型草原,两者的抛物线关系非常明显,回归系数为 0.823;对荒漠草原,最大 NDVIR 与降水量的线性回归系数达 0.75;沙地草原的降水量与最大 NDVIR 的二次曲线回归的回归系数达 0.846。对不同的温度条件,草甸草原所对应的最大 NDVIR 与温度的线性回归系数可达 0.88;典型草原中两者的二次曲线回归系数也非常高,达 0.930;荒漠草原两者的相关性较差,分段线性拟合,回归系数分别为 0.81 和 0.714;沙地草原两者的二次曲线回归系数在 0.67 左右。

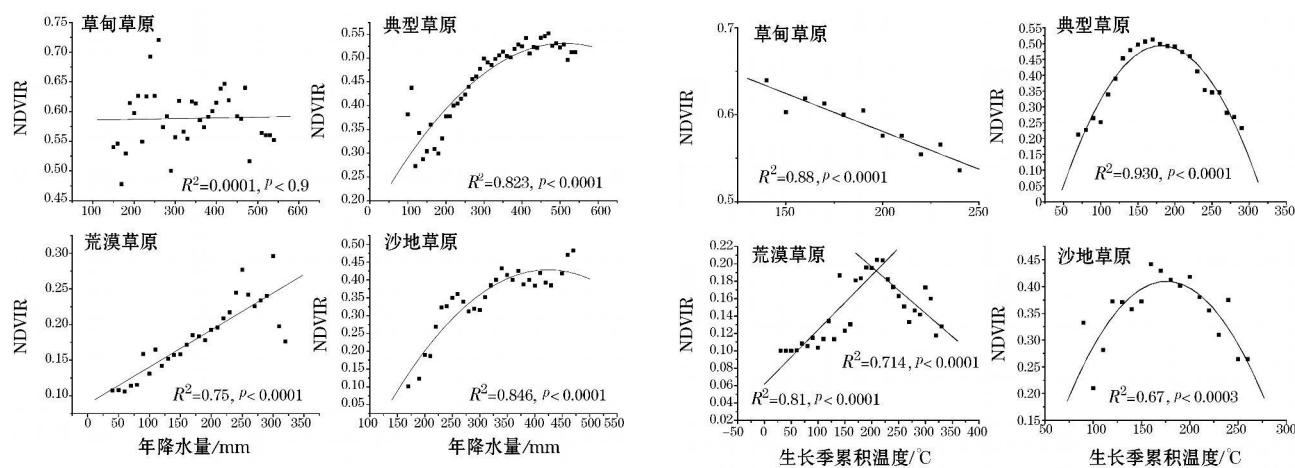


图 2 各植被类型在不同降水量下对应的最大 NDVIR

Fig. 2 Scatter plots of maximum NDVIR under different annual precipitation conditions for different kinds of steppes

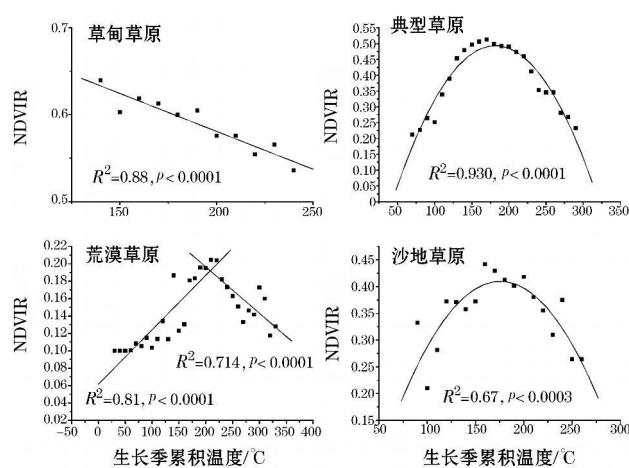


图 3 各植被类型在不同生长季累积温度下对应的最大 NDVIR

Fig. 3 Scatter plots of maximum NDVIR under different accumulated temperature conditions for different kinds of steppes

可以看到, 各植被类型在不同降水量和不同生长季累积温度下对应的最大 NDVIR 分别与降水、温度有非常好的线性或非线性关系, 并与已有的研究结果基本一致<sup>[20~21]</sup>。由于这里最大 NDVIR 代表的是一个平均值, 其与气候条件的关系有线性也有非线性, 很难构建其与温度、降水的多元响应模型, 因此, 这里分别建立不同植被类型与温度、降水的最大响应方程, 以作为植被与气候的最大响应模型方程(其中草甸草原的降水条件与其对应最大 NDVIR 相关性过低, 仅采用其与温度的响应方程)。

