

锡林郭勒草原植被覆盖度时空动态与影响因素分析

张圣微<sup>1,2</sup> 张睿<sup>1</sup> 刘廷玺<sup>1,2</sup> 徐冉<sup>1</sup> 张鹏<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古自治区水资源保护与利用重点实验室, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 以 MODIS 地表辐射率数据对内蒙古自治区锡林郭勒草原进行研究, 分析了 2001—2013 年生长季(4—10 月份) 草甸草原、典型草原、沙地草原和荒漠草原 4 种草地类型植被覆盖度( $f_v$ ) 的时空变化特征, 用变异系数( $C_v$ ) 衡量各类草原 $f_v$  的变化程度, 并结合气象和放牧数据分析气候变化和人类活动(放牧) 对草地 $f_v$  的影响。结果表明, 在不同年份各类型草原 $f_v$  均表现为由东向西递减的规律, 同类型草原年际间 $f_v$  呈不显著波动变化。研究区多年 $f_v$  的 $C_v$  结果表明有 78.66% 地区属脆弱和很脆弱水平, 其中典型草原和沙地草原属脆弱级别, 而荒漠草原属很脆弱级别, 只有草甸草原属稳定级别。降水量对 $f_v$  的影响较大, 呈显著正相关关系; 而温度对 $f_v$  的影响较小, 呈不显著负相关关系; 牲畜养殖数量对 $f_v$  影响较大, 锡林郭勒草原的适宜综合牲畜养殖数量为 39 只/km<sup>2</sup> (以标准羊计)。

**关键词:** 锡林郭勒草原; 植被覆盖度; 时空动态; 气候变化; 人类活动; 牲畜数量

**中图分类号:** P9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2017)03-0253-08

Dynamics of Fractional Vegetation Cover and Its Influence Factors  
in Xilingol Steppe

ZHANG Shengwei<sup>1,2</sup> ZHANG Rui<sup>1</sup> LIU Tingxi<sup>1,2</sup> XU Ran<sup>1</sup> ZHANG Peng<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

2. Key Laboratory of Water Resource Protection and Utilization in Inner Mongolia, Huhhot 010018, China)

**Abstract:** The fractional vegetation cover ( $f_v$ ) is one of the important indicators to reflect the health of grassland ecosystem. However,  $f_v$  is influenced by both natural factors such as temperature and precipitation, and human activities such as grazing. The  $f_v$  estimated by MODIS surface reflectance product (MOD09) was used to analyze the grassland variation in Xilingol steppe. There are four different types grassland in Xilingol steppe, which are temperate meadow, typical steppe, sand steppe and desert steppe. The temporal and spatial variations of those four different types grassland were analyzed in growth seasons (April to October) from 2001 to 2013 by  $f_v$ . The coefficient of variation ( $C_v$ ) was used to indicate the changing degree of  $f_v$  during the study period. Moreover, the climate and livestock data were combined to analyze the effects of climate change and human activities on grassland variations. The results indicated that the spatial distributions of  $f_v$  in different years were similar, which were decreased from east to west. However, the interannual variations of the same type of grassland had no significant fluctuations. The yearly  $C_v$  variations indicated that 78.66% of the study area was in fragile and very fragile level. The typical steppe and sand steppe were in fragile level, and the desert steppe was in very fragile level, but the temperate meadow was in stabile level. The effect of precipitation on  $f_v$  was positive and in very significant level. On the contrary, the influence of temperature on  $f_v$  was negative and not significant. The livestock number had significant effect on  $f_v$ , and the suitable livestock number should be 39 standard sheeps/km<sup>2</sup> in Xilingol steppe.

**Key words:** Xilingol steppe; fractional vegetation cover; temporal and spatial variation; climate change; human activities; livestock number

收稿日期: 2016-07-14    修回日期: 2016-08-24

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51569017, 51269014, 51139002)、教育部创新团队发展计划项目(IRT13069)、中国博士后科学基金项目(2015M572630XB)和内蒙古自然科学基金项目(2015MS0514)

**作者简介:** 张圣微(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事草地和荒漠生态水文及定量遥感研究, E-mail: zsw\_imau@163.com

**通信作者:** 刘廷玺(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化地区水文水资源研究, E-mail: txliu1966@163.com

## 引言

锡林郭勒草原是中国北方干旱-半干旱草原的典型区。20世纪50年代以来,由于气候干暖化和人类不合理的土地利用活动,该区生态环境严重退化,退化草地、撂荒耕地成为中国华北地区扬尘和沙尘暴的主要源地之一<sup>[1]</sup>。许多研究者利用遥感手段揭示该地区草地退化的整体状况,赵冰茹等<sup>[1]</sup>以2002年4—10月份TERRA/MODIS 1B数据结合地面实测数据,分析锡林郭勒盟各类型草地在其生长期各个旬度植被指数的变化。王海梅等<sup>[2]</sup>利用AVHRR和MODIS数据估算的归一化植被指数(NDVI)分析2002—2007年该地区草原植被变化趋势,发现草原整体呈现退化趋势且覆盖度自东向西依次递减的空间分布规律。邢旗等<sup>[3]</sup>利用2002—2003年MODIS数据通过NDVI分级分析草原生长期植被指数空间变化特征,并进行了牧草长势的对比。司亚辉等<sup>[4]</sup>利用2002—2006年MODIS数据将NDVI做差值运算分析草地长势变化情况。张圣微等<sup>[5]</sup>利用MODIS数据计算NDVI,分析了锡林郭勒草原不同类型草地2003—2012年生长季(4—10月份)植被状况时空特征和变化情况,总体表现为由东北向西南递减的规律,且不同年度间相同类型草原空间变化基本一致。也有许多学者<sup>[6-7]</sup>利用MODIS-NDVI数据,分析了气象因子与植被生态变化特征的关系,不同时期降水量和气温在一定范围内变化时,植被的生态状况会呈现出不同的趋势。国外有些学者<sup>[8]</sup>也利用MODIS-NDVI数据分析了草原多年植被长势的空间分布变化,分析了气候变化和人类活动对草原生态环境的影响。

