

doi:10.7515/JEE201602006

锡林郭勒草地产草量空间动态变化及影响因素分析

张文华¹, 贾志斌¹, 卓义^{1,2}, 蒋欣阳¹

(1. 内蒙古大学 环境与资源学院, 呼和浩特 010021;

2. 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010)

摘要: 以内蒙古锡林郭勒盟为研究区, 在陈世荣建立模型的基础上, 明确 2000—2010 年产草量的空间分布及变化情况, 从而反映研究区草地生长状况及空间格局的动态变化, 并对相关影响因素进行分析。结果表明: (1) 11 年草地平均产草量为 1.2×10^7 t, 平均单产为 $601.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 整个研究时间序列中产草量在 1.0×10^7 t— 1.5×10^7 t 波动变化; (2) 草地产草量的地域性差异较明显, 产草量空间分布情况为东部 > 中部 > 西部, 其中中部及东部产草量变化较大, 西部几乎无明显变化; (3) 草地产草量受自然因素和人为因素的综合影响, 其中降水量和载畜量是影响草地产草量的重要因素。

关键词: 净初级生产力; 空间格局; 动态变化; 影响因素; 管理措施

Space dynamic change of pasture amount and influence factors analysis in Xilin Gol Grassland

ZHANG Wenhua¹, JIA Zhibin, ZHUO Yi^{1,2}, JIANG Xinyang¹

(1. College of Environment and Resources of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China;

2. Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Science, Hohhot 010010, China)

Abstract: Background, aim, and scope Grassland ecosystems can provide the regulation of climate, water conservation, sand-fixing and other important ecosystem services, it is an important material basis for regional economic and social development. Make a reasonable assessment to grassland yield, can not only effectively learn the structure, coordination of function and environmental carrying capacity of grassland ecosystem, but also make a correct assessment of livestock development in the study area. It can also protect and rational utilize of grassland, promote sustainable development of animal husbandry, maintain and improve the ecological environment quality, refer to reasonable and effective response. However, due to the combined effect of human-made and natural factors, making significant changes in grassland ecosystem. Based on the model of the establishment by Chen Shirong, yield of grass was determined in Xilin Gol League from 2000 to 2010, which reflect the growth conditions of grassland and its dynamic change of spatial patterns in the study area, and the relevant factors has been analyzed. This has important implications for the sustainable development and use of grasslands.

收稿日期: 2015-11-23; 录用日期: 2016-02-04

Received Date: 2015-11-23; Accepted Date: 2016-02-04

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2013MS0506); 中国农业科学院创新工程项目 (CAAS-ASTIP-IGR2015-04)

Foundation Item: Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region (2013MS0506); Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Science (CAAS-ASTIP-IGR2015-04)

通信作者: 卓义, E-mail: zhuoyii@126.com

Corresponding Author: ZHUO Yi, E-mail: zhuoyii@126.com

Materials and methods Based on the ArcGIS and the NPP data from EOS/MODIS of NASA, by using the model of establishment by Chen Shirong, calculation grass yield of Xilin Gol from 2000 to 2010, time resolution is 16 d, spatial resolution is 1000 m×1000 m, calculate and study the change of grass yield. First of all, calculate the grassland production and distribution of the area. Secondly, in order to ensure the feasibility of NPP data results, combined with the accuracy of a comprehensive analysis of personnel related. Thirdly, introduction of temperature, precipitation and other natural factors and human factors such as livestock capacity, analyze the impact of these factors on Pasture amount.

Results The results show that (1) The distribution of grass yield has significant spatial differences, eastern grass yield is higher, prairie hay yields decreasing from east to west, the western region grass yield is the lowest. Where in the central and eastern grass production change vary widely, all hay yield more than 700 kg·hm⁻², almost no significant changes in the west, hay yield at 200 kg·hm⁻² or less. (2) Xilin Gol annual grass production has significant fluctuations changes from 2000 to 2010, the average grass yield of 11 years is 1.222×10⁷ t, an average yield is 601.97 kg·hm⁻², there are 5 years in which grass yield more than average, peak value of grass yield reached 1.473 ×10⁷ t in 2003; there are 5 years in which grass yield less than average, the lowest is 1.041× 10⁷ t in 2007; the grass yield in 2006 is at the average level; grass yield of 11 years fluctuation range is between 1.0×10⁷ t and 1.5×10⁷ t, the grass yield of overall 11 years has a decreasing trend. (3) Temporal and spatial variation of rass production in Xilin Gol Grassland have a certain relationship with vegetation types, natural factors and man-made factors are all influencing on grassland distribution and grass yield comprehensively, and precipitation and stocking rates are the most important factors affecting the amount of yield. Precipitation is the main limiting factor for growth of vegetation, the reduced regional precipitation resulted in the decrease of vegetation yield. The relationship between temperature and grass production is weak, although temperatures have an impact on the production of grass, but the effect is not obvious. Stocking rate is an important factor affecting grassland ecosystems, stocking rates are very high, increasing the pressure on grassland ecosystem, thereby destroying the ecological balance.

