

北方草地生态气象综合监测预测技术及其应用

钱 拴 毛留喜 侯英雨 吴门新 王良宇

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 近几十年来中国 90% 以上的草地出现退化现象,特别是内蒙古、宁夏、甘肃、新疆、青海、西藏等地区,草地退化严重,国家急需掌握气象条件对草地植被生长的影响,了解草地生产力、牲畜承载力以及生态质量状况。为此,在实时获取北方草地气温、降水量、日照时数等气象要素和气象卫星植被指数以及产草量观测资料的基础上,应用模糊数学、集合运算、统计分析等多种方法和“3S”手段,建立了北方草地植被生长气象条件优劣评价、产草量和载畜量预测、草地生态质量监测等模型。2005 年以来,利用这些模型逐年评价了气象条件对草地植被生长的优劣影响、预测产草量和载畜量、监测草地生态质量优劣,获得了良好的服务效益。北方草地 2007 年生态气象监测预测结果表明:所建模型综合了多种资料和技术优势,结果符合实际;形成的综合监测预测技术可为国家保护和恢复草地生态环境提供科学依据。

关键词: 气象条件评价 产草量 载畜量 生态质量监测

Technology and Application of Ecology Meteorological Synthetic Monitoring and Predicting for Northern Grassland in China

Qian Shuan Mao Liuxi Hou Yingyu Wu Menxin Wang liangyu

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: The grassland of more than 90% has degraded to some extent in recent decades in China, especially the grassland in Inner Mongolia, Ningxia, Gansu, Qinghai, Xinjiang and Tibet degraded severely. The management department urgently needs to know how the meteorological influence on grassland vegetation growth, production, carrying livestock and ecological quality. The models about evaluating of meteorological conditions, predicting of grassland production and carrying livestock, and monitoring of ecological quality have been established by utilizing the fuzzy mathematics, collection operation, statistical analysis and “3S” technology. The used data in the model are grassland temperature, precipitation, sunlight hours, NOAA NDVI, grass biomass

本研究得到国家气象中心自筹基金、中国气象局新技术推广项目、2007 年生态与农业气象轨道项目的共同资助。

收稿日期: 2008 年 3 月 11 日; 修定稿日期: 2008 年 10 月 10 日

observation and so on. These models are used timely in service. The good benefits are obtained. The application of northern grassland ecological meteorological monitoring and predicting in 2007 is given. The result shows the models integrated many data resource and method advantage. The model results are close to the reality. The established synthetic technology can provide the scientific foundation for protection and restoration of grassland ecological environment.

Key Words: evaluating of meteorological conditions grassland production carrying live-stock ecological quality monitoring

引 言

草地面积占我国国土面积的 41.4%,在生态安全和食物安全中占有十分重要的地位。靠天生长的天然牧草以及依草生存的畜牧业受着气候条件的极大制约,气象要素的年际波动以及季节分配的异常往往给草地植被生长以及生态环境和畜牧业生产造成很大影响。特别是近几十年来,我国 90%以上的草地出现退化,已威胁国家的生态安全和食物安全,因此开展草地生态气象监测预测技术研究和服务具有重要的意义。

但是多年来,我国对草地的保护重视不够,研究不足,服务落后。进入新世纪以来,草地的生态恶化已引起广泛重视和关注。2003—2004 年青海、内蒙古等省(区)气象局相继建立了草地观测站,开展了植被盖度、牧草高度和产草量等资料的观测,为气象部门开展草地生态气象研究奠定了一定基础^[2-3],但是有关草地生态气象的研究仍很薄弱,没有形成系统的面向应用服务的模型和技术^[4-5],这种状态已远远不能满足国家保护和恢复草原生态环境的迫切需求。特别是内蒙古、新疆、青海、西藏、甘肃和宁夏等省区,天然草地面积有 2.75 亿公顷,占全国天然草地面积的 70.1%^[1],为我国的绿色生态屏障。为此,2005 年以来,国家气象中心以国家急需的一系列草地生态气象监测预测技术为重点、以实现业务化为目的,通过边研究、边应用、边服务,研究了多项北方草地生态气象监

