

The Combustible Materials Remote Sensing Ration Calculation and Fire Risk Dynamic Monitor in the Seasons of Withered Grass in Xilingoule Grassland

Zhuo Yi

Graduate School of CAAS, Beijing 100081, Beijing

Liu Guixiang*

Grassland Research Institute, CAAS, Hohhot 010010, Inner Mongolia

Yu Fengming

Inner Mongolia Climate Center Hohhot 010051, Inner Mongolia

Abstract

The amount of combustible material is the primary factor which influences the occurrence and developing of fire. From analyzing the field survey data during the six months of the whole seasons of withered grass in Xilingoule, we obtained the different types grassland dynamic changing rates, which include the meadow steppe, steppe and desert steppe. On this basic, we estimated the amount of combustible material in each month by MODIS. So we realized the big quality and fast dynamic monitoring of combustible stock in seasons of withered grass from prairie. ues many factors data : the meteorological drought index(SPI), the combustible stock, vegetation continuous and snow conditions , return fire risk index , which apply the important parameter for the alarming of prairie fire.

Key words: Grassland fire; Combustible materials; Amount of herbage; Remote sensing; Dynamic monitoring

锡林郭勒草原牧区枯草季可燃物遥感定量反演与火险动态监测研究

卓义¹

1 中国农业科学院研究生院, 北京 100081, 北京

zhuoyii@126.com

刘桂香^{2*}

2 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010, 内蒙古

Liugx804@163.com

于凤鸣³

内蒙古气候中心, 呼和浩特 010051, 内蒙古

Yfm19790129@126.com

摘要

可燃物存量是影响草原火灾发生与发展的首要因子。通过对锡林郭勒盟整个枯草季 6 个月份的野外调查数据进行分析, 获得了草甸草原、典型草原和荒漠草原等不同草地类型可燃物的动态变化率, 在此基础上利用 MODIS 遥感数据估算了各月

*通讯作者, E-mail : liugx804@163. com

基金项目: 公益性行业科研专项“草原火灾应急管理技术”(200903041), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“基于GIS与遥感技术的锡林郭勒草原地区干旱灾害监测、评估研究”, 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“锡林郭勒草原干旱灾害风险评估研究”资助。

作者简介: 卓义, 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 在读博士研究生, 主要研究草地资源生态环境与遥感监测技术研究。

份的可燃物存量。实现了原草区枯草季节可燃物存量的大面积、快速的动态监测。应用气象干旱指数 SPI 与地表可燃物存量、植被连续状况、雪被状况等数据叠加计算的多因子火险指数，有效表达了地表可燃物致灾的危险程度，为草原火灾预警提供重要参数。

关键词: 草原火灾; 可燃物; 牧草存量; 遥感; 动态监测

1. 引言

可燃物是草原火发生、发展的物质基础。构成可燃物的两在主体为干枯牧草和动物粪便。动物粪便在草原上的分布零散,一般形不成连续排列,而且其易燃性比牧草弱的多,在牧草燃烧之前通常不会首先燃烧。草原上的枯黄牧草是最重要的可燃物,是草原火燃烧的主体成分和基础。在草原火灾风险研究中,可燃物作为草原火灾暴露性的首要影响因子,实现对枯黄牧草动态的、定量的监测对草原牧区火灾的火险管理有着重要的意义。

枯黄牧草作为草原可燃物的主体,其存量随时空变化处于动态变化中并决定着草原牧区火灾的风险程度。利用遥感数据对草原生长季的产草量进行监测与估产方面的研究已有了广泛的应用。对于枯草季节的牧草存量由于枯草的光谱特征与土壤背景相似程度较高,虽然少数学者对应用NOAA/AVHRR、MODIS等数据建立了枯草遥感监测模型[1],但效果并不理想,这已经成为了草原火灾风险的定量化研究一个障碍。本研究应用成熟的生长季节产草量遥感反演模型计算牧草枯黄前的鲜牧草存量,然后通过牧草的干鲜比例以及牧草在枯草季节存量的动态变化率来估算枯草季节各月份可燃物枯草的动态存量。这种方法绕过常用遥感数据对枯黄牧草监测能力有限的瓶颈,实现了原草区枯草季节可燃物存量的大面积、快速的动态监测。

1. 研究区概况

锡林郭勒草原位于内蒙古自治区中东部,地处北纬41° 35' ~46° 46',东经111° 09' ~119° 58'。土地总面积202 580 km²,其中天然草场197 000km²,占草场总面积的97.2%。地形以高平原为主体,平坦开阔。气候类型为中温带半干旱大陆性气候,冬季寒冷,夏季炎热,降雨不均,雨热同期。土壤类型多样,地带性土壤有灰色森林土、黑钙土、栗钙土、棕钙土,局部地区分布有风沙土,隐域性土壤主要有草甸土、沼泽土及盐碱土。锡林郭勒草原是亚欧大陆草原区亚欧中部亚区一个古老的植物地理区域,草地资源类型多样,有草甸草原、

典型草原、荒漠草原、荒漠、草甸等亚类(图1)。锡林郭勒草原在类型上具有一定的典型性和完整性,在空间分布上具有一定的连续性。该区域作为研究区域研究可燃物的动态空间分布更具有典型性。