Discussion Through the analysis of influencing factors to grassland ecological, we can know that overgrazing is a main factor to destroy grassland ecosystem. As a matter of fact, control the number of livestock involves in many aspects and fields, reasonable grazing intensity is difficult to achieve. And there is no fixed pattern to grazing management strategies, in order to find the right management strategy, we need to integrate various factors, if we considered incomprehensive that affecting the strategy accuracy and efficiency.

Conclusion Through by the model of remote sensing to analyze the grass yield and the spatial distribution of Xilin Gol League, its result is relate to Jin Yunxiang who establish a ground sampling to analyze grass yield and its distribution. So we can know that use the NPP data to calculate the grassland yield is available and accuracy. The results showed that grass yield is increased, various conservation strategies and measures on degraded grassland ecological restored severely in recent years, not only improving grassland productivity and capacity, but also improve the supply capacity of grassland ecosystem services.

Recommendations and perspectives The grassland ecosystems can not only adjust the ecological balance of nature, but also has a close link with people's lives, it also relate to development state of grassland and the level of economic and social development. Therefore, we should adopt sustainable management practices to grassland, it is essential to protect grassland ecosystems and maintain livestock balance.

Key words: net primary productivity(NPP); spatial pattern; dynamic changes; influence factors; management measures

草地生态系统可以提供调节气候、涵养水源、防风固沙、保持水土、净化空气以及美化环境等重要生态系统服务, 是区域经济和社会发展的物质基础(艳燕等, 2011)。对草地产草量做出合理评估, 不仅可以有效地了解草地生态系统结构、功能的协调性和环境承载能力的强弱(徐德应等, 1997), 还可以对研究区畜牧业发展状况做出正确评估, 为保护和合理利用草地, 促进畜牧业的可持续发展, 维护和提高生态环境质量, 提出合理有效的应对措施。因此, 准确了解草原产草量及时空分布情况, 掌握年际变化规律, 对于草原的可持续发展和利用具有重要的意义。

遥感技术的发展为草原产草量的动态监测提供了新的方法和手段, 既方便快捷又省时省力。植被净初级生产力是遥感监测草原产草量的指标之一。植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是指单位时间、单位面积上植被积累有机物质的总量, 是光合作用吸收的碳和呼吸作用释放的碳之间的差值(Haberl et al, 2007)。它不仅可以表征生态系统质量状况和生产能力, 也可以表征植物活动情况(Field et al, 1998)和估算地球生命系统支撑能力, 也可以作为评价陆地生态系统可持续利用的重要因子(Nemani et al, 2003)。

锡林郭勒草原是欧亚大陆草原区温带草原的核心部分, 包括我国地带性草原及隐域性草原的大部分类型(王晶杰和王保林, 2014), 是亚洲东部草原区保存比较完好的原生态草原部分(王海梅等, 2009), 也是我国北方重要的生态屏障。锡林郭勒草原还是中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的所在地, 是国际草原科学界关注的重点地区之一, 具有很高的科学研究、环境教育和社会价值。但由于各种因素的影响, 草地植被盖度降低, 草甸趋干化、盐碱化现象严重, 再加上人们对土地不合理利用和各种矿业开采, 导致草地破碎化、沙化现象加剧(张雪艳等, 2009)。由于草地 NPP 可以反映草地生产力情况, 草地生产力强弱是草地生长态势好坏的直接反应。所以本文应用锡林郭勒盟 2000—2010 年 NPP 遥感数据, 分析草地产草量的时空变化特征, 为锡林郭勒盟草地生态系统服务变化研究提供依据。同时通过对气温、降水和载畜量等因素的研究探讨草地产草量变化的驱动因子, 为制定锡林郭勒