测预测业务技术,开展了实时服务,为国家保护和恢复草地生态环境、实现畜牧业的可持续发展提供了科学依据。

1 资料及其处理

所用的资料包括气象、牧草产量以及 NOAA 卫星 NDVI 资料等。

气象资料为 1961—2007 年北方 103 个气象站的旬降水量、旬平均气温和旬日照时数,其中业务中使用的实时数据来自全国农业气象 AB 报,每旬进行追加处理,用于实时计算 103 个县旬草地植被生长气象条件指数^[6-8]。

牧草产量资料为青海省、内蒙古、宁夏自治区气象局提供的 2003—2007 年 6—9 月每月月末观测的牧草鲜产以及北方 18 个牧试站 1980 年代中期以来观测的牧草鲜产,单位 kg/ha,用于建立产草量气象预报和遥感估算模式。

卫星遥感植被指数为 NOAA 卫星 2003—2007 年每年 6—8 月每天 AVHRR 数据,取月最大 NDVI 值与月末观测的牧草产量相对应,具体处理方法见文献^[9-10],供建立牧草产量遥感估算模式使用。

研究中利用全国草地分类数据库中数字化草地类型图,掩去非草地类型,用以制作草地植被生长气象条件指数图和气象条件年际对比图及判断 NOAA/AVHRR 像元的草地类型。

2 技术与方法

我国草地基本为天然草地^[1],因此从气象影响天然草地植被生长和产量形成的角度出发,研究了气象要素对草地植被生长的优劣影响、草地生产力状况、草地牲畜承载能力、草地生态质量监测等问题,建立了包括气象条件优劣评价、产草量估测、载畜量预报、草地生态质量监测等模型。

2.1 草地生态气象条件优劣评价模型

气象要素是影响草地植被生长进而影响草地生态质量的最活跃、最直接的环境因子。以国家气象中心实时获得的旬平均气温、降水量、日照时数为基础,构建了气象条件指数,通过年际之间气象条件指数的对比,实现了旬、月、季、年等不同时段的年际之间草地植被生长气象条件的优劣评价,具体评价方法和指标见文献[6]。其中气象条件指数和对比评价模型见式(1)和式(2)

$$I_j = I_{pj} \wedge I_{tj} \wedge I_{sj} \quad (1)$$

式中 I_j 为一地第 j 旬草地植被生长气象条件指数, I_{pj} 、 I_{tj} 、 I_{sj} 分别为该地第 j 旬草地植

被生长水分、热量、日照条件指数, j 为旬序。

$$\Delta I_{y,y-1} = I_{j,y} - I_{j,y-1} \quad (2)$$

式中 y 为年代; $I_{j,y}$ 为第 y 年第 j 时段草地植被生长气象条件指数, $I_{j,y-1}$ 为第 $y-1$ 年第 j 时段草地植被生长气象条件指数; $\Delta I_{y,y-1}$ 为第 y 年与第 $y-1$ 年草地植被生长同一时段气象条件指数差值。当 $\Delta I_{y,y-1} \geq 0$ 时,说明第 y 年草地植被生长气象条件优于或接近第 $y-1$ 年;否则差于第 $y-1$ 年。

2.2 单点牧草产量预报模型

单点牧草产量是指该点单位面积草地的牧草产量,以鲜草 kg/ha 表示。一点牧草年最高单产为该点牧草在一年生长季内单位面积的最高产草水平。单点牧草产量为扩展估算行政区域产草总量和单位面积平均产草量的基础,因此在获取区域产草能力方面十分重要。牧草年最高单产的预测有许多方法。本研究以气象业务中能及时获取的气象资料和遥感资料为基础,分草地类型分析其与牧草地地面观测点牧草单产的关系,建立了牧草单产气象预报模型和遥感估算模型(3)至(9)(见表1),以预测不同类型草地的点上牧草单产。