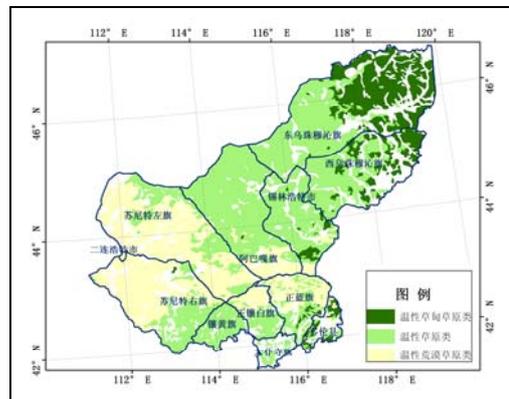


图1 锡林郭勒盟草原分布图
Fig.1 The grassland distribution of Xilinguole

2. 数据来源与研究方法

2.1. 地面数据采集设计

地面数据采集(图2),选取了锡林郭勒盟境内四种具有代表性的草地类型(草甸草原、典型草原、荒漠草原和沙地植被)作为研究对象,样地共计51个,其中包括草甸草原15个、典型草原21个、荒漠草原15个。

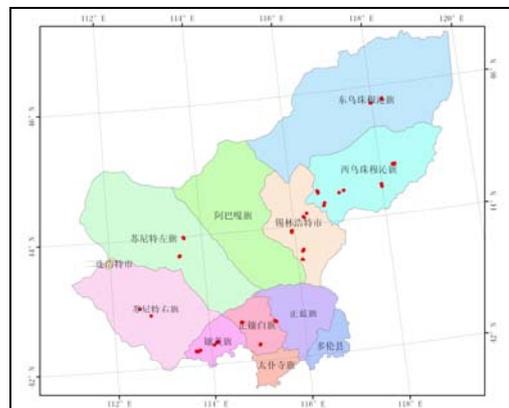


图 2 样地分布图

Fig.2 The sample plot distribution

我国北方可燃物的动态通常每年9月中旬后草原牧草干枯变黄,进入草原防火季节。此时的草原可燃物存量处于最高峰,而后由于牲畜的采食践踏和自然损耗,草原可燃物量越来越少,到翌年5月底牧草返青,牲畜采食青草而不再啃食枯草时草原可燃物量降到最低[2]。可燃物在枯草季节有着不段减少的规律,为了获得可燃物的动态变化率,于在一整个枯草季节中从2007年10月份~2008年4月份每月中旬进行一次野外实测,测量方法为样方法。草本样方大小为1m×1m,有灌木或高大禾草的草地采用10m×10m的样方,每个样地做3次重复。将干枯牧草齐地面刈割,带回室内于85℃烘箱内烘至恒重,然后称重。分析地面数据的可燃物干重从而获得不同类型草地的可燃物在枯草季节的动态变化率。

$$V_i = \frac{W_{Ci}}{W_{C10}} \times 100\% \quad (1)$$

其中, V_i 为对应月份的可燃物保存率, W_{Ci} 为对应月份的可燃物存量, W_{C10} 为10月份的枯草季节初始的可燃物存量。据此,可燃物在枯草季节的动态变化率向量 V 为:

$$V = [V_{10}, V_{11}, V_{12}, V_1, V_2, V_3, V_4]$$

其中, $V_{10}=1$ 。

2.2. 遥感数据源与遥感监测方法

在遥感数据的选取上,应用MODIS数据2007年9月上旬的250米分辨的红近红外波段数据计算NDVI,然后进行整旬的最大合成,并与草地类型图叠加,将非草地地区赋值为0予以剔除。

以往对枯草季节枯黄牧草的存量遥感估算模型都着眼于实时监测,试图应用对枯草敏感的波段数据建立枯草存量的反演模型,但是由于的枯草的光谱特征与土壤背景相似程度较高,以及MODIS传感器的设计上对地面植被的监测主要着眼于绿色植被的绿色。因此,可以说MODIS数据直接实时监测枯草存量的能力相对于对生长季产草量的监测的能力是非常有限。在本研究设计上针对枯草存量的定量监测提出了一个新的思路,应用牧草枯黄前的遥感反演的产草量数据计算这些牧草的干物质量,然后通过枯草季节存量的动态变化率来估算枯草季节各月份可燃物枯草的动态存量。这种方法避开了遥感传感器对枯黄牧草不敏感的问题。

生长季产草量能够估算枯草季枯草存量是由于生长季的产草量是枯草季枯草的物质基础来源,生长季的产草量决定了枯草季枯草存量的基数。在我国北方9月的牧草开始干枯变黄,10月中旬全部干枯。如果不考虑秋季放牧的影响,9月初的地面干物质量与10月中旬枯草季节初期的枯草存量近似相等,根据这一特点计算出枯草季节初始的可燃物存量。首先,选用成熟的遥感产草量监测模型计算9月初的地面产草量,本文采用《中国草原产草量遥感监测》(徐斌,杨秀春等)所建立的产草量模型[3],该模型的建立使用了大量的中国草原地区地面数据,模型有很好的适普性,实测值与模拟值的相关系数可达0.77。基计算公式为:

$$W_f = 19.3585e^{4.9841NDVI} \quad (2)$$

其中, W_f 为单位面积产草量,是牧草的鲜重量,单位为 g/m^2 。

然后,根据不同草原类型的干鲜比 [4]折算得到枯草季节初始的可燃物存量:

$$W_c = \frac{W_f}{C} \quad (3)$$

其中: W_c 为单位面积可燃物重量(单位: g/m^2), W_f 为鲜草重量, C 为不同草地类型的干鲜比系数。

表格 1 各类型草地干鲜比系数

Table 1 Types of grassland ratio of withered grass to fresh grass

草地类型	干鲜比系数
温性草甸草原类	1 : 3.2
温性草原类	1 : 3.0
温性荒漠草原类	1 : 2.7

最后,应用地面数据分析所得的各类型草地可燃物在枯草季节的动态变化率向量 V ,估算各月份的地面可燃物存量,最终实现枯草可燃物动态监测。

$$W_{ci} = W_c \times V_i \quad (4)$$

其中, W_{ci} 为对应*i*月的单位面积可燃物重量(单位: g/m^2)。

2.3. 火险等级方法

火险等级划分依据火险指数划分,指数是应用气象数据与地面数据相结合的多因子加权法建立。所应用到的影响火险的因子有:可燃物存量、植被连续程度、积雪覆盖和气象干旱指数(SPI)。可燃物作为草原火发生、发展的物质基础,是孕灾环境的核心,其地表存量与连续程度决定了孕灾环境中

致灾的危险程度。锡林郭勒盟枯草季中期为冬季，冬季积雪覆盖也是影响火险程度的重要因子。气象干旱指标可以表征可燃物的干燥程度。这种依据气象数据与地表数据的多因子指数，立体的表达了地表可燃物致灾的危险程度。

植被连续程度对火的蔓延有着至关重要的影响，利用 1km 网格土地利用图选取植被区，以 5km×5km（100 个像元）为窗口计算植被类土地利用类型所占百分比赋值于窗口的中心像元得到植被连续程度图值域范围[0, 1]。

雪被划分采用MODIS数据计算归一化差分积雪指数（NDSI）。其原理为：雪有很强的可见光反射和强的短红外吸收特征，因此使用第2通道（841~876nm）、第4通道（545~565nm）和第6通道（1628~1652nm）进行NDSI的计算和积雪判识。

$$NDSI = (CH4 - CH6) / (CH4 + CH6) \quad (5)$$

一般地当NDSI>0.4且CH2反射率>11%、CH4反射率>10%时判定为雪。雪被区赋值为1，非雪被赋值为0。

内蒙古地区地表水补给形式较为单一，以大气降水为主。降水的充盈与亏损直接影响地表植被的干燥程度。因此，降水是影响火险程度的重要指标。气象干旱指标选用标准化降水指数SPI，它的基本原理为，首先假设降水服从GAMMA分布，然后用GAMMA分布概率来描述降水量的变化，最后再经正态标准化求得SPI值。研究表明降水分布比起正态分布、泊松分布来更接近于GAMMA分布，SPI可以灵活应用于对不同时间段，不同时间尺度，不同地区的降水量变化的比较，是具有适普性的干旱监测指标。其具体算法如下[5, 6]：

假设某一站点某一时段降水量为x，则其GAMMA分布的概率密度函数为：

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (6)$$

$\Gamma(\alpha)$ 为GAMMA函数， α 为形状参数， β 为尺度参数，二者可用最大似然法拟合求得。

$$\alpha = \frac{1}{4A} (1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}) \quad (7)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (8)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (9)$$

其中n为降水数据的时间序列长度。在给定的时段序列长度下降水量为x的累积概率为：

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (10)$$

设 $t = x / \beta$

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (11)$$

这样就构造出一个标准的不完全 GAMMA 函数，在 IDL 中应用 IGAMMA 函数可直接求得 G(x)。但求得的 G(x)不包括 x 为 0 的情况，现实中 x 可以为 0，这种情况下累积概率应表示为：

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (12)$$

q 为给定时间序列里降水为 0 的次数与时间序列长度的比值。求 H(x) 的正太分布函数：

$$H(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-Z^2/2} dx \quad (13)$$

近似计算得：

$$0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = -(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \quad (14)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}} \quad (15)$$

$$0.5 < H(x) \leq 1.0$$

$$Z = SPI = +(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \quad (16)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1.0 - H(x))^2}} \quad (17)$$

其中： $C_0=2.515 517$ ， $C_1=0.802 853$ ， $C_2=0.010 328$ ， $d_1=1.432 788$ ， $d_2=0.189 269$ ， $d_3=0.001 308$ 。

以研究区内73个气象站点1970年到2009年的降水数据为基础，建立降水的累积概率分布函数，代入2007年10至2008年4月的逐旬的前一个月降水数据，得到逐旬的一个月尺度的SPI数据。图3到图5为各类型草原区逐旬SPI值平均值构成的时间序列。从中可以看出，2007到2008年的枯草季节中，草甸草原区10月和2月偏干；典型草原区10月、12月、2月和3月偏干；荒漠草原区12月和2月偏干。



图3 草甸草原区 SPI 时间序列
Fig.3 time serial of SPI in meadow steppe region



图4 典型草原区 SPI 时间序列
Fig.4 time serial of SPI in steppe region



图5 荒漠草原区 SPI 时间序列
Fig.5 time serial of SPI in desert steppe region

表格 2 标准化降水指数干旱等级划分

Table 2 the grade dividing standards of drought base on standard Precipitation index