草甸草原植被生长与温度的最大响应方程为

$$\text{NDV}_{\text{IRT}} = 0.75513 - 0.000871103 \times \sum \text{Temp} \quad (1)$$

典型草原的植被生长与降水、温度的最大响应方程分别如下:

$$\text{NDV}_{\text{IR}_T} = 0.15995 + 0.00145 \times \sum \text{Rain} - 0.00000141631 \times (\sum \text{Rain})^2, \quad (2)$$

$$\text{NDV}_{\text{IR}_T} = -0.34808 + 0.00926 \times \sum \text{Temp} - 0.0000254488 \times (\sum \text{Temp})^2; \quad (3)$$

对荒漠草原, 与降水、温度的最大响应方程分别为

$$\text{NDV}_{\text{IR}_R} = 0.08848 + 0.000519047 \times \sum \text{Rain}, \quad (4)$$

$$\text{NDV}_{\text{IR}_T} = 0.06156 + 0.000625839 \times \sum \text{Temp} \quad (\sum \text{Temp} \leq 220^\circ\text{C}), \quad (5)$$

$$\text{NDV}_{\text{IR}_T} = 0.30286 - 0.000532547 \times \sum \text{Temp} \quad (\sum \text{Temp} > 220^\circ\text{C}); \quad (6)$$

对沙地草原, 与降水、温度的最大响应方程分别为

$$\text{NDV}_{\text{IR}_R} = -0.38457 + 0.00383 \times \sum \text{Rain} - 0.00000451437 \times (\sum \text{Rain})^2, \quad (7)$$

$$\text{NDV}_{\text{IR}_T} = -0.2463 + 0.00747 \times \sum \text{Temp} - 0.0000212569 \times (\sum \text{Temp})^2. \quad (8)$$

#### 1.4 草地退化评价标准

根据以上建立的植被与气候最大响应模型, 可对每个象元计算其在特定气候条件下的理想状态 NDVIR<sub>e</sub> 除草甸草原外, 各草地类型均有与温度和降水的响应模型, 因此这里先对每个象元分别计算其降水条件下的最大 NDVIR<sub>R</sub> 和温度条件下对应的最大 NDVIR<sub>T</sub>, 取较大者作为 NDVIR<sub>e</sub>, 再计算实际 NDVIR 与其偏离程度作为受非气候因子影响的草地退化程度。公式如下:

$$\sigma = (\text{NDV}_{\text{IR}} - \text{NDV}_{\text{IR}_e}) / \text{NDV}_{\text{IR}_e} \quad (9)$$

剔除了气候因子对植被生长的影响之后的草地退化程度评价一定程度上代表了非气候因子对植被生长的影响程度。偏离程度越大, 说明非气候因子对植被生长的影响越大。通过对多年退化程度的变化趋势还可判断非气候因子对植被生长的影响趋势, 多年变化斜率为正时, 说明非气候因子对草地植被生长的影响越来越小, 主要是气候因子在影响植被的生长, 如果为负, 则说明非气候因子对草地植被生长的影响在增加。此外, 参照内蒙古自治区地方标准设定的天然草地退化标准, 本文将其退化程度划分为 3 个等级: -0.1 以内为正常波动范围; -0.4~ -0.1 为轻度退化; -0.7~ -0.4 为中度退化; -0.7 以上为重度退化。

## 2 结果

锡林郭勒盟多年的植被退化程度评价结果表明: 全盟多年来的退化草地面积占总草地面积的 70%~90%。从长期变化趋势来看, 非气候因子导致的草地轻度退化面积和重度退化面积在减少, 而中度退化面积在增加。整体而言, 全盟的退化面积在减少, 退化程度也略有降低。这说明在剔除气候因子对草地植被生长的影响之后, 非气候因子对锡林郭勒盟草地植被生长的影响在逐年减小。

图 4 及图 5 为锡林郭勒盟草地多年平均退化程度及其变化趋势评价。从其空间分布来看, 非气候因子影响最大即退化最严重的区域在镶黄旗、苏尼特右旗的南部和苏尼特左旗的东部, 其次是在阿巴嘎旗的西部和正镶白旗的南部, 其它大部分地区为中度退化, 东乌珠穆沁旗和西乌珠穆沁旗东部退化程度较轻。从其多年变化趋势来看, 东乌珠穆沁旗和西乌珠穆沁旗东部的非气候因子对草地植被的影响程度在增加, 苏尼特右旗中部、苏尼特左旗南部等地区也是如此。镶黄旗、阿巴嘎旗、正镶白旗、太仆寺旗等区域则表现为非气候因子的影响在逐渐减小。



图 4 1982–2000年锡林郭勒盟草地平均退化程度

Fig 4 Average degradation degrees of grassland in Xilin Gol League from 1982 to 2000