表 1 不同草地类型牧草单产气象预报模型和遥感估算模型

所建模式类型	草地类型	牧草单产模型	R	n	模型编号
气象预报模型	北方干旱草地	$Y=561.97X_{3-8}^{1.19}$	0.6980	48	(3)
	青藏高原高寒草地	$Y=1017.67X_{8-9}^{1.85}$	0.8410	36	(4)
遥感估算模型	青藏高原高寒草甸类	$Y=107.595 * EXP(0.056X)$	0.7652	71	(5)
	青藏高原其它草地类	$Y=340.32 * EXP(0.032X)$	0.4907	30	(6)
	北方温性草甸草原类	$Y=197.38 * EXP(0.0521X)$	0.7350	51	(7)
	北方温性草原类	$Y=712.58+90.033X$	0.6766	74	(8)
	北方温性荒漠类	$Y=51.956+44.836X$	0.7900	12	(9)

注: R 、 n 分别为相关系数和样本数,模型均通过了 0.01 水平的显著性检验。

2.2.1 牧草单产气象预报模型

北方草地主要受水分和温度条件的制约,因此在建立牧草单产气象预报模型时,主要分干旱和高寒草地两大类。模型(3)至(4)是利用式(1)计算的牧草生长期间任意时段

气象条件指数,与牧草年最高单产进行相关分析,建立了适合内蒙古、宁夏、新疆等干旱草地和青藏高原高寒草地的牧草鲜产预报模型。式中 Y 为观测点的牧草年最高鲜产; X_{3-8} 为干旱草地 3—8 月气象条件指数,

X_{8-9} 为青藏高原高寒草地 8—9 月气象条件指数。由式可见,干旱草地牧草年最高产量与 3—8 月的气象条件密切相关,高寒草地牧草年最高产量与牧草生长后期 8—9 月气象条件密切相关,该时段气象条件的优劣对牧草年最高产量影响很大。

2.2.2 牧草单产遥感估算模型

北方 6 省区草地主要有 5 大类,即高寒草甸、高寒草原、温性草原、温性荒漠和温性草甸。青藏高原以高寒草甸、高寒草原为主,内蒙古、宁夏、甘肃北部和东部、新疆主要以温性草甸草原、温性草原、温性荒漠为主。青海 22 个、内蒙古 49 个和宁夏 18 个草地观测站的资料基本可以反映上述 5 大类草地的情况。利用 2003—2006 年 GPS 定位的草地产草量观测资料和相应的 NOAA 卫星 NDVI 资料,结合数字化草地类型图,分类建立的北方不同草地类型牧草单产估测模型见表 1 模型(5)至(9)。

2.3 行政区域产草总量和单产估测模型

2.3.1 行政区域产草总量计算模型

行政区域牧草总产的计算有两种途径:一是根据牧草单产气象预报模式预报的某一草地类型的牧草平均单产,乘以该类型代表的草地面积,进行加权求和;另一种是根据牧草单产遥感估测模式,计算区域内每个草地像元的单产,然后乘以草地像元的面积,累加计算行政区域的牧草总产。

其中行政区域牧草总产用式(10)计算:

$$R_t = \frac{1}{10^7} \sum_{i=1}^n 100 y_i x_i \quad (10)$$

利用遥感估产模型估测牧草总产时,式中 x_i 为行政区域内第 i 个草地像元的面积 (km^2); y_i 为该区域内第 i 个草地像元的牧草平均单产,单位 kg/ha ; n 为该区域草地像元数; R_t 为该区域牧草总产,单位 10^4t 。在利用气象预报模型估测牧草的总产时, x_i 、

y_i 、 n 、 R_t 分别为行政区域内第 i 类草地面积、牧草平均单产、草地类型数、牧草总产。

对遥感 NDVI 图像上每个草地像元的面积,用式(11)计算:

$$X_i = \frac{F_i}{36000} \times \frac{L}{36000} \quad (11)$$

式中 x_i 为第 i 草地像元的面积 (km^2); F_i 为第 i 类草地像元纬圈周长,单位为 km ,与地球椭圆体的长轴、短轴半径及像元的纬度有关; L 为经度周长,为常量,即 $L = 40007.033 \text{km}$; n 为行政区域内草地像元数。