然而,对于生态系统研究而言植被覆盖度( $f_v$ )是更为常用也更为重要的指标<sup>[9-10]</sup>,许多研究者注意到NDVI和 $f_v$ 之间有很高的相关性,并建立了许多利用NDVI估算 $f_v$ 的模型,其中像元二分模型应用最为广泛<sup>[11-12]</sup>。吴春波等<sup>[13]</sup>用NDVI对鄱阳湖地区2003年的植被覆盖度进行了估算,通过实地考察的方式对估算结果进行了验证。李琳等<sup>[14]</sup>对怀柔区1992—2004年植被覆盖度进行了监测,并对植被覆盖变化情况进行了统计分析。刘广峰等<sup>[15]</sup>采用ETM+数据,在NDVI的基础上提取了毛乌素沙地的植被指数,用当地实测数据精度检验,验证了以NDVI为基础的像元二分模型很适合用在沙漠地区的植被指数提取。马娜等<sup>[16]</sup>应用中国环境与灾害监测预报小卫星数据及美国陆地卫星数据,计算内蒙古锡林郭勒盟正蓝旗的植被覆盖度空间分布数据,并结合研究区其他权威土地覆盖和土地利用数据评价了

2000—2009年间区域植被覆盖度动态变化过程。

本文利用2001—2013年(生长季为4—10月份)的MODIS-NDVI数据计算内蒙古锡林郭勒盟草地 $f_v$ ,对锡林郭勒草原4种草原类型<sup>[1]</sup>多年时空变化和变异系数( $C_v$ )进行分析,同时结合降水量、温度和牲畜养殖数量数据分析其对 $f_v$ 的影响因素,以期对草地退化、生态健康和区域生态水文研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

锡林郭勒草原位于内蒙古自治区锡林郭勒盟境内,地处115°13'~117°06'E、43°02'~44°52'N,是以高平原为主体,兼有多种地貌的地区。锡林郭勒盟属于中温带半干旱大陆性气候。大部分地区年降水量200~300mm,自东向西递减。锡林郭勒盟拥有18万km<sup>2</sup>可利用草场,牲畜饲养规模近8a稳定在700万头(只)以上。区内生态环境具有草原生物群落的基本特征,能全面反映内蒙古草原生态系统的结构和过程,研究区内分布有草甸草原、典型草原、沙地草原和荒漠草原4种代表性草地类型,如图1所示。

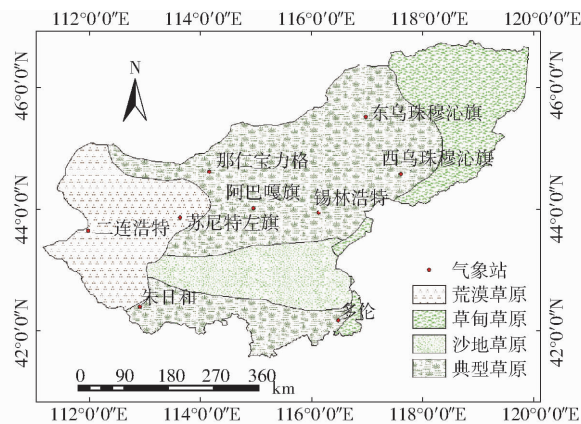


图1 研究区位置、草地类型及气象站点分布

Fig.1 Location of Xilingol steppe, grassland types and distribution of meteorological stations

### 1.2 数据源及处理

数据源为2001—2013年MODIS地表反射率产品(MOD09A1)<sup>[17]</sup>,数据下载自美国NASA的EOS数据中心。根据研究区分布的9个气象站的数据获得2001—2013年的降水量和气温,放牧数据从胡敏谦主编《内蒙古统计年鉴(2001—2013年)》统计的锡林郭勒各旗县年末牲畜养殖数量中摘录得到。

利用MRT(MODIS reprojection tools)将下载的MOD09A1数据进行格式转换和投影转换,把HDF格式转换为Tiff格式,将SIN地图投影转换为Albers\_Equal\_Area投影,同时完成图像的空间拼接和重采样。利用MOD09A1数据中红光和红外光波

段求得 NDVI,并对各月的 NDVI 数据求平均,再利用内蒙古锡林郭勒盟草原类型分区图(图 1)剪取锡林郭勒盟 2001—2013 年逐月 NDVI 的栅格图像。最后对研究区生长季(4—10 月份)进行平均,得到内蒙古地区各年植被生长季 NDVI 分布情况,进而得到  $f_v$  分布情况。具体计算如下:

用 MOD09A1 数据的第 1、2 波段反射率数据计算得到研究区 NDVI

$$I_{NDVI} = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \tag{1}$$

式中  $\rho_{red}$ ——红光波段反射率(对应 MOD09A1 的第 1 波段)  
 $\rho_{nir}$ ——近红外波段反射率(对应 MOD09A1 的第 2 波段)

利用生长季 NDVI 计算  $f_v$

$$f_v = \frac{I_{NDVI} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \tag{2}$$

式中  $V_{min}$ ——生长季 NDVI 最小值  
 $V_{max}$ ——生长季 NDVI 最大值

利用研究期内  $f_v$  的多年平均值和标准差求其变异系数

$$C_v = \frac{S_{f_v}}{\overline{M}_{f_v}} \tag{3}$$

式中  $S_{f_v}$ ——研究期内  $f_v$  多年各个像素点标准差  
 $\overline{M}_{f_v}$ ——研究期内  $f_v$  多年各个像素点平均值