图 5 1982–2000年锡林郭勒盟草地平均退化程度变化趋势

Fig 5 Change trend of degradation degrees of grassland in Xilin Gol League from 1982 to 2000

对不同草地类型逐年的退化程度统计结果表明草甸草原和荒漠草原的退化程度较轻,其次是沙地草原,退化最为严重的是典型草原,也即是气候因子影响程度最高的是典型草原。各草地类型年平均退化程度的变异系数基本相等,以荒漠草原的年际变率最大。就长期变化趋势而言,气候因子对草甸草原的退化影响有加强的趋势,而对荒漠草原、典型草原和沙地草原的影响在逐步减弱,其中对荒漠草原影响减缓速度较高,其次是典型草原,对沙地草原的影响程度基本保持水平波动。

上述结果表明,非气候因子对锡林郭勒盟大多数区域的草地植被影响有降低的趋势,而在草甸草原有加强的趋势。其结果与大多数研究报道所认为的锡林郭勒盟草地退化程度趋于严重并不一致,原因在于本文的评价标准首先考虑的是其与气候条件的对应关系:如果气候条件好,草地植被生长状态差,则认为退化程度较强,而如果气候条件不好,草地植被生长状态差,则其退化程度的评价不一定会很高,这取决于其与该气候条件下理想生长状态的差距。同理,在同等的非气候影响如牲畜压力下,不同的气候条件也会导致退化程度的评价差异,气候资源充足下草地植被可承受的牲畜压力显然大于气候条件恶劣下的草地植被,所以在退化程度评价中前者也会弱于后者。可见,本方法在表述同等气候条件下的草地退化程度,以及同等非气候影响压力下的草地退化程度都有着较高的可比性。

### 3 讨论

由于评价的标准不同,该评价结果很难同其它结果相比较,但在空间分布上仍具有一定可比性。如董永平等<sup>[24]</sup>利用多景 Landsat TM 影像以及定位地面调查,评价镶黄旗 2000 年草原植被退化总面积达 462462hm<sup>2</sup>,占草原总面积的 91.05%,其中文贡乌拉苏木西南及宝阁丁高勒苏木西北与东苏、西苏交界地带草原退化比较严重,重度及极度退化草原多分布于此。本文对该区 2000 年的草地退化程度评价结果是退化面积 100%,但在草地退化程度的空间分布上结果基本一致。

再如锡林郭勒盟在国家环保总局 2000 年 5 月 23 日的汇报材料上称:1985 年全锡林郭勒盟退化面积为 960 万 hm<sup>2</sup>,占总面积的 48.81%,根据 1999 年的卫片解译结果,退化面积为 1280 万 hm<sup>2</sup>,占全盟面积 65% 以上。而本文得到的评价结果是 1985 年全盟退化面积为草地面积的 92%,其中轻度退化草地占 40%,中度占 44%,重度占 8%,1999 年全盟草地退化面积相对较小,占草地总面积的 78% 左右,其中轻度退化草地占草地总面积的 44%,中度退化草地占 32%,重度退化草地占 1.3%。比较两年的降水条件以及植被生长状况 NDVI 可知,1999 年的降水量普遍低于 1985 年,但 1999 年的 NDVI 值普遍高于 1985 年,可见 1999 年非气候因子对草地植被的负影响要低于 1985 年。

据调查,锡林郭勒盟自 1985 年开始,实行牲畜作价归户、草牧场家庭承包的“畜草双承包”制度。但是,在实际生活中,牲畜很早就作价归户了,而草地并没有承包下去。直到 1997—1999 年牧区草场基本承包到户。实行草牧场承包后,草牧场相对狭小、沙化严重的镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗、太仆寺旗,1999 年与 1989 年相比,10a 间年末牲畜总头数(羊单位)分别下降了 20%,47%,70% 和 28%。但由于草场承包落实较晚,

不彻底的产权变革使牲畜很快增加,出现了放牧无界、使用无偿、建设无责的短期性经营行为,出现了“大户占小户的草场”、“富户占穷户的草场”等不正常现象,牧场受到掠夺和破坏。另一个结果是抢着打草(准备牲畜寒冷季节食用),原来大致在8月份打草,变成7月就已经开始打草了,而大部分草种在7月份还没有长成,且7月份高温,打下的草还容易腐烂,这样打草场也受到了严重破坏。实行承包制以来10几年的畜牧业实践表明,由于对承包户缺乏生产指导、技术服务和监督管理,未能处理好畜牧业生产与草地建设、经济发展以及生态保护之间的关系,盲目追求牲畜数量和畜群规模,造成草地的荒漠化,并使畜牧业发展缓慢。可见在20世纪80年代末期,锡林郭勒盟的草地破坏程度实际上要高于其90年代末期。这与本文的分析结果也基本一致。