2.3.2 行政区域牧草单产计算模型

综合行政区域牧草总产计算结果 R_t ,结合草地面积,计算区域牧草平均单产,以掌握行政区域单位面积牧草生产力,其式:

$$R_y = \frac{10^5 R_t}{R_x} \quad (12)$$

R_y 为行政区域牧草平均单产 (kg/ha), R_t 为行政区域牧草总产 (10^4t), R_x 为行政区域草地面积 (km^2)。

2.4 行政区域载畜量预报模型

载畜量的大小受多种因素的影响,如放牧时间、草地面积、牧草长势、可利用程度等。根据行政区域年度产草总量和牲畜需草量,预测载畜量模型:

$$Z_a = 10^3 \cdot \frac{R_{t_{\max}} \cdot u}{dt} \cdot s \quad (13)$$

式中 $R_{t_{\max}}$ 为行政区域年度最高鲜草总量 (10^4t); u 为草地适宜利用率; d 为牲畜日食草量 (kg/d),我国以标准羊为单位,日食草量鲜草为 $4 \text{kg}/\text{d}$; t 为放牧天数; Z_a 为行政区域载畜量(万只); S 为要预报的时段,全年取 1,半年取 1/2。

2.5 草地生态质量监测模型

衡量草地生态质量的最主要指标为草地生产力。在不考虑草地群落组成发生变化的

情况下,草地生产力越高,表明生态质量越好,否则生态质量越差。一地草地生产力的多年平均值反映了当地草地生产力的常年水平。因此利用 NPP 估算结果,构造的草地生态质量气象评价指数^[11-13]:

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\overline{NPP}} \times 100 \text{ 或}$$

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\sigma_{npp}} \times 100 \quad (14)$$

式中, NPP 为当年(月)的草地净初级生产力, \overline{NPP} 为草地净初级生产力的历年(月)平均值, σ_{npp} 为草地净初级生产力的均方差。依据生态质量气象评价指数的大小,划分生态气象等级。

3 结果应用及检验

利用模型(1)至(9),2005 年以来对内蒙古、新疆、青海、西藏、甘肃和宁夏等北方 6 省区草地植被生长期间的气象条件优劣、草地生态质量进行了动态监测和评价,对产草量和载畜量进行了预报,结果应用于实时服务中,本文以最新的 2007 年北方草地生态气象监测预测结果为例,进行应用说明和检验。

3.1 结果应用

3.1.1 北方草地生态气象条件优劣评价

2007 年 4—9 月牧草生长季草地植被生长气象条件评价结果(图 1,见彩页)。可见,2007 年北方大部草原区气象条件指数高于 2006 年,说明气象条件好于 2006 年同期。偏好的原因主要是由于 2007 年降水多于 2006 年和常年,其中西北地区 and 青藏高原大部降水偏多,水分条件优越;加之,2007 年 9 月气温偏高,早霜冻偏迟,延长了牧草生长时间,牧草长势明显好于 2006 年同期。而内蒙古中东部 2007 年牧草生长期降水量较常年同期偏少 3~5 成,比 2006 年同期偏少

20mm 以上,部分地区偏少 50~150mm,发生了严重的春夏秋连旱,造成牧草生长的气象条件不如 2006 年和常年。

3.1.2 北方草地产草量预报

利用牧草单产气象预报和遥感估产模型以及行政区域牧草总产、单产预报模型,对 2007 年北方草原省牧草产量的预报结果表明:北方草地牧草单产为 1322kg/ha、总产 39269×10⁴t,比 2006 年约增 3%。其中,新疆、甘肃、宁夏、西藏等省区牧草年最高产量高于 2006 年,分别增 22%、10%、10%、1%;内蒙古和青海略偏低,分别减产 1%、4%。2007 年牧草单产偏高的区域主要位于新疆、甘肃、宁夏和西藏等省区的大部地区、青海东部以及内蒙古东北部和西部;偏低的地区位于内蒙古中东部、青海中部和南部、新疆西南部等地。