2 结果与分析

2.1 锡林郭勒草原  $f_v$  空间变化特征

图 2 为研究区 2001—2013 年  $f_v$  空间分布图,可

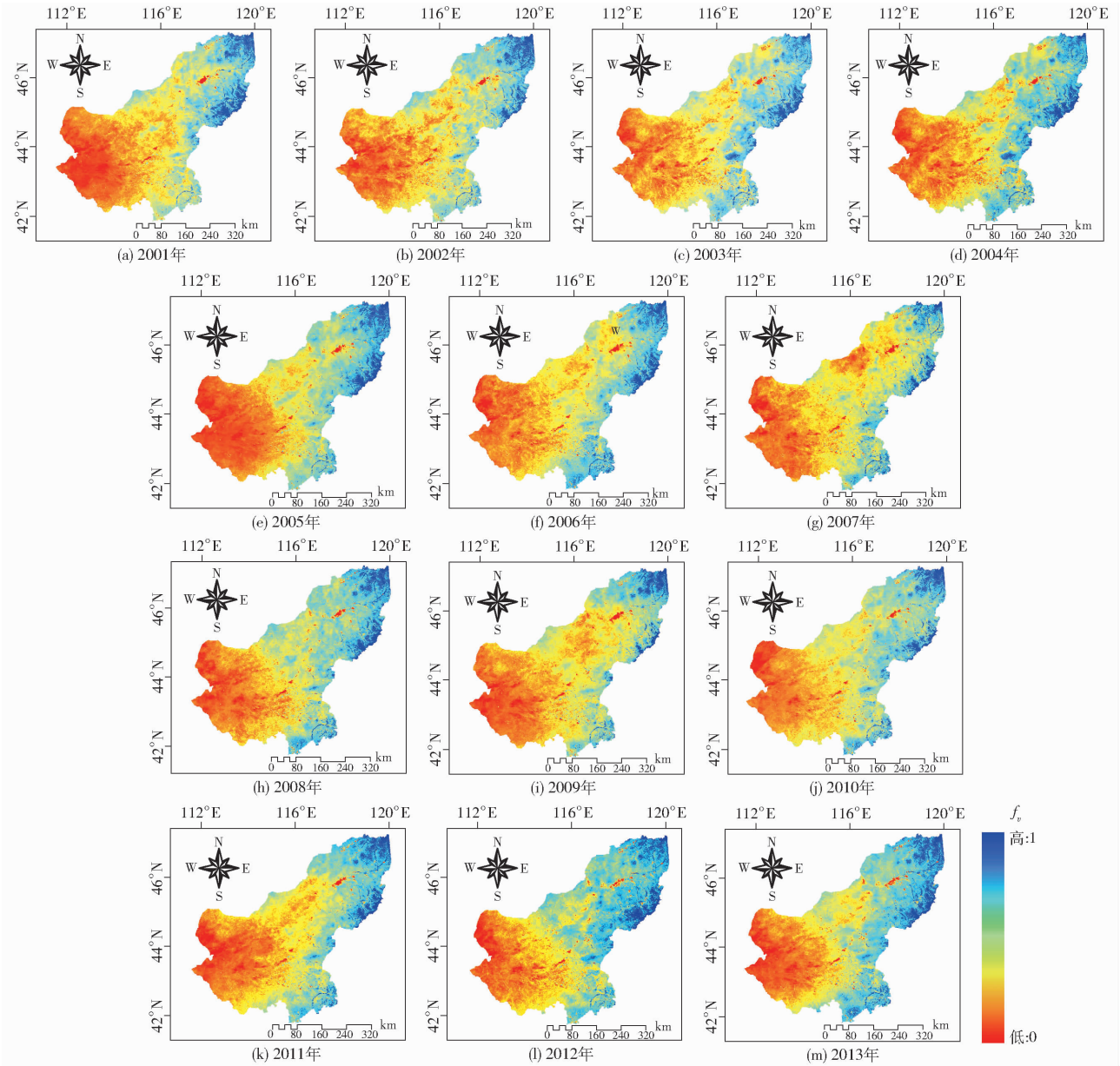


图 2 锡林郭勒草原 2001—2013 各年  $f_v$  空间分布图

Fig. 2 Spatial distributions of  $f_v$  in Xilingol steppe from 2001 to 2013

以看出锡林郭勒盟多年 $f_v$ 的空间分布基本一致,从西向东植被覆盖度在逐渐增大,总体呈现东高西低的趋势。2012年整个锡林郭勒草原植被覆盖度最大,植被最好,说明2012年的水文、气温等一系列因素都很适合植被生长,该年植被长势最好。如按照各草地类型划分可以看出,对于草甸草原,各年情况比较稳定,与其他类型草原相比植被覆盖度最高。各年相对比可以看出2008、2012、2013年的植被覆盖度相对较高,2007年相对较差;对于典型草原,整体没有草甸草原覆盖度高,其中2008年和2012年相对较高;对于沙地草原,2008年和2012年相对较好,2002年和2013年次之;对于荒漠草原,在2009年的植被空间分布及 $f_v$ 在研究年份里最好,2001、2004、2005年的植被覆盖度相对较低,2005年最差。13 a 总体来看 $f_v$ 的空间分布,整个锡林郭勒盟的植被覆盖度有所提高,逐渐向好的趋势发展。