## 4 结论

一般草地退化评价都只是两个绝对状态的比较,如不同时相的遥感数据或地面调查数据对比,这种对比首先忽视了不同年份植被生长状态的时间差异,如植被生长季的提前或延长等情况,其次是没有将退化的过程考虑在内,尤其是忽略了年气候条件对草地植被生长绝对状态的影响。再有利用连续时间序列的遥感数据与气候数据的关系来进行草地退化评价,多数没有考虑到非气候因子对遥感数据本身的影响。

本文提出的植被-气候最大响应模型,在一定程度上弱化了非气候因子对遥感数据的影响,优化了植被指数与气候条件的定量响应模型,以此模型为草地退化程度的评价“基准”,可以较为准确的表述一定时间范围内草地植被在同等气候条件下的退化程度,以及在不同气候条件下的同等非气候影响压力导致的草地退化程度。对锡林郭勒盟1982~2000年间草地退化的空间分布、程度大小以及变化趋势等评价结果基本符合当地的实际状况。由于数据在时间、空间、及精度分辨率上的局限性,本方法仍存在着一些不足:如草地类型的分类精度会直接影响到其评价的结果,不同的数据来源及组合会生成不同的植被气候最大响应模型等。

## 参考文献:

- [1] 李博.中国北方草地退化及其防治对策[J].中国农业科学,1997,30(6):1~9.
- [2] 全川,杨景荣,雍伟义等.锡林河流域草原植被退化空间格局分析[J].自然资源学报,2002,17(5):571~578.
- [3] Wu J, Loucks O. Xilingol grassland. US National Research Council (Ed.), Grasslands and grassland sciences in Northern China[C]//National Academy Press, Washington, DC, 1992: 67~84.
- [4] Yang X, Zhang K, Jia B, et al. Desertification assessment in China: An overview [J]. Journal of Arid Environment, 2005, 63: 517~531.
- [5] FAO/UNEP. Provisional methodology for Assessment and Mapping of Desertification[R]. FAO, Rome, 1984. 84 pp.
- [6] Grainger A. Characterization and assessment of desertification processes[C]//Desertification Grasslands: Their Biology and Management. Academic Press, London, 1992: 361.
- [7] 汪诗平,李永宏,陈佐忠.内蒙古典型草原草畜系统适宜放牧率的研究[J].草地学报,1999,7(3):192~197.
- [8] Evans J, Geerken R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation[J]. Journal of Arid Environment, 2004, 57: 535~554.
- [9] Geerken R, Ilavim. Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 490~504.
- [10] 曹鑫,辜智慧,陈晋,史培军.基于遥感的草原退化人为因素影响趋势分析[J].2006,30(2):268~277.
- [11] 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[J].地理学报,2007,62(6):471~480.
- [12] 内蒙古大学锡盟野生植物普查队.内蒙古自治区锡林郭勒盟区系植物普查初步报告[J].内蒙古大学学报,1989,1:45~88.
- [13] James M, Kalluri S. The Pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3347~3363.
- [14] Smith P, Kalluri S, Prince S, et al. The NOAA/NASA Pathfinder AVHRR 8-km land data set[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(12): 31~38.
- [15] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队.内蒙古植被[M].北京:科学出版社,1985.
- [16] Chen Jin, Jonsson Per-Olov, Tamura M, et al. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter[J]. Remote sensing of Environment, 2004, 91: 332~344.
- [17] 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[J].北京师范大学理科学报,2006,02:204~208.
- [18] 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[J].植物生态学报,2005,05:753~765.

- [ 19 ] 潘学清, 李章春, 吕新龙. 呼伦贝尔主要天然草场生产力和放牧演替规律的初步研究 [ J ]. 中国草地, 1987, 3: 36- 40.
- [ 20 ] 常学礼, 杨持. 科尔沁沙地降水量波动对草场植被组成和初级生产力影响的研究 [ J ]. 中国草地, 2000, (3): 7- 11, 16.
- [ 21 ] 王玉辉, 周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应 [ J ]. 生态学报, 2004, 24(6): 1140- 1145.
- [ 22 ] Yu F, Price P, Ellis J et al. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia [ J ]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(1): 42- 54.
- [ 23 ] 朱会义, 贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性分析 [ J ]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 34- 43.
- [ 24 ] 董永平, 吴新宏, 李新一, 单丽燕, 宋雪峰. 3S 技术在草原资源与生态状况研究中的应用——以内蒙古自治区镶黄旗为例 [ J ]. 草地学报, 2004, 12(4), 327- 331.