草原可持续发展战略, 全面规划和科学应对各种影响因素提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

锡林郭勒盟位于内蒙古自治区中部, 地处 $41^{\circ}35'—46^{\circ}46'N$, $111^{\circ}09'—119^{\circ}58'E$, 辖 2 市 9 旗 1 县, 是我国东北、华北、西北植被分布的交汇地带, 具有对外贯通欧亚、区内连接东西、北开南联的重要作用。土地总面积约为 $2.03 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其中草原总面积约占 95%。草原以天然草原为主, 约占草原总面积的 97%(金云翔等, 2011)。锡林郭勒盟气候以温带大陆性干旱、半干旱气候为主, 冬季寒冷, 夏季炎热, 年均气温在 $1—4^{\circ}\text{C}$ 。降水量在 $150—400 \text{ mm}$, 降雨分布不均, 从东南向西北逐渐递减, 并且大多数集中在 6、7、8 月份, 年际变化较大(王颖等, 2012)。全年平均风速为 $3.5—5.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。地貌以高平原为主体, 兼有多种地貌单元, 海拔高度在 $800—1800 \text{ m}$, 地势南高北低(巴图娜存等, 2012)。该区域的主要土壤类型有灰色森林土、灰褐土、黑钙土、栗钙土、灰褐土、棕钙土、草甸土、沼泽土以及盐碱土等。作为中国北方典型草原的核心区(崔庆东等, 2009), 以草原为主体的生态系统中主要的植被类型包括显域地境的草甸草原、典型草原、荒漠草原以及半隐域的沙地植被(图 1)。

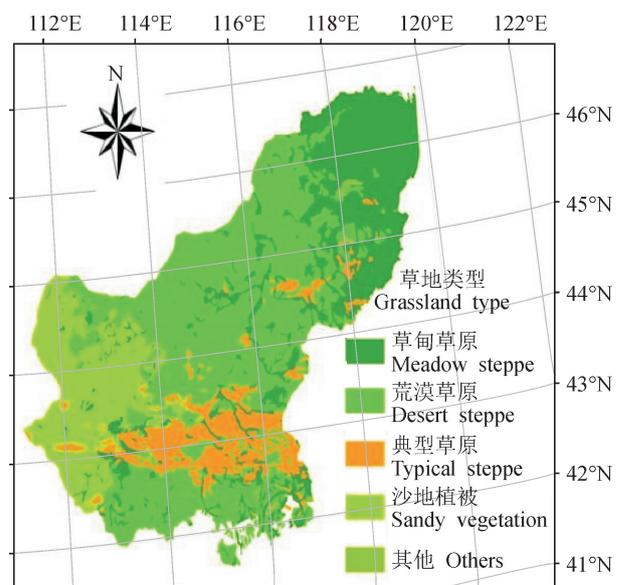


图 1 锡林郭勒草地植被类型分布图
Fig.1 Distribution of grassland types in Xilin Gol League

1.2 数据来源

NPP 数据来源于美国国家航天局 NASA 的 EOS/MODIS 数据 (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>), 选择 2000—2010 年的 MODIS17A3 数据产品, 时间分辨率为 16 d, 空间分辨率为 1000 m × 1000 m。使用 MRT (MODIS Reprojection Tools) 将下载的 MODIS-NPP 数据进行格式转换和重投影, 把 HDF 格式转化成 Tiff 格式, 并将 SIN 地图投影转换为 WGS84/Albers Equal Area Conic 投影, 同时完成图像的空间拼接和重采样。将 16 d 的 MODIS-NPP 数据, 采用最大合成法 (MVC) 得到月 NPP 数据, 在进一步合成年数据, 并利用锡林郭勒盟行政区划图剪取锡林郭勒盟地区 2000—2010 年的逐年 NPP 的栅格图像。

自然因素如降水和气温逐年数据以及人为影响因素中的载畜量逐年数据来源于《锡林郭勒盟统计年鉴》, 将统计数据作为研究区的当年实际数据进行考虑, 探讨各影响因素对产草量的影响程度。

1.3 研究方法

对于以放牧为主要生活方式的牧区而言, 当年产草量是牧民十分关注的问题之一, 因为作为牲畜的主要饲料来源, 产草量足够充足, 才不会影响畜牧业的发展, 从而保证人们的经济收入, 维持良好的生活状态。产草量通过制约畜牧业的发展进而影响经济效益, 所以成为整个牧区关注的问题。本文通过应用遥感数据 NPP 对锡林郭勒草原近 11 年产草量情况进行分析研究。首先, 本文应用 2000—2010 年的 NPP 数据计算整个研究区产草量及其分布情况。其次, 为了确保 NPP 数据计算结果的可行性, 结合锡林郭勒盟实际情况及相关研究人员的综合分析对 NPP 计算结果的准确性及适用性进行判定。再次, 引入气温、降水等自然影响因子和载畜量等人为影响因子, 分析这些因素对草地产草量的影响。