2.2 各类草原 $f_v$ 年度变化特征

4种草原类型草地植被覆盖度年度变化如图3所示。从图3可以看出草甸草原和典型草原的变化趋势相对一致,而沙地草原和荒漠草原的变化趋势相对一致。2001—2013年草甸草原 $f_v$ 年度变化整体呈上升趋势。其中2007年最小,2013年最大, $f_v$ 平均变化范围为0.48~0.68,均值为0.59。2007年的生长季平均值为0.48,为近10 a最低值。草甸草原主要群落有贝加尔针茅(*Stipabaicalensis*) + 日阴苔草(*Carex pediformis*)、贝加尔针茅(*Stipabaicalensis*) + 羊草(*Leymus chinense*)等,大都属于多年生草本植物,非常适应在该地区生长,故比其他草地类型的植被覆盖度高。

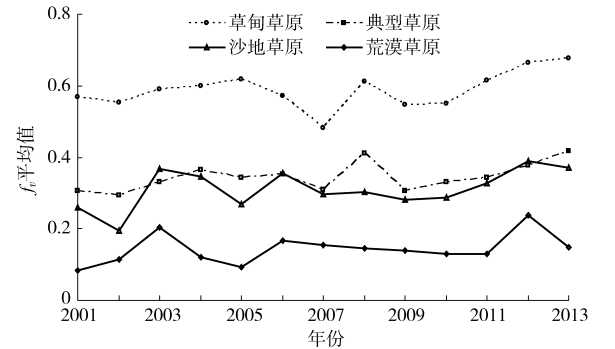


图3 2001—2013年各类草原植被覆盖度变化曲线  
Fig. 3 Interannual variation curves of  $f_v$  in different grassland types from 2001 to 2013

典型草原 $f_v$ 年度变化整体有上升趋势。2002年最小,2013年最大, $f_v$ 平均变化范围为0.29~0.42,均值为0.34。沙地草原 $f_v$ 年度变化整体波动较大,2002年最小,2012年最大, $f_v$ 平均变化范围0.19~0.39,均值为0.31。典型草原和沙地草原的

草原群系有所区别,典型草原主要群落有大针茅(*Stipa grandis*) + 羊草(*Leymus chinense*) + 糙隐子草(*Cleistogenes songorica*)、大针茅(*Stipa grandis*) + 日阴苔草(*Carex pediformis*)和羊草(*Leymus chinense*) + 大针茅(*Stipa grandis*) + 糙隐子草(*Cleistogenes songorica*)等<sup>[18]</sup>。沙地草原主要包括小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*) + 沙竹(*Psammochloa villosa*) + 沙生冰草(*Agropyron desertorum*)和冷蒿(*Artemisia frigida*) + 沙生冰草(*Agropyron desertorum*)等灌木及半灌木群种的群落<sup>[19]</sup>。灌木和半灌木群落多存在于沙地,故 $f_v$ 较小。

荒漠草原 $f_v$ 年度变化整体波动很大,2001年最小,2012年最大, $f_v$ 平均变化范围为0.09~0.24,均值为0.14。植被多以上述旱生及超生灌丛和禾草为主,主要为小针茅(*Stipa klement*) + 无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*) + 沙生冰草(*Agropyron desertorum*)、沙葱(*Allium semenovii*) + 小针茅(*Stipa klement*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*) + 沙葱(*Allium semenovii*) + 小针茅(*Stipa klement*)等群落,地表植被覆盖度小。

2.3 锡林郭勒草原2001—2013年植被覆盖度变异系数

为了进一步分析研究区多年草原植被变化情况,分析其脆弱程度,通过多年 $f_v$ 求得逐个像元的变异系数( $C_v$ ),如图4所示。整体的植被覆盖度年际变异程度较大,变异系数范围为0.07~0.51。从图4a可以看出,变异系数的平均值最大为荒漠草原的0.34,最小为草甸草原的0.19。通过 $C_v$ 可以判断研究区草原稳定程度,一般分4个级别:非常稳定( $C_v \leq 0.1$ )、稳定( $0.1 < C_v \leq 0.2$ )、脆弱( $0.2 < C_v \leq 0.3$ )、很脆弱( $C_v > 0.3$ )<sup>[19]</sup>。从图4b可以看出,就整个锡林郭勒盟地区草原稳定度而言,非常稳定的地区面积占0.04%,稳定地区占21.3%,脆弱地区占45.65%,很脆弱地区占33.01%,总体而言研究区近十几年来78.66%的地区 $f_v$ 波动较大,表现为脆弱到很脆弱。这些区域主要集中在典型草原和荒漠草原区域,其 $C_v$ 主要集中在0.2~0.4之间。而沙地草原和草甸草原则较稳定,大部分地区处于0.1~0.2之间,属于稳定级别,虽然沙地草原均值为0.22属于脆弱区,这是因为在沙地草原的西部有一部分地区与荒漠草原接壤, $C_v$ 处于0.3~0.4之间,从而使均值增加。

2.4 植被覆盖度的影响因素

2.4.1 气候因素

利用锡林郭勒盟境内9个气象站点2001—2013年的年降水量与年均气温,结合各年 $f_v$ 建立关



系图。从图 5a 可以看出,降水量多集中在 100 ~ 300 mm 之间, $f_v$ 与降水量呈正线性相关,决定系数为 0.283 6 ( $P=0.001$ )。从图 5b 可以看出, $f_v$ 与气温呈负线性相关,决定系数为 0.118 7 ( $P=0.16$ )。说明降水量对植被覆盖的影响比气温大,相关性较为显

著,植被的生长对降水比气温要敏感的多。随着降水量的不断增多,植被覆盖度在不断增加,然而植被覆盖度随着气温的上升在不断减小,这说明降水量增多对植被覆盖度的增加有促进作用,而温度升高则可能导致蒸腾量增大对植被生长有抑制作用<sup>[20-21]</sup>。