等级	类别	SPI 值
grade	class	The value of SPI
1	无旱	-0.5<SPI
2	轻旱	-1.0<SPI≤-0.5
3	中旱	-1.5<SPI≤-1.0
4	重旱	-2.0<SPI≤-1.5
5	特旱	SPI≤-2.0

为了满足空间数据叠加的需要，根据气象数据的地理坐标位置，将 73 个气象站点 SPI 数据用 Kriging 法进行空间插值[7]。插值过程中选用的 Kriging 参数为变程为样点间的平均距离的 8 倍，基值为 1，块金值为 0。插值后的数据，与遥感数据统一在相同的地理坐标系下，空间分辨率与遥感数据同为 1KM 网格数据。

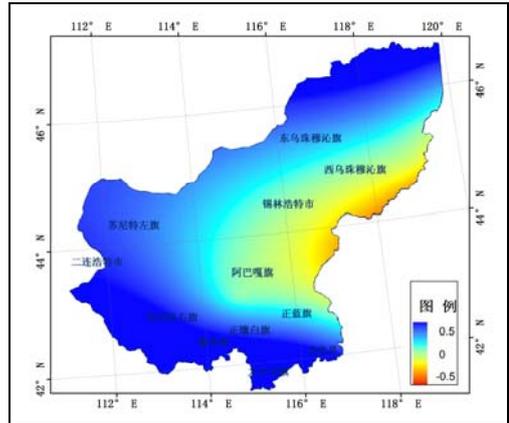


图6 2007年10月 SPI 分布图
Fig.6 SPI index in October, 2007

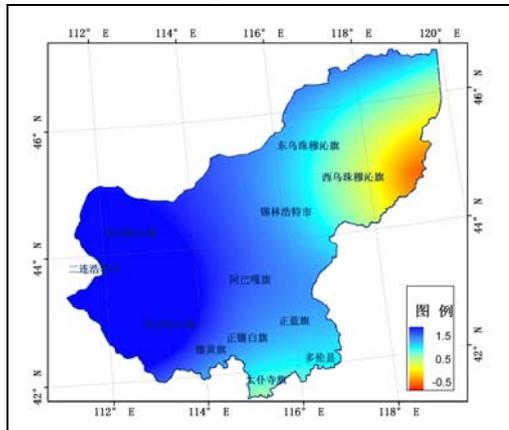


图7 2008年1月 SPI 分布图
Fig.7 SPI index in January, 2008

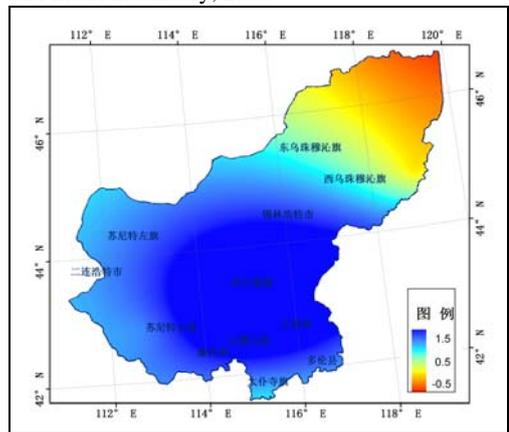


图8 2008年4月 SPI 分布图
Fig.8 SPI index in April, 2008

图6-图8为空间插值后的枯草季初期（10月）、中期（1月）、末期（4月）SPI分布图。应用 SPI 网格图与对应月份可燃物存量数据(W)、雪被数据(IF)和植被连续程度数据(PI)相结合，建立枯草季可燃物火险指数 FI(Fire Index)公式(18):

$$FI = W/200 \times (SPI+3)/6 \times PI \times (IF = \text{ture}) \times 0.5 +$$

$$W/200 \times (SPI-3)/(-6) \times PI \times (IF = \text{false}) \quad (18)$$

表格 3 火险等级划分

Table 3 the grade dividing standards of drought base on standard Precipitation index

等级	类别	FI 值
grade	class	The value of FI
1	低火险	$0.01 < FI$
2	中低火险	$0.01 \leq FI < 0.05$
3	中高火险	$0.05 \leq FI < 0.1$
4	高火险	$0.15 \leq FI < 0.25$
5	极高火险	$FI \geq 0.25$

火险指数值域分布范围在 0 到 1 之间。表 3 为火险等级划分表。

3. 结果与分析

3.1. 锡林郭勒草原牧区枯草季可燃物的动态变化

草甸草原属温性草甸草原类平原丘陵草甸草原亚类，主要为贝加尔针茅草原群系和羊草草原群系。根据表2显示枯草季初期（10月份）草甸草原可燃物存量平均 100.20 g/m^2 。可燃物变化率下降趋势相对平缓，11月份至翌年4月份的可燃物变化率枯草季初期的86%、20.36%，牧草保存率平均月递减率为13.27%。

表格 4 草甸草原可燃物月动态

Table 4 Combustible materials dynamic of meadow steppe

调查时间 (年/月)	可燃物存量 均值 (g/m^2)	变化率 (%)
2007/10	100.20	100.0
2007/11	86.53	86.4
2007/12	63.93	63.8
2008/01	55.13	55.0
2008/02	40.87	40.8
2008/03	26.87	26.8
2008/04	20.40	20.4