评价草地产草量的一种方法是计算其干草总量 (Hu and Zhang, 2004), 干草总量是评价草地生产力的基本指标。将基于遥感数据的 NPP 产品和覆盖类型为草地分类的产品进行叠加, 得到遥感估算的草地 NPP, 通过草地 NPP 可以推算得到单位面积的干草产量, 由此可求得含水量为 14% 的地上可食牧草产量 (陈世荣等, 2008)。

$$B_g = \frac{NPP}{S_{bn}(1+S_{ug})} \quad (1)$$

式中: B_g : 年总单位面积干草产量, $g \cdot (m^2 \cdot a)^{-1}$; NPP: 草地年总净初级生产力, $g C \cdot (m^2 \cdot a)^{-1}$; S_{bn} : 草地生物量到 NPP 转换系数, $g/(g C)$, 数值为 0.45 (方精云等, 1996); S_{ug} : 草地地下部分和地上部分生物量比例系数, 不同草地植被类型地下与地上部分生物量比例系数 (朴世龙等, 2004) 见表 1。

表 1 不同草地类型地下与地上生物量比例系数
Tab.1 Ratio of underground biomass to aboveground biomass for different grassland types

草地类型 Grassland types	地下 / 地上 生物量比例系数 Ratio of underground biomass to aboveground biomass
温性草甸草原 Temperate meadow steppe	5.26
温性草原、高寒草原 Temperate steppe、Alpine steppe	4.25
山地草甸 Mountain meadow	6.23
低地草甸 Lowland meadow	6.31
沼泽 Marsh	15.68
温性荒漠草原 Temperate desert steppe	7.89
温性草原化荒漠 Temperate steppe-desert	7.89
温性荒漠 Temperate desert	7.89

2 结果与分析

2.1 锡林郭勒草地产草量及空间分布

通过应用 NPP 数据对 2000—2010 年锡林郭勒草原产草量进行研究, 可以看出产草量分布具有明显的空间差异性, 东部地区产草量单产较高, 由东向西草原干草单产量逐渐降低。由于浑善达克沙地是西部地区的腹地, 所以西部地区产草量较低。通过研究分析, 干草产量多于 $700 kg \cdot hm^{-2}$ 的地区主要位于多伦县、正蓝旗、太仆寺旗、锡林浩特市和西乌旗; 干草产量在 $200 kg \cdot hm^{-2}$ 以下的地区主要集中在二连浩特市、苏尼特左旗和苏尼特右旗。锡林郭勒草原产草量的空间分布格局呈东高西低的趋势。

锡林郭勒草原产草量年际变化情况如图 2 所示, 2000—2010 年产草量发生明显波动,

11 年的平均产草量为 1.222×10^7 t, 平均单产为 $601.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中有 5 年超过平均值, 2003 年产草量出现峰值, 达到 1.473×10^7 t; 有 5 年产草量低于平均值, 2007 年产草量最低, 为 1.041×10^7 t; 2006 年处于平均产草量水平; 其中 2002、2004、2005、2006 和 2009 年产草量基本持平, 处于 1.2×10^7 t 左右; 2000、2001 和 2010 年 3 年产草量变化较小, 处于 1.1×10^7 t 左右; 2008 年的产草量为 1.319×10^7 t, 较前一年产草量明显增加; 11 年间产草量的波动范围是 1.0×10^7 — 1.5×10^7 t, 产草量总体呈递减趋势。以 2003 年的最高值和 2007 年的最低值为界值, 各旗县的产草量也有明

显变化。从 2000 年到 2003 年, 东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、阿巴嘎旗、锡林浩特市和多伦县产草量逐年递增, 但苏尼特左旗、苏尼特右旗、正蓝旗、正镶白旗和太仆寺旗在 2003 年之前产草量变化不大, 直至 2003 年突然有所增加, 二连浩特和镶黄旗产草量波动较大; 在 2004 年至 2008 年期间, 各旗县几乎都处于动态递减的过程, 只有阿巴嘎旗、苏尼特左旗和二连浩特市的变化较小; 2008—2010 年, 东乌珠穆沁旗、阿巴嘎旗、苏尼特右旗、正蓝旗、正镶白旗、镶黄旗、多伦县和太仆寺旗的产草量逐年递减, 其他旗县产草量呈波动状态。