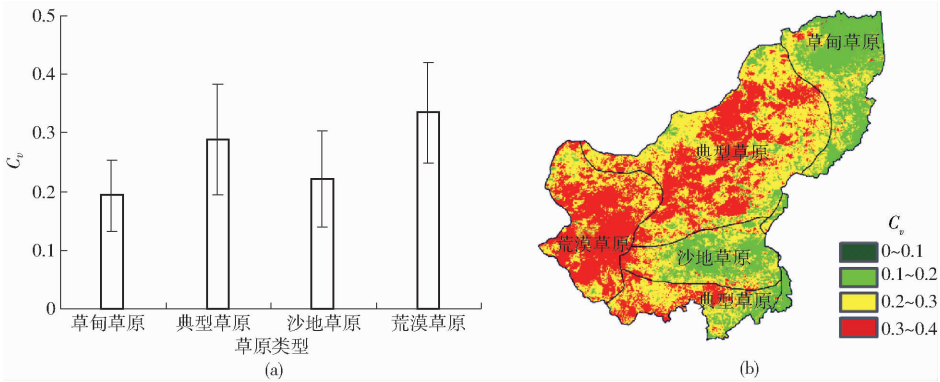


图 4 各草原类型覆盖度 2001—2013 年变异系数及空间分布图

Fig. 4 Variation coefficient of different types of grassland and its spatial distribution during 2001—2013

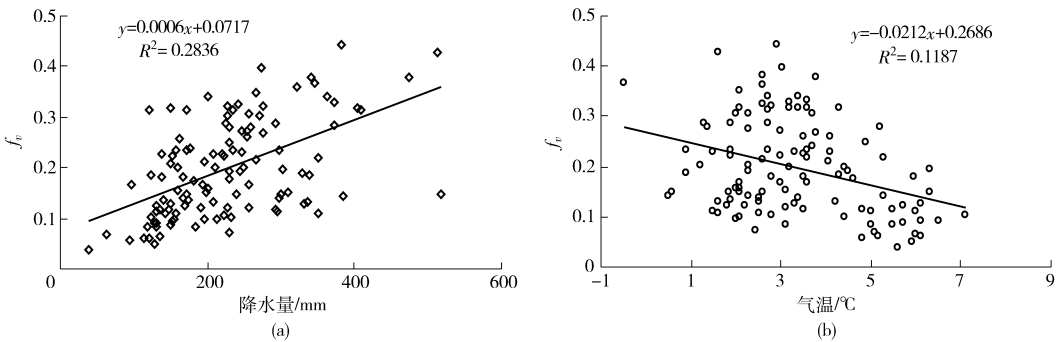


图 5 降水量、气温与  $f_v$  的相关关系

Fig. 5 Correlation of  $f_v$  and precipitation and temperature

2.4.2 人为因素

由于锡林郭勒草原的人类活动主要以放牧为主,因此牲畜养殖数量与  $f_v$  的关系可以反映人为因素对草地覆盖度的影响。牲畜养殖数量主要包括羊与大牲畜数量,但大牲畜和羊不能以同等食量比较,因此在此以 1 头大牲畜的食量为 5 只标准羊计算<sup>[22]</sup>。以综合牲畜养殖数量作为评定与  $f_v$  关系的指数,并将各旗县的综合放牧数与该旗县的面积相除得到单位面积的综合放牧数,后续提到的综合牲畜数量均为每平方千米的载畜量,锡林郭勒盟及各草地类型代表旗县研究期内的综合放牧数见表 1,由表 1 可知,全盟多年综合放牧数为 39 只/km<sup>2</sup> (以下均以标准羊计),各旗县年际波动不大,但旗县间差异较大,其中多伦县综合放牧数最多,多年平均为 142 只/km<sup>2</sup>,苏尼特左旗最少为 27 只/km<sup>2</sup>。

对于锡林郭勒盟的 4 种草地类型分别以草地类型所在旗县为代表,其中草甸草原以东乌珠穆沁旗为例,典型草原以锡林浩特为例,荒漠草原以苏尼特左旗为例,沙地草原以正蓝旗为例。

图 6 为整个锡林郭勒盟和 4 种草地类型  $f_v$  与各年牲畜数量的关系。从图 6a 可以看出,当牲畜数量小于 39 只/km<sup>2</sup> 左右时, $f_v$  与牲畜数量的关系呈正相关,说明  $f_v$  不但没有受到放牧的影响,反而适当放牧会促进草地生长。而当牲畜数量大于 39 只/km<sup>2</sup> 时, $f_v$  与牲畜数量的关系呈负相关,说明大于该临界值的放牧行为会降低草地覆盖度。因此,对于锡林郭勒盟而言 39 只/km<sup>2</sup> 为适宜的放牧牲畜数量。

但对于不同的草地类型而言该值有所不同,从图 6b 和表 1 可以看出草甸草原区(东乌珠穆沁旗)的牲畜数量控制在 56 只/km<sup>2</sup> 较为适宜,这样植被覆盖度会处于一个最佳稳定状态。而既有草甸草原也有典型草原的西乌旗和多伦的适宜牲畜数量则分别为 72 只/km<sup>2</sup> 和 100 只/km<sup>2</sup>。典型草原(锡林浩特市)的  $f_v$  与牲畜数量关系总体呈负相关关系,随着牲畜数量的增长,植被覆盖度有所下降,说明典型草原的牲畜数量已经超过了适宜放牧数。因此,以锡林浩特市为例的典型草原,应尽量减少放牧,牲畜数量控制在 50 只/km<sup>2</sup> 以内。从图 6c 可以看出,