典型草原属温性典型草原类平原丘陵典型草原亚类，主要群系为大针茅草原群系和克氏针茅草原群系。根据表3显示可燃物变化率呈明显降低趋势，逐月递减幅度相差较大。典型草原10月份可燃物存量平均为 73.91 g/m^2 。典型草原牧草现存量的递减趋势分为两个阶段，第一阶段为10月份到12月份，其中11月份和12月份牧草保存率分别为68.39%和42.68%，可燃物变化率的降低速度较快，月平均递减率为28.66%；第二阶段为后四个月，可燃物变化率从33.95%减到14.76%，四个月变化率的降低幅度为28.12%，平均月递减率仅为7.03%。

表格 5 典型草原可燃物月动态

Table 5 Combustible materials dynamic of steppe

调查时间 (年/月)	可燃物存量 均值 (g/m^2)	变化率 (%)
2007/10	73.91	100.00
2007/11	50.55	68.39
2007/12	31.55	42.68
2008/01	25.10	33.95
2008/02	18.57	25.12
2008/03	13.50	18.27
2008/04	10.91	14.76

2007/10	73.91	100.00
2007/11	50.55	68.39
2007/12	31.55	42.68
2008/01	25.10	33.95
2008/02	18.57	25.12
2008/03	13.50	18.27
2008/04	10.91	14.76

荒漠草原属温性荒漠草原类平原丘陵荒漠草原亚类，主要群系为戈壁针茅草原群系、多根葱草原群系和小叶锦鸡儿草原群系。如表4所示，荒漠草原可燃物变化率与典型草原率变化趋势类似。荒漠草原10月份的可燃物存量平均为 51.85 g/m^2 ，荒漠草原可燃物存量的递减趋势分为两个阶段，第一阶段为10月份到12月份，两个月的减少幅度为64.69%，平均月递减率为32.25%；第二阶段为后四个月，变化率分别为22.55%、16.17%、6.84%和3.32%，四个月降低幅度为31.99%，平均月递减率为8.00%。

表格 6 荒漠草原可燃物月动态

Table 6 Combustible materials dynamic of desert steppe

调查时间 (年/月)	可燃物存量 均值 (g/m^2)	变化率 (%)
2007/10	51.85	100.00
2007/11	32.38	62.46
2007/12	18.31	35.31
2008/01	11.69	22.55
2008/02	8.38	16.17
2008/03	3.55	6.84
2008/04	1.72	3.32

3.2. 可燃物存量遥感监测结果

空间分布上，锡林郭勒盟草原牧区的可燃物存量为从东北向西南递减分布，这与本地区的草甸草原、典型草原和荒漠草原为东北向西南分布相一致。可燃物存量最高值出现在东乌珠穆沁旗东北的林缘草甸地区；最低值出现在苏尼特右旗北部以及二连浩特地区。在行政区划的分布上西乌珠穆沁旗可燃物均值最高，二连浩特市的均值最低。时间分布上，草甸草原枯草季在期间的变化幅度最大，可燃物在枯草季初期平均值为 103 g/m^2 ，到了枯草季末期均值下降为 21 g/m^2 。典型草原枯草季初期的可燃物在平均值为 65 g/m^2 ，末期均值下降为 10 g/m^2 。荒漠草原可燃物在枯草季初期平均值为 26 g/m^2 ，末期均值下降为 1 g/m^2 。

10月份，由于是在枯草季节的初期，可燃物的存量处于较高的水平，东、西乌珠穆沁旗的东部地区可燃存量在 150 g/m^2 以上。锡盟中部的锡林浩特市位于典型草原区，其可燃存量为 65 g/m^2 左右。西部的苏尼特左、右旗发育有荒漠草原，其可燃存量多低于 30 g/m^2 。

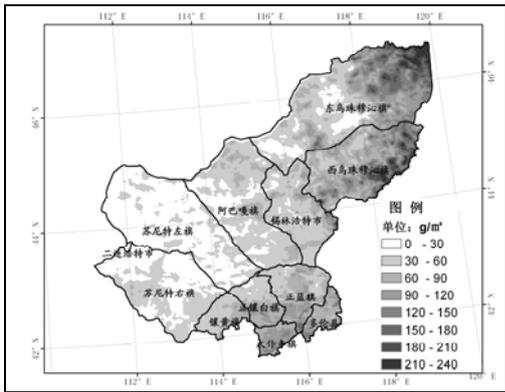


图9 锡林郭勒盟 2007年10月可燃物存量分布图
Fig.9 The amount of combustibile materials of Xilinguole in October, 2007

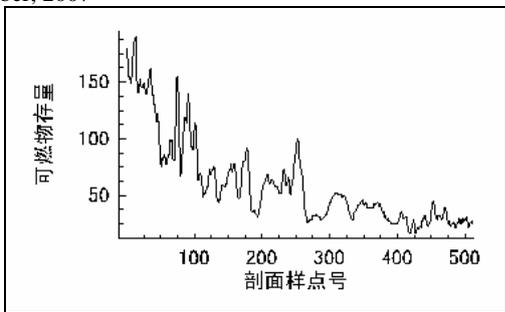


图10 锡林郭勒盟 2007年10月可燃物东北西南向剖面图
Fig.10 The northeast to southwest profile of combustibile materials distribution of Xilinguole in October, 2007