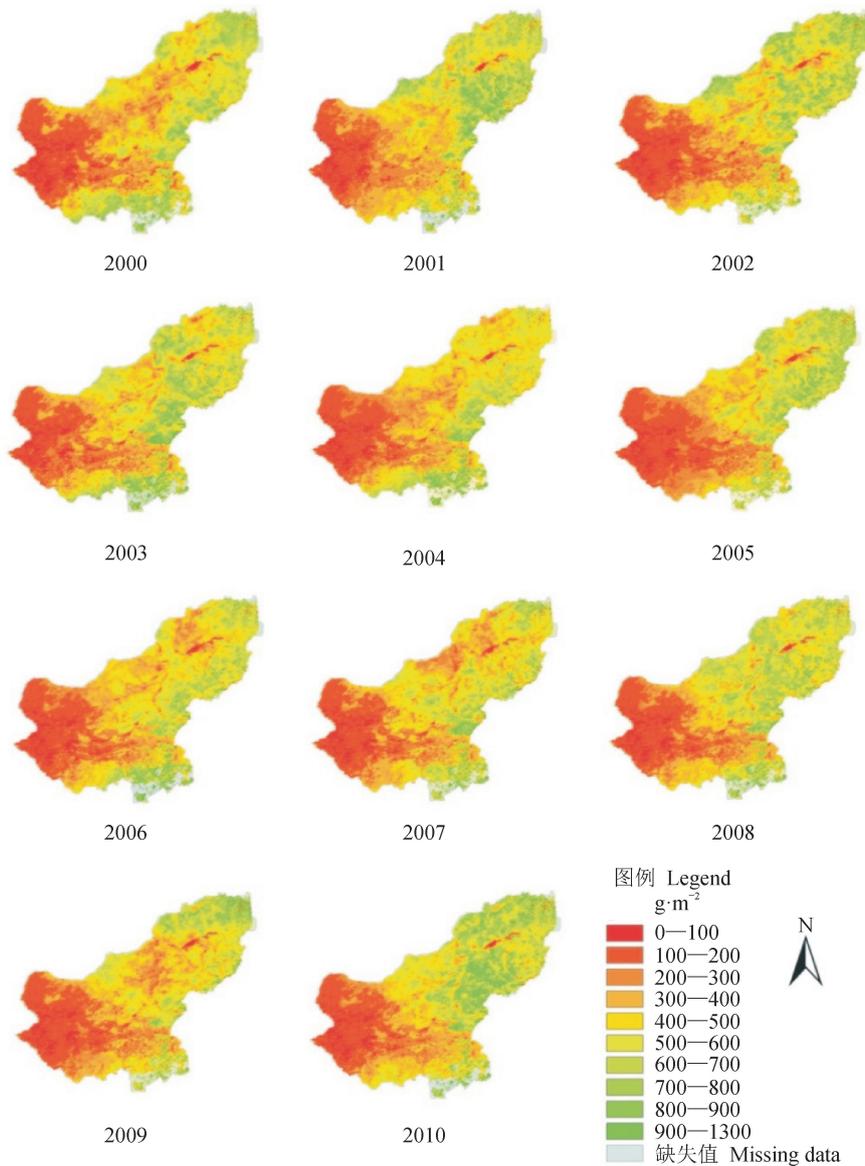


图 2 2000—2010 年锡林郭勒盟产草量图
Fig.2 Map of grassland yield during 2000—2010 in Xilin Gol League

上述是通过建立遥感模型对锡林郭勒盟产草量及空间分布情况进行分析,其对研究区产草量的分析与金云翔等(2011)通过建立地面样方的产草量与遥感数据的关系模型对内蒙古锡林郭勒草原2005—2009年产草量及时空分布的分析基本一致。金云翔等通过模型计算得出:锡林郭勒草原5年的平均干草总量为 1.11×10^7 t,平均单产为 $567.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中2005年产草量为 1.14×10^7 t,2006年为 1.19×10^7 t,2007年为 1.01×10^7 t,2008年为 1.42×10^7 t,2009年为 8.03×10^6 t。通过与表2中应用NPP数据计算出来的产草量数据对比可看出,其产草量多少及其分布情况基本一致,所以利用NPP数据计算出来的草地产草量数据具有一定的准确性和可利用性。

2.2 影响因素分析

锡林郭勒草地产草量及空间分布受各种因素的影响,但是大体上可以划分为自然因素和人为因素。在此,本文主要针对植被类型、降水、气温和载畜量进行相关分析,研究产草量对这些因素的响应程度。

2.2.1 植被类型

锡林郭勒草原产草量的时空变化特征与草地植被类型具有一定关系,锡林郭勒盟东部地区为

草甸草原,其NPP变异系数在15%—22%(金云翔等,2011),该类型的草原生境和水分条件较好,相关影响因素对NPP产生的影响较小,相对于其他草地类型而言,年际变化小,产草量波动也较小,草地平均单产超过 $800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;西部地区属于荒漠草原,其NPP变异系数在30%(金云翔等,2011)以上,变异系数相对较高,生长环境极易受到降水等外界因素的影响,所以产草量年际间变化较大,草地平均单产低于 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。草地平均单产 $400—800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的为典型草原,沙地植被单产量为 $200—400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.2.2 降水