表 1 各旗县 2001—2013 年单位面积的放牧数(以标准羊计)

| Tab. 1 Livestock number of all counties in Xilingol from 2001 to 2013 (standard sheeps/km <sup>2</sup> ) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 只/km <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| 地区                                                                                                       | 2001 年 | 2002 年 | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 | 平均值               |
| 锡林浩特市                                                                                                    | 50     | 49     | 59     | 64     | 63     | 58     | 58     | 59     | 58     | 53     | 52     | 52     | 56     | 56                |
| 阿巴嘎旗                                                                                                     | 51     | 54     | 53     | 52     | 49     | 45     | 45     | 46     | 46     | 45     | 47     | 49     | 52     | 49                |
| 苏尼特左旗                                                                                                    | 31     | 28     | 26     | 29     | 27     | 22     | 26     | 27     | 27     | 27     | 26     | 26     | 28     | 27                |
| 东乌珠穆沁旗                                                                                                   | 62     | 69     | 66     | 59     | 56     | 55     | 45     | 50     | 49     | 45     | 49     | 49     | 53     | 54                |
| 西乌珠穆沁旗                                                                                                   | 88     | 91     | 84     | 76     | 70     | 79     | 60     | 59     | 61     | 60     | 61     | 59     | 65     | 70                |
| 多伦县                                                                                                      | 126    | 126    | 115    | 100    | 127    | 115    | 135    | 176    | 178    | 152    | 159    | 160    | 173    | 142               |
| 正蓝旗                                                                                                      | 86     | 75     | 74     | 82     | 78     | 85     | 92     | 93     | 99     | 84     | 84     | 93     | 78     | 85                |
| 正镶白旗                                                                                                     | 97     | 92     | 86     | 98     | 89     | 100    | 118    | 107    | 96     | 75     | 74     | 78     | 72     | 91                |
| 锡林郭勒盟                                                                                                    | 43     | 45     | 44     | 42     | 40     | 39     | 35     | 38     | 37     | 35     | 37     | 37     | 40     | 39                |

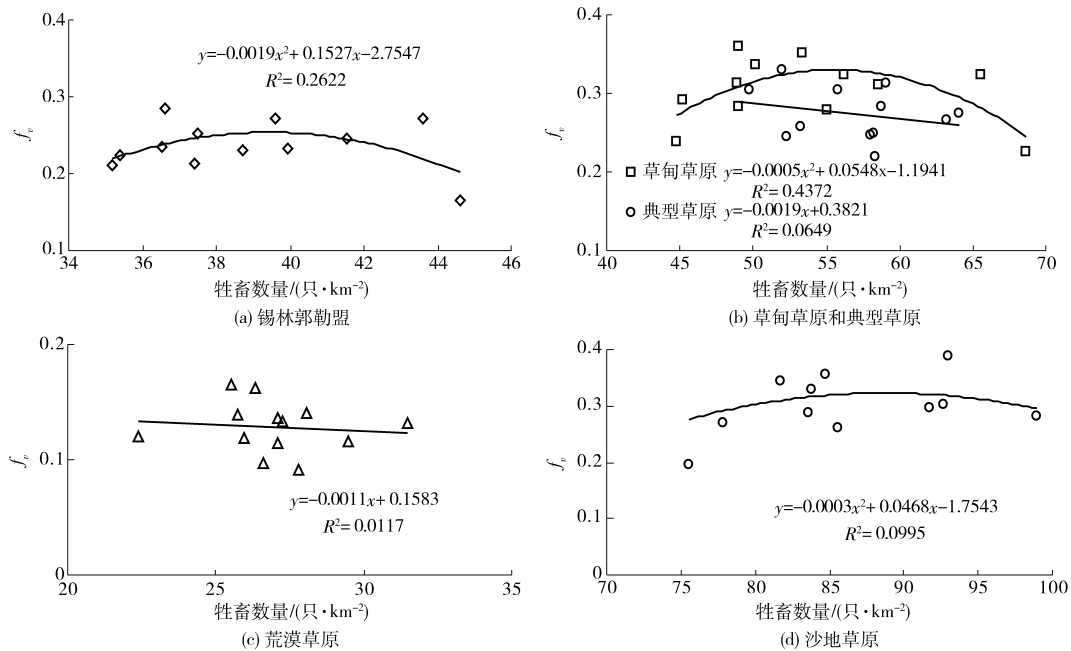


图 6  $f_v$ 与锡林郭勒盟及不同草地类型代表区牲畜数量关系

Fig. 6 Correlations of  $f_v$  and livestock number of Xilingol and different grassland types

以苏尼特左旗为例的荒漠草原各年综合牲畜数量与 $f_v$ 虽然总体上没有明显的相关关系,但是在 25 ~ 30 只/km<sup>2</sup>间二者呈现负相关,说明对于荒漠草原而言 25 只/km<sup>2</sup>已经超过了其适宜放牧强度应尽量减少。从图 6d 和表 1 可以看出对沙地草原(正蓝旗)而言其各年综合牲畜数量为 4 种草原类型中最多的,且与 $f_v$ 的关系表现为阶段变化,当牲畜数量小于 90 只/km<sup>2</sup>左右时, $f_v$ 与牲畜数量呈正相关,而当牲畜数量超过 90 只/km<sup>2</sup>时, $f_v$ 随牲畜数量的增多而减少,说明 90 只/km<sup>2</sup>为较适宜的放牧强度,同样为沙地草原的正镶白旗,其情况与正蓝旗类似但适宜的综合牲畜数为 75 只/km<sup>2</sup>。

但是由于放牧数据是以旗县为单位,其边界无法与草地类型边界重合。因此,对于一些包含不同草地类型的旗县而言,其适宜综合牲畜数不仅受到草地类型的影响,还受到当地其他经济活动,如旅游业、采矿业和当地经济导向的影响。如:近年来以东乌旗和西乌旗大规模发展旅游业,牲畜数量在逐渐