3.1.3 北方草地载畜能力预报

利用载畜量预报模式在 2007 年牧草生长结束时对 2007—2008 年度北方天然草地载畜能力的预报结果:北方 6 省区天然草地年可载牲畜数量为 16138 万只标准羊单位,比 2006—2007 年度约增 3%。2008 年新疆、甘肃、西藏、宁夏载畜能力明显增强,可分别增加 589、124、31、12 万只标准羊单位;青海、内蒙古载畜能力减弱,将分别减 44、200 万只标准羊单位。

3.1.4 北方草地生态质量评价

利用草地生态质量气象评价指数模式对 2007 年北方草地春季、夏季以及 4—9 月生长季草地生态质量进行了评价。以 4—9 月生长季为例,评价结果:2007 年北方大部草原区生态质量较 2006 年明显好转,西北和青藏高原大部尤为明显(见图 2),生态质量偏好。内蒙古中东部 2007 年降水偏少,干旱对典型草原植被的生长造成了严重影响,但草甸草原受旱影响较小;加之,内蒙古西部降水偏多,使得内蒙古总体生态质量基本接近

2006 年同期。而青海 8—9 月阴雨偏多,生态质量偏差的面积略多于 2006 年。

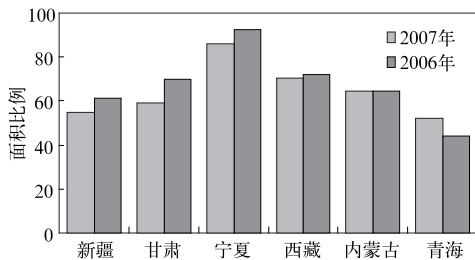


图 2 2007 年与 2006 年北方 6 省区草地生态质量偏差面积比例对比图

但北方大部分草地生态质量仍不如常年(见图 3,见彩页)。其中,较常年偏差的区域主要位于于内蒙古中东部、新疆东北部和西南部、宁夏大部、甘肃东北部和西部以及青藏高原中西部地区,说明 2007 年这些地区的草地植被未恢复到常年水平。草地生态质量接近常年的地区主要位于于内蒙古东北部和西部、新疆西北部和东南部、甘肃西南部、青海东部和南部、西藏东部等地,生态质量尚可。

3.2 结果检验

本研究利用影响草地植被生长的气象要素,能够反映草地植被生长结果的卫星 NDVI 以及牧草地地面观测资料,从气象驱动、结果反映等角度,建立了可以反映草地各种状况的气象监测预测模型,其结果之间可以相互印证、互为补充,共同构成草地生态气象综合监测预测技术体系。2007 年草地生态气象各种监测预测模型相互证的结果表明:北方草地气象条件优于 2006 年的区域或省区,如西北和青藏高原大部,其产草量和载畜量也偏高,草地生态质量偏好;气象条件偏差的内蒙古中东部、青海中部和南部,其产草量和载畜量偏低,生态质量偏差,两省(区)产草能力和载畜能力受到影响,产草量和载畜量偏低,生态质量偏差。同时,有关模型的验证结

果也表明:草地植被生长气象条件评价模型可以反映牧草长势和产量形成的结果^[6],牧草产量预报接近实际^[10];另外,对可以获取年最高牧草产量实测结果的青海、内蒙古验证结果也表明,2007 年两省(区)牧草年最高产量预报准确率分别为 98%、93%。说明结果比较符合实际。

4 结论与讨论

以国家保护和恢复草地生态环境所需为目标,以业务资料为基础,以实现业务化为目的,研究了北方草地生态气象监测预测综合技术,2005 年以来的服务实践表明:

(1) 以旬、月、季以及生长季为时间尺度的草地植被生长气象条件评价模型,能客观动态地评价草地植被生长期气象条件的优劣;在此基础上构建的牧草产量气象预报模型反映了光温水气象条件对牧草生长以及产量形成的综合影响。