魏利平(2009)等通过对锡林浩特市1971—2007年降水量的分析,认为降水是影响草原植被的主要气候因素,并决定了植被的空间分布格局;毛德华等(2012)通过对产草量和年平均气温和年降水量的相关分析,认为产草量与气温的相关性不显著,而与降水之间的相关显著性差异明显;草地产草量与降水呈显著正相关主要表现在内蒙古干旱区,正如张峰等(2008)得出的结论,降水是干旱区植被生长的主要水分来源,也是植被生长的主要限制因子,降水减少导致区域内植被产量降低。

表2 产草量、载畜量与降水量统计表
Tab.2 Statistics of grass yield, grazing capacity and precipitation

年份 Years	产草量 Grass yield/ $(\times 10^4 \text{ t})$	降水 Precipitation/mm	气温 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	理论载畜量 Theoretical grazing capacity/ $(\times 10^4)$	实际载畜量 Actual grazing capacity/ $(\times 10^4)$
2000	1049.0	219.5	2.6	738.2	1808.3
2001	1107.9	180.2	3.8	785.2	1618.6
2002	1252.9	210.1	2.2	889.2	1527.7
2003	1472.9	297.6	3.1	1038.4	1717.9
2004	1243.8	265.0	4.1	1243.7	1669.8
2005	1295.1	175.4	3.1	923.6	1583.3
2006	1221.8	228.6	3.7	862.7	1460.7
2007	1040.9	182.6	4.6	733.1	1437.3
2008	1319.4	274.7	3.7	931.0	1332.0
2009	1199.0	215.0	3.5	849.7	1283.0
2010	1142.1	264.1	3.0	810.3	1223.4

综上所述并对研究区产草量和降水进行相关分析,从表3中可以看出,产草量与降水之间的Pearson相关系数为0.587,大于零,呈正相关性,表示随着降雨量逐渐增多产草量也相应增高。显

著性系数为0.058,小于0.10,说明降水和产草量之间的相关性明显,可以通过增加降水量来提高草地产草量。

根据表2可以看出,锡林郭勒盟11年的

降水状况呈动态变化趋势。2003 年降水量最多, 达到 298 mm, 同期产草量也达到峰值约为 1.47×10^7 t; 2007 年降水量仅次于最低值, 为 182.6 mm, 由于降水减少, 明显影响草地生长, 产草量降到 1.04×10^7 t; 根据数据显示, 研究期间产草量与降水量的走势基本保持一致。研究区降水范围为 175—298 mm, 空间差异明显, 由东北向西南逐渐减少, 这与产草量的空间分布格局基本一致, 降水成为影响草原产草量的一个重要因素。

2.2.3 气温

气温对 NPP 的影响因地域差异而不同。卢满意 (2012) 通过对锡林郭勒盟草原近 50 年气温与产草量关系的研究, 认为在全球气温变暖的趋势

下, 锡林郭勒盟的气温也在逐渐升高, 从而导致草原土壤中的水分蒸散加剧, 区域干旱化, 草原退化, 产草量减少; 但何玉斐等 (2008) 通过对 1951—2006 年多伦县的逐年降水量和气温资料的分析, 认为温度升高有利于提高草地生产力。由于地理位置和气候等因素的差异, 不同地区的气温对产草量的影响也不一致。

根据研究区历年的实际产草量和气温数据进行相关性分析, 从表 3 中可以看出, 产草量与气温的 Pearson 的相关系数为 -0.212, 小于零, 呈负相关性, 表示随着气温的升高, 研究区产草量有所下降。但 $|-0.212| < 0.3$, 说明气温与产草量之间的线性关系较弱, 虽然气温对产草量产生一定影响, 但效果不明显。

表 3 产草量和降水、气温的相关性分析
Tab.3 Correlation analysis of grass yield to precipitation and temperature

		产草量 Grass yield	降水 Precipitation	温度 Temperature
产草量 Grass yield	Pearson 相关性 Pearson correlation	1	0.587	-0.212
	显著性 Significant		0.058	0.531
	协方差 Covariance	16101.041	3102.297	-18.476
	N	11	11	11

根据《锡林郭勒盟统计年鉴》上的数据进行分析, 锡林郭勒盟在 2000—2010 年年均温在 2.2—4.6 °C, 其中 2007 年气温最高, 为 4.6 °C, 产草量也处于较低水平, 约为 1.04×10^7 t; 2003 年气温较低为 3.1 °C, 但产草量却相对较高, 为 1.47×10^7 t。