1月份(图3, 图4), 可燃物存量荒漠草原下降的最快, 苏尼特左、右旗平均存量为6 g/m²。锡林浩特市等典型草原地区, 其可燃存量为22 g/m²左右。东、西乌珠穆沁旗草甸草原地区可燃存量均值为63 g/m²。

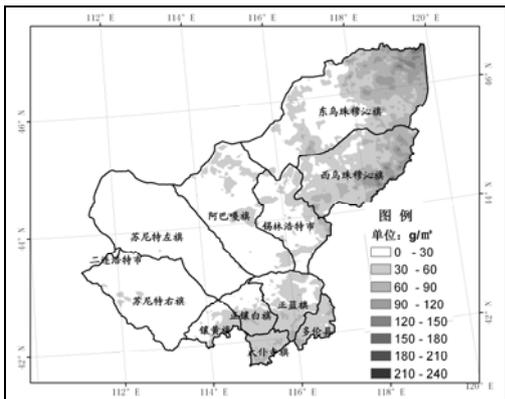


图11 锡林郭勒盟 2008年1月可燃物存量分布图
Fig.11 The amount of combustibile materials of Xilinguole in January, 2008

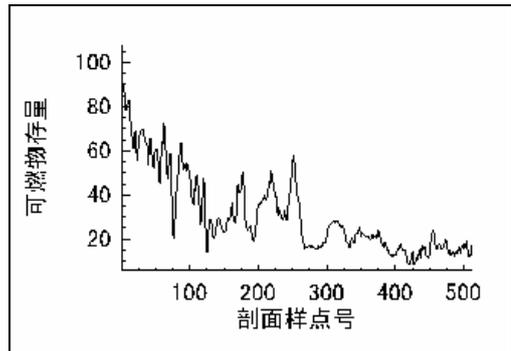


图12 锡林郭勒盟 2008年1月可燃物东北西南向剖面图
Fig.12 The northeast to southwest profile of combustibile materials distribution of Xilinguole in January, 2008

枯草季末期4月份(图5, 图6), 可燃物存量处于最低值, 荒漠草原平均存量仅为1 g/m²。典型草原地区, 其可燃存量为10 g/m²左右。东、西乌珠穆沁旗草甸草原地区可燃存量均值为21 g/m²。

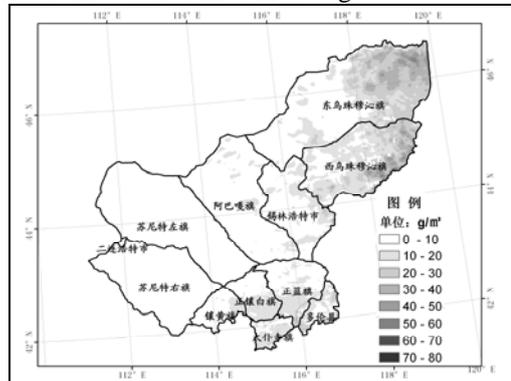


图13 锡林郭勒盟 2008年4月可燃物存量分布图
Fig.13 The amount of combustibile materials of Xilinguole in April, 2008

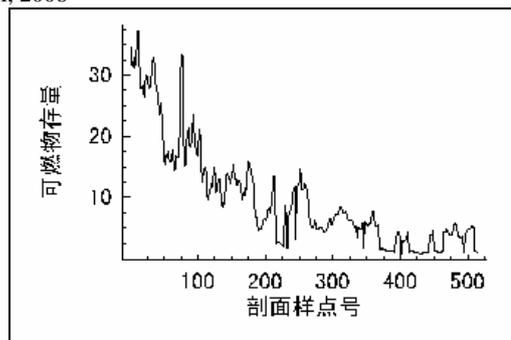


图14 锡林郭勒盟 2008年4月可燃物东北西南向剖面图
Fig.14 The northeast to southwest profile of combustibile materials distribution of Xilinguole in April, 2008

3.3 火险等级评估结果

叠加气象指标 SPI 数据、雪被数据、植被连续数据以及可燃物存量数据计算利用火险指数。应用决策树对火险指数数据进行分类生成火险等级图。

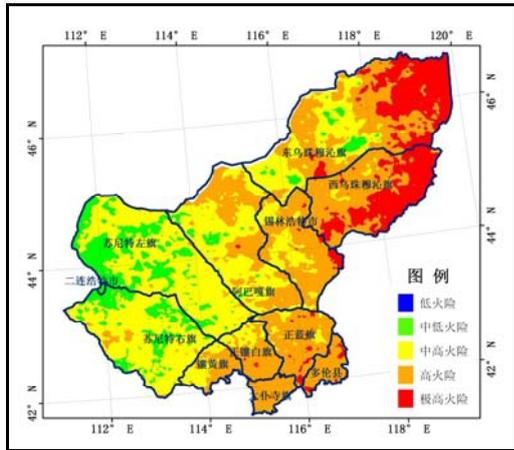


图 15 2007 年 10 月火险等级图
Fig.15 The Fire Risk in October, 2007

2007 年 10 月枯草季初期, 锡林郭勒盟火险程度多中高火险和高火险。可燃物存量较高, 其中以东乌珠穆沁旗东部的草甸草原存量最高。西乌珠穆沁旗东南部降水偏少, 天气干旱, 这两个原因形成东部极高火险区。西乌珠穆沁旗西部, 锡林郭勒市、阿巴嘎旗东部以及南部五个旗多高火险。阿巴嘎旗西部、苏尼特左旗以及苏尼特右旗以中高火险为主, 中低火险区在其中零星分布。