减少,而以沙地草原为主的正蓝旗和正镶白旗虽然其草地覆盖率低,但其经济主要依赖于畜牧业,使得其综合放牧数较高。

### 3 结论

(1)锡林郭勒盟草原 13 a 植被覆盖度总体呈现带状递变、自东向西依次递减的空间分布规律。

(2)锡林郭勒草原不同草原类型多年变异程度不尽相同,但生态整体上呈现为比较脆弱。

(3)从各年的气象数据和牲畜数量与植被覆盖度的关系得知降水会显著促使植被覆盖度的增长,而气温的升高则会不显著的抑制植被覆盖度。锡林郭勒盟草原整体上单位面积的综合牲畜数量不宜超过 39 只/km<sup>2</sup>(以标准羊计),这与政府规定 30 ~ 60 亩 10 只羊即 25 ~ 50 只/km<sup>2</sup>(以标准羊计)较符合,但从本文的结果看各类型草原的代表区都存在过度放牧情况,而且各种草地类型应区别对待,尤其是沙地草原和荒漠草原应尽量减少放牧数。

## 参 考 文 献

- 1 赵冰茹, 刘闯, 王晶杰, 等. 锡林郭勒草地 MODIS 植被指数时空变化研究[J]. 中国草地, 2004, 26(1): 1–8.  
ZHAO Bingru, LIU Chuang, WANG Jingjie, et al. Spatial and temporal change of MODIS – NDVI in Xinlinguole grassland[J]. Grassland of China, 2004, 26(1): 1–8. (in Chinese)
- 2 王海梅, 李政海, 韩国栋, 等. 锡林郭勒地区植被覆盖的空间分布及年代变化规律分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1472–1477.  
WANG Haimei, LI Zhenghai, HAN Guodong, et al. Spatial distribution and temporal changing of vegetation cover in Xinlinguole steppe region [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(4): 1472–1477. (in Chinese)
- 3 邢旗, 刘爱军, 刘永志, 等. 应用 MODIS – NDVI 对草原植被变化监测研究——以锡林郭勒盟为例[J]. 草地学报, 2005, 13(增刊): 15–19.  
XING Qi, LIU Aijun, LIU Yongzhi, et al. Study on change rangeland vegetation, change using MODIS – NDVI in Xilinguole grassland[J]. Acta Agrestia, 2005, 13(Supp.): 15–19. (in Chinese)
- 4 司亚辉, 张玮. 基于 MODIS – NDVI 的草地长势变化监测——以锡林郭勒盟为例[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(5): 66–70.  
SI Yahui, ZHANG Wei. Monitoring changes of grassland growth based on vegetation index (NDVI) of MODIS: a case study of Xinlingol league[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2008, 10(5): 66–70. (in Chinese)
- 5 张圣微, 赵鸿彬, 张发, 等. 基于 MODIS NDVI 的锡林郭勒草原近 10 年的时空动态[J]. 草业科学, 2014, 31(8): 1416–1423.  
ZHANG Shengwei, ZHAO Hongbin, ZHANG Fa, et al. Temporal and spatial dynamic of Xinlingol steppe based on MODIS NDVI in recent ten years[J]. Pratacultural Science, 2014, 31(8): 1416–1423. (in Chinese)
- 6 马龙, 王静茹, 刘廷玺, 等. 2000—2012 年科尔沁沙地植被与气候因子间的响应关系[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 162–172. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160422&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160422&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.022.  
MA Long, WANG Jingru, LIU Tingxi, et al. Response relationship between vegetation and climate factors in Horqin sandy land from 2000 to 2012[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 162–172. (in Chinese)
- 7 苏伟, 刘晓喧, 罗倩, 等. 北方农牧交错带植被对气象因子变化的响应规律研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 352–359. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20151148&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20151148&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.048.  
SU Wei, LIU Xiaoxuan, LUO Qian, et al. Responses of vegetation to change of meteorological factors in agricultural-pastoral area of Northern China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 352–359. (in Chinese)
- 8 LI Zhe, HUFFMAN Ted, MCCONKEY Brian, et al. Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data[J/OL]. Remote Sensing of Environment, 2013, 138: 232–244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.020>.
- 9 元志辉, 包刚, 银山, 等. 2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究[J]. 草业学报, 2016, 25(1): 33–46.  
YUAN Zhihui, BAO Gang, YIN Shan, et al. Vegetation changes in Otindag sand country during 2000—2014 [J]. Acta Prataculturae, 2016, 25(1): 33–46. (in Chinese)
- 10 胡玉福, 蒋双龙, 刘宇, 等. 基于 RS 的安宁河上游植被覆盖时空变化研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(5): 205–215. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20140532&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140532&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.05.032.  
HU Yufu, JIANG Shuanglong, LIU Yu, et al. Three-dimensional localization method of agriculture wireless sensor networks based on crossover particle swarm optimization[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(5): 205–215. (in Chinese)
- 11 罗慧芬, 苗放, 叶成名, 等. 汶川地震前后茂县植被覆盖度变化研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 202–205, 327.  
LUO Huifen, MIAO Fang, YE Chengming, et al. Vegetation coverage change of Maoxian county before and after Wenchuan earthquake[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(3): 202–205, 327. (in Chinese)
- 12 朱会利, 杨改河, 韩磊. 延安市退耕过程植被覆盖度变化及其影响因子分析[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 272–280. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150838&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150838&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.038.  
ZHU Huili, YANG Gaihe, HAN Lei. Analysis of fractional vegetation coverage changes and its influence factors during farmland returned to forest period in Yanan City[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 272–280. (in Chinese)
- 13 吴春波, 刘瑶, 江辉. 鄱阳湖区植被覆盖度的遥感估算[J]. 人民长江, 2006, 37(6): 47–48.  
WU Chunbo, LIU Yao, JIANG Hui. Vegetation coverage estimation in Poyang lake area by remote sensing method[J]. Yangtze River, 2006, 37(6): 47–48. (in Chinese)
- 14 李琳, 谭炳香, 冯秀兰. 北京郊区植被覆盖变化动态遥感监测——以怀柔区为例[J]. 农业网络信息, 2008(6): 38–41.  
LI Lin, TAN Bingxiang, FENG Xiulan. Study on vegetation coverage and its dynamic change of Beijing suburbs by remote