通过上述分析可知, 降水和气温对产草量都产生一定影响, 那么二者之间是否存在某种关系, 分析降水与温度之间的相关性 (表 4), 得出 Pearson 的相关系数为 -0.091, 小于零, 说明二者之间呈负相关性, $|-0.091| < 0.3$, 虽然降水与温度呈负相关性, 但相关性较弱。

表 4 降水与温度的相关性分析
Tab.4 Correlation analysis of precipitation and temperature

		降水 Precipitation	温度 Temperature
降水 Precipitation	Pearson 相关性 Pearson correlation	1	-0.091
	显著性 Significant		0.790
	N	11	11
	均值 Means	228.436	3.4
	标准差 Standard deviation	41.677	0.686

这也印证了卢满意 (2012) 的研究, 气温与降水之间存在某种负相关性, 温度越高, 降水量相对

减少, 加上蒸发旺盛, 水分的多少就成为限制产草量的主要因素; 在温度较低的地区, 相对蒸发量减

少,所以在降水量相对充足的情况下,降水就不会成为影响产草量多少的主要限制因素。综上所述,温度对产草量的影响是通过限制降水量及蒸发量等水分条件而实现的,降水量才是影响草地产草量的直接影响因素,而气温是影响产草量的间接因素。

由此可见,水热条件对草原产草量的时空变化有重要影响,尤其是降水量对产草量的变化起着关键的作用,这也印证了李刚等(2008)的研究,即草地产草量受降水和生物温度的影响较大,但受降水的影响更为明显。

2.2.4 载畜量

作为以草畜为主体的畜牧业发展基地,锡林郭勒盟草畜之间的相互制衡不仅成为影响整个区域社会、经济发展的重要因素,而且成为衡量草地生态平衡的重要指标,确定合理的载畜量能有效抑制过度放牧并实现草地的可持续利用(叶勇和杨露,2012)。

应用家畜单位法(一定面积草地一年能放养成年家畜头数)表示草地载畜产出量,一般采用“羊单位”来表述载畜量。从应用的角度而言,根据草地产草量估算草地理论载畜量比较科学、合理,其计算公式为(陈百明,2001):

$$CA = \frac{G \times C_{usc}}{UG \times DOY} \quad (2)$$

式中:CA:全年理论载畜量(羊单位);G:全年干草产量,kg;C_{usc}:牲畜对牧草的利用率,不同草地类型有不同的牧草利用率(田永中,2005):草甸草为60%,草原类为50%,荒漠类为40%,(灌)草丛类和沼泽类为55%;UG:每个羊单位每天需要的干草量,kg·d⁻¹,数值为2.0(陈全功,2013);DOY:年的天数,d。锡林郭勒盟以温性草原为主,草地干鲜比为0.33。

如表2所示,实际载畜量数据来源于《锡林郭勒盟统计年鉴》,实际载畜量在整个研究区间发生明显波动,其中2000年为最大载畜量年份,2010年为最低载畜量年份,分别为1.81×10⁷只和1.22×10⁷只。通过对产草量图表分析可知2003年产草量达到最大值,较高产草量同时饲养着相对较多的牲畜数量;2007年由于降水等因素的限制,使天然草场产草量有所减少,加上同期放牧数量居高不下,牲畜对牧草需求量加大,使草原整体产草量明显降低。由于响应政府

号召,实施各种保护草原政策,限制载畜量从而减缓草原压力,所以实际载畜量在整个研究区间呈动态递减的趋势,虽然还处于超载过牧的状态,但是超载的数量明显降低,在维持农牧民经济不受影响的条件下,逐步缓解草原生态系统的压力。

草原不仅是我国重要的畜牧业生产基地,提供牲畜饲料及各种畜产品;而且还是我国北方重要的生态安全屏障,维持整个生态系统平衡;调节大气及水文环境,维持生命系统;并提供各种休闲娱乐服务,是草原文化传承的基础。草地在整个生态系统中扮演着不可或缺的角色。充分认识到草地生态系统对人类可持续发展的重要性,积极应对各种影响草地生长的可控因素,维持草地生态系统可持续发展势在必行。

3 讨论与结论

本文基于遥感的NPP得到锡林郭勒盟草地产草量数据,并根据研究区草地实际产草量进行验证,结果表明,通过NPP计算得出的研究区产草量基本与实际相符合,从而可以根据NPP数据对研究区产草量及空间分布情况进行分析。在整个研究时间序列中,产草量发生较大变化,所以对相关影响因素进行分析探讨,明确影响草地产草量的主要影响因子。