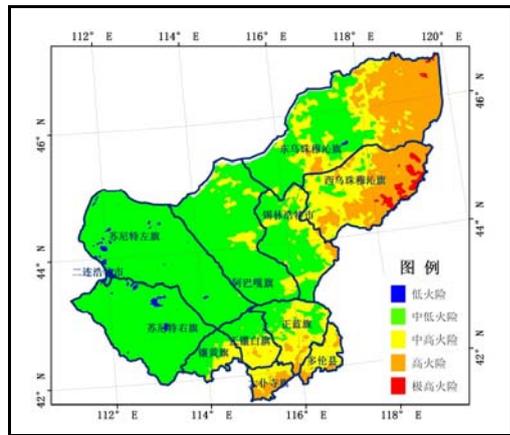


图 16 2008 年 1 月火险等级图
Fig.16 The Fire Risk in January, 2008

2008 年 1 月枯草季中期, 大部分地区为中低火险区。极高火险区零星分部于西乌珠穆沁旗东部。东乌珠穆沁旗东部和西乌珠穆沁旗东部降主要为高火险区。西乌珠穆沁旗西部、正蓝旗、正镶白旗南部、多伦县以及太仆寺旗多为中高火险。其余的大部分地区为中低火险区。低火险区零星分布于苏尼特左旗和苏尼特右旗。

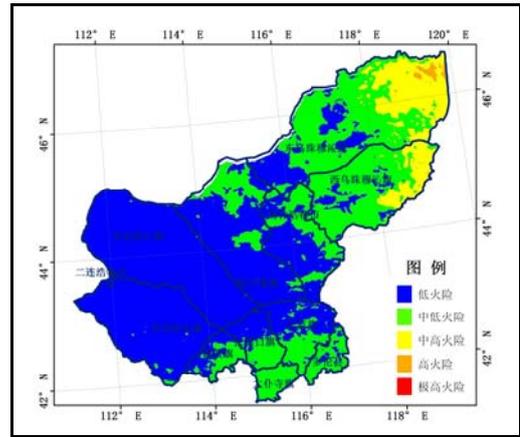


图 17 2008 年 4 月火险等级图
Fig.17 The Fire Risk in April, 2008

2008 年 4 月枯草季末期, 大部分地区为低火险区。东乌珠穆沁旗东部和西乌珠穆沁旗东部有中高火险区分布。东乌珠穆沁旗西部、西乌珠穆沁旗中西部、正蓝旗南部、正镶白旗南部、多伦县以及太仆寺旗多为中低火险。其余的大部分地区为低火险区。

表格 7 火险等级面积表(单位: km²)
Table 7 Fire Risk Area Statistic(Unit: km²)

	低	中低	中高	高	极高
10 月	0	19386	78179	75622	25928
11 月	0	56645	74623	64359	3488
12 月	0	27747	86102	69292	15974
1 月	1308	121603	41857	32310	2037
2 月	64	95516	53378	48170	1987
3 月	32662	148973	17069	392	19
4 月	112823	68290	17021	973	8

表格 8 火险等级面积百分比表
Table 8 Fire Risk Percent of Area Statistic

	低	中低	中高	高	极高
10 月	0.0%	9.7%	39.3%	38.0%	13.0%
11 月	0.0%	28.4%	37.5%	32.3%	1.8%
12 月	0.0%	13.9%	43.2%	34.8%	8.0%
1 月	0.7%	61.1%	21.0%	16.2%	1.0%
2 月	0.0%	48.0%	26.8%	24.2%	1.0%
3 月	16.4%	74.8%	8.6%	0.2%	0.0%
4 月	56.7%	34.3%	8.5%	0.5%	0.0%

表 7、表 8 为火险等级面积统计表。2007 年 10 月, 中高火险和高火险地区占总区域面积最多, 分别为 39.3%和 38.0%。10 月无低火险区分布。11 月中低、中高和高火险区面积相近, 均占总面积的 30%左右; 极高火险区面积由上月的 25928 km², 缩减为 3488 km², 缩减面积占锡林郭勒盟总面积的 11.2%。12 月中高火险区的面积最大占全盟总面积

的 43.2%；高为险区的面积居次，面积比例为 34.8%；中低风险区占全盟的面积比为 13.9%；极高风险区的面积较上月有所增加，从 3488 km² 增长为 15974 km²。2007 年 1 月到 12 月均元低火险区分布。2008 年 1 月全盟 61.1% 的区域为中低火险区；其次为中高火险和高火险区，分别占总面积比为 21.0%、16.2%；另外低火险区和极高火险区均有少量分布。2 月中低火险区面积下降为 48%；中高火险和高火险区的面积均有上升，分别为 26.8%、24.2%。3 月中低火险区面积最大占全盟总面积的 74.8%；低火险区面积增长为全盟面积的 16.4%。4 月全盟 56.7% 的地区为低火险区；中低火险区占总面积的 34.3%；另有少量的中高火险区和高火险区分布。