(2) 牧草遥感估产是一种快速估算草地生产力的方法,建立的北方主要草地类型牧草产量估算模型,基本可以反映牧草生产力状况。

(3) 草地载畜能力是政府需要掌握的问题,本研究基本解决了草地载畜能力预测技术。

(4) 所建模型从气象条件对草地植被生长的影响、产草量和载畜预测、草地生态质量监测等多方面探讨了草地生态气象综合监测预测技术,应用效果较好。但因时间有限,目前仍存在一定问题。如:面对草地地面观测零乱,各省发展水平参差不齐的情况,国家气象中心在 2007 年生态与农业气象轨道项目“典型生态系统气象监测评估业务能力初步建设”中带动省级进行了草地生态调查研究,随着资料的增多,产草量和载畜量预报模型将会得到更新和改进。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司和全国畜牧兽医总站主编. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 346-350.
- [2] 王江山主编. 青海省生态环境监测系统[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 57-60, 131-136.
- [3] 李海红, 许正旭, 张海珍. 青海省生态环境监测业务系统[J]. 气象, 2005, 31(12): 65-68.
- [4] 王英舜, 杨文义, 贺俊杰. 草原干旱对天然牧草生长发育及产量形成的影响[J]. 气象, 2001, 33(6): 12-15.
- [5] 杨英莲, 邱新法, 殷青军. 基于 MODIS 增强型植被指数的青海省牧草产量估产研究[J]. 气象, 2007, 27(2): 102-106.
- [6] 钱拴, 毛留喜, 张艳红. 中国天然草地植被生长气象条件评价模型[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1499-1504.
- [7] 钱拴, 毛留喜. 北方牧草生长气象条件评价方法研究[G]. 2006 年中国草业发展论坛论文集: 491-497.
- [8] 钱拴, 毛留喜, 张艳红, 等. 草地生长气象条件优劣评价方法研究. 中国生态与农业气象业务技术进展[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 46-51.
- [9] 钱拴, 毛留喜, 侯英雨, 等. 青藏高原天然草地载畜能力和草畜平衡问题研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 389-396.
- [10] 侯英雨, 毛留喜, 钱拴, 等. 青海省牧草产量的遥感估算及其时空分布规律[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1-7.
- [11] 毛留喜, 李朝生, 侯英雨, 等. 2006 年上半年全国生态气象监测与评估[J]. 气象, 2006, 32(11): 105-112.
- [12] 毛留喜, 钱拴, 侯英雨, 等. 2006 年夏季川渝地区高温干旱的生态气象监测与评估研究[J]. 气象, 2007, 33(3): 83-88.
- [13] 毛留喜, 侯英雨, 钱拴, 等. 气象条件驱动的生态与环境监测评估技术研究[M]. 中国生态与农业气象业务技术进展. 北京: 气象出版社, 2007.

钱拴等：北方草地生态气象综合监测预测技术及其应用

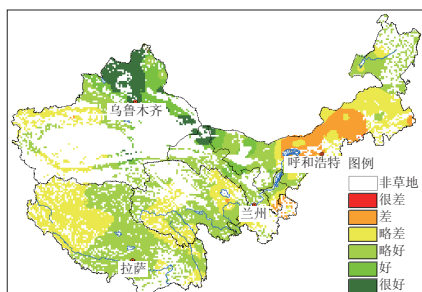


图1 2007年与2006年4—9月北方草地植被生长气象条件指数对比评价结果分布图

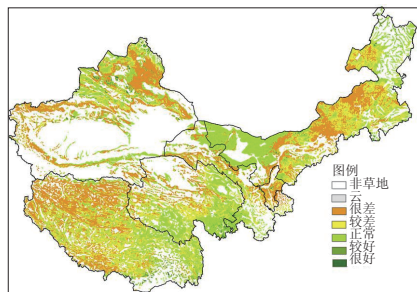


图3 2007年北方6省区草地生态质量等级(与常年相比)图