sensing;a case study of Huairou district[J]. Agricultural Network Information, 2008(6):38-41. (in Chinese)

15 刘广峰,吴波,范文义,等. 基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取——以毛乌素沙地为例[J]. 水土保持研究, 2007,14(2):268-271.

LIU Guangfeng, WU Bo, FAN Wenyi, et al. Extraction of vegetation coverage in desertification regions based on the dimidiate pixel model[J]. Research of Soil and Water Conservation,2007,14(2):268-271. (in Chinese)

16 马娜,胡云峰,庄大方,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学,2012, 32(2):251-256.

MA Na, HU Yunfeng, ZHUANG Dafang, et al. Vegetation coverage distribution and its changes in plan blue banner based on remote sensing data and dimidiate pixel model[J]. Scientic Geographica, 2012,32(2):251-256. (in Chinese)

17 ERIC Vermote – NASA GSFC and MODAPS SIPS – NASA. (2015) MOD09A1 MODIS and the Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500 m SIN Grid V006[EB]. NASA EOSDIS LP DAAC. DOI:10.5067/MODIS/MOD09A1.006.

18 张雪峰,牛建明,张庆,等. 内蒙古锡林河流域草地生态系统土壤保持功能及其空间分布[J]. 草业学报,2015,24(1):12-20.

ZHANG Xuefeng, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al. Soil conservation function and its spatial distribution of grassland ecosystems in Xinlin river, Inner Mongolia[J]. Acta Prataculturae, 2015,24(1):12-20. (in Chinese)

19 张巧凤,刘桂香,于红博,等. 基于 MOD16A2 的锡林郭勒草原近 14 年的蒸散发时空动态[J]. 草地学报,2016,24(2):286-293.

ZHANG Qiaofeng, LIU Guixiang, YU Hongbo, et al. Temporal and spatial dynamic of ET based on MOD16A2 in recent fourteen years in Xilingol steppe[J]. Acta Prataculturae, 2016,24(2):286-293. (in Chinese)

20 杜子涛,占玉林,王长耀. 基于 NDVI 序列影像的植被覆盖变化研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(1): 47-50.

DU Zitao, ZHAN Yulin, WANG Changyao. Study on vegetation-cover changes based on NDVI serial images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(1): 47-50. (in Chinese)

21 臧淑英,那晓东,冯仲科. 基于植被指数的大庆地区草地退化因子遥感定量反演模型的研制[J]. 北京林业大学学报, 2008,30(增刊1):98-104.

ZANG Shuying, NA Xiaodong, FENG Zhongke. Establishment of quantitative remote sensing inversion model of grassland degradation factors based on vegetation indices in Daqing City, northeastern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008,30(Supp.1):98-104. (in Chinese)

22 LI Wenjun, ALI Saleem H, ZHANG Qian. Property rights and grassland degradation: a study of the Xilingol pasture, Inner Mongolia, China[J]. Journal of Environmental Management,2007,85(2): 461-470.

~~~~~

(上接第 220 页)

22 平跃鹏,臧淑英. 基于 MODIS 时间序列及物候特征的农作物分类[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 503-513.

PING Yuepeng, ZANG Shuying. Crop identification based on MODIS NDVI time-series data and phenological characteristics[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(3): 503-513. (in Chinese)

23 CHEN J, JONSSON P, 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 the Environment, 2004, 91(3-4): 332-344.

24 彭代亮,黄敬峰,金辉民. 基于 MODIS-NDVI 的浙江省耕地复种指数监测[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1352-1357.

PENG Dailiang, HUANG Jingfeng, JIN Huimin. The monitoring for sequential cropping index of arable land in Zhejiang Province using MODIS-NDVI[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1352-1357. (in Chinese)

25 许青云,杨贵军,龙慧灵,等. 基于 MODIS NDVI 多年时序数据的农作物种植识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 134-144.

XU Qingyun, YANG Guijun, LONG Huiling, et al. Crop information identification based on MODIS NDVI time-series data[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(11): 134-144. (in Chinese)

26 申健,常庆瑞,李粉玲,等. 2000—2013 年关中地区耕地复种指数遥感动态监测[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 280-287. [http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160837&journal\\_id=jesam](http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160837&journal_id=jesam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.037.

SHEN Jian, CHANG Qingrui, LI Fenling, et al. Dynamic monitoring of cropping index in Guanzhong area using remote sensing in 2000—2013[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 280-287. (in Chinese)

27 蔡学良,崔远来. 基于异源多时相遥感器数据提取灌区作物种植结构[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 124-130.

CAI Xueliang, CUI Yuanlai. Crop planting structure extraction in irrigated areas from multi-sensor and multi-temporal remote sensing data[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 124-130. (in Chinese)

28 ZENG L, WARDLOW B D, WANG R, et al. A hybrid approach for detecting corn and soybean phenology with time-series MODIS data[J]. Remote Sensing of the Environment, 2016, 181: 237-250.