通过对锡林郭勒盟2000—2010年整个时间序列的分析,2003年和2007年成为两个主要的转折点。2003年之前产草量动态递增,到2003年达到最高,约为1.47×10⁷t,2003年之后以动态递减的趋势逐渐减少,至2007年下降到1.04×10⁷t,之后产草量有所增加,但增幅相对较小。草原产草量虽然呈现动态变化的过程,但整体还是呈现上升的趋势,说明近些年通过对草原实施的各项保护策略和措施,使原本受到严重退化的草地得到一定的恢复,不仅提高草地生产力和承载力,还提高草原生态系统各项服务功能的供给能力。

通过相关文献分析和本文的研究,在内蒙古干旱、半干旱草原区,产草量与年降水呈正相关关系,气温通过影响降水及水分蒸发进而影响产草量,是间接影响因素。超载对草原可持续利用构成较大威胁,过多牲畜采食不仅增加了对牧草的需求量,破坏了原有草场植物群落的结构和功能,更增加了对土壤的踩踏,长此以往就破坏草原生态系统平衡,导致草原生产力降低,所以超

载过牧成为影响草地产草量最大的人为因素。然而在现实生活中,控制好牲畜数量,实现草畜平衡并不仅仅是降低牲畜数量,草畜平衡的实质是“人-草”之间的平衡问题(贾幼陵,2005),这项管理工作涉及到区域经济与社会的发展与稳定,需要从科学、技术、社会和经济各方面进行综合考虑(洪绂曾,2005)。然而草地放牧管理策略并没有固定模式,它取决于各种自然条件和人为因素,要想找到合适的管理策略,就需要了解研究区的实际情况,综合各方面因素,才能提出适合研究区畜牧业均衡稳定发展的管理方法。

草地生态系统为人类提供各种供给服务、支持服务、调节服务和文化服务,这些服务于人类的福祉密切相关。如果草地生态系统失衡,不仅影响生态系统的结构、功能与服务的供给,还影响到区域生态安全,并对人们的经济收入造成一定影响。

参考文献

- 巴图娜存,胡云锋,艳燕,等.2012.1970年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化[J].*资源科学*,34(6):1017-1023.[Batunacun, Hu Y F, Yan Y, et al. 2012. The variations and its spatial pattern of grassland changes in Xilinguole from 1975 to 2009 [J]. *Resources Science*, 34(6): 1017-1023.]
- 崔庆东,刘桂香,卓义.2009.锡林郭勒盟草原冷季牧草保存率动态研究[J].*中国草地学报*,31(1):102-108.[Cui Q D, Liu G X, Zhuo Y. 2009. The preliminary study on dynamic of the grass preservation rates in Xilinguole Grassland in the cold season[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 31(1): 102-108.]
- 陈百明.2001.中国农业资源综合生产能力和人口承载能力[M].北京:气象出版社.[Chen B M. 2001. Comprehensive production capacity and population carrying capacity of agriculture resources in China [M]. Beijing: Meteorological Press.]
- 陈全功.2013.关键场与季节放牧及草地畜牧业的可持续发展[J].*草业学报*,14(4):254-261.[Chen Q G. 2013. Key pasture, seasonal grazing and sustainable development of grassland animal husbandry production in China [J]. *Acta Prataculture Sinica*, 14(4): 254-261.]
- 陈世荣,王世新,周艺.2008.基于遥感的中国草地生产力初步计算[J].*农业工程学报*,24(1):208-212.[Chen S R, Wang S X, Zhou Y. 2008. Estimation of Chinese grassland productivity using remote sensing [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 24(1): 208-212.]
- 方精云,刘国华,徐嵩龄.1996.中国陆地生态系统的碳库[M]//王庚辰,温玉璞.温室气体浓度和排放监测及相关过程.北京:中国环境科学出版社.[Fang J Y, Liu G H, Xu S L. 1996. The carbon stocks of Chinese terrestrial ecosystem [M]// Wang G C, Wen Y P. The concentrations and emission monitoring of greenhouse gas and related processes. Beijing: China Environmental Science Press.]
- 何玉斐,赵明旭,王金祥,等.2008.内蒙古农牧交错带草地生产力对气候要素的响应——以多伦县为例[J].*干旱气象*,26(2):84-89.[He Y F, Zhao M Y, Wang J X, et al. 2008. Response of grassland productivity to climatic change in the farming-pasturing interlocked area of Inner Mongolia: case study of Duolun Country [J]. *Arid Meteorology*, 26(2): 84-89.]
- 洪