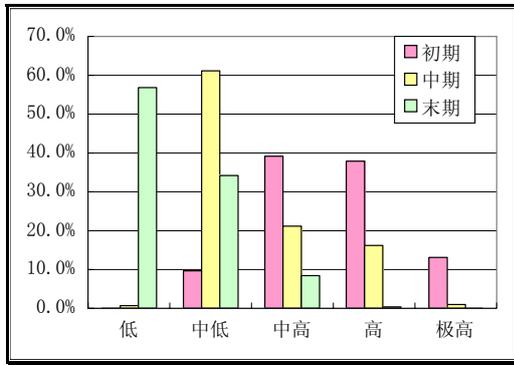


图 18 火险等级变化图

Fig.18 The Fire Risk Transformation in January, 2008

图 18 为各火险等级面积比在枯草季不同时期的变化对比图。由图可见，初期火险等级程中低、中高到高、极高均匀正态分布状；中期，以中低风险区为主，中高火险、高火险区次之，低风险区和极高火险区少量分布。末期以低风险区分布最多，中低、中高火险区面积依次递减，高火险区和极高火险区分布极少。

4. 结论与讨论

枯黄牧草作为枯草季节可燃物的主体，实现动态监测对草原火灾的风险管理有个重要的意义。本文在地面实测数据的支持下，获得了锡林郭勒盟地区不同类型草地的可燃物逐月的动态变化率。结果表明枯草季草原火灾可燃物的存量程逐月递减趋势，其中草甸草原月平均变化率为 13.27%；典型草原与荒漠草原动态变化程两个阶段，第一阶段为 10 月份到 12 月份，第二阶段为后四个月，典型草原地区的可燃物动态变化的第一阶段可燃物变化率的降低速度较快，月平均递减率为 28.66%；第二阶段平均月递减率仅为 7.03%，荒漠草原地区的可燃物动态变化

的第一阶段可燃物变化率月平均递减率为 32.25%；第二阶段平均月递减率仅为 8%。

锡林郭勒盟草原牧区的可燃物的月动态遥感监测结果表明在空间分布上，锡林郭勒盟草原牧区的可燃物存量为从东北向西南递减分布，可燃物存量最高值出现在东乌珠穆沁旗东北的林缘草甸地区；最低值出现在苏尼特右旗北部以及二连浩特地区。时间分布上，可燃物的存量程逐月递减趋势，草甸草原枯草季在期间的变化幅度最大，典型草原次之。荒漠草原可燃物变化幅度最小。

火险等级面积比在枯草季不同时期火险程度不同。初期火险等级分布以中低、中高为主，分别占全锡盟总面积比为 39.3%、38.0%。；中期，以中低风险区为主，中高火险、高火险区次之，面积比分别为 61.1%、21.0% 和 16.2%；末期以低风险区分布最多，占全锡盟总面积 56.7%，中低风险区面积次，所占之面积比 34.3%。

应用成熟的产草量遥感反演模型反演生长季后期的产草量，结合植被的干湿比例数据可以获得枯草季节初始的可燃物存量，再根据可燃物在枯草季节存量的动态变化率，可以估算出枯草季节可燃物的动态变化，这种方法绕过了常用遥感数据对枯黄牧草监测能力有限的瓶颈，实现了原草区枯草季节可燃物存量的大面积、快速的动态监测。这一方法反演的精度主要取决于生长季产草量遥感模型的精度，在实际应用中可以根据不同的研究区域选取更适合当地的产草量模型，从而提高监测的精度。依据气象数据与多种地表数据的建立的多因子火险指数，立体的表达了地表可燃物致灾的危险程度。如果进一步使用长时间序列记录的草原火灾数据，计算火灾发生频度，然后与火险指数相进行统计分析获具有明确统计学意义的火险等级划分方案，则能使本文的监测方法实用性得到进一步提高。

参考文献

1. 裴浩, 李云鹏, 范一大, 利用气象卫星 NOAA / AVHRR 资料监测温带草原枯草季节牧草现存量的初步研究, 中国草地, 06: 11-14, 1995
2. 色音巴图, 草原可燃物动态研究, 中国草地, 05: 48-52, 2009
3. 徐斌, 杨秀春, 覃志豪, 刘海启, 缪建明, 中国草原产草量遥感监测, 生态学报, 02: 54-60, 2007
4. 陈世荣, 草原火灾遥感监测与预警方法研究, 中国博士学位论文全文数据库, 2006 年
5. Seiler R. A., Hayes M., Bressan L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring [J]. International Journal of Climatology, 2002, 22(11): 1365- 1376
6. GB/T 20481-2006 气象干旱等级
7. 闫殿武.IDL 可视化工具入门与提高[M].北京.机械工业出版社.2003

8. 宋连春, 邓振偏, 蓝安祥.干旱 [M].北京:气象出版社, 2003.
9. 史培军; 三论灾害研究的理论与实践田; 自然灾害学报, 2002, 11(3):1-9.
10. 张继权, 李宁; 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用; 北京:北京师范大学出版社, 2007.
11. 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一; 综合自然灾害风险管, 城市与减灾, 2005, 2
12. 黄崇福; 自然灾害风险分析理论与实践[M]北京:科学出版社, 2005. 1-7.
13. 黄崇福,刘新立,周国贤,等.以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J].自然灾害学报, 1998, 7(2):1-8
14. 牛建明. 气候变化对内蒙古草原分布和生产力影响的预测研究. 草地学报, 2001, 9(4): 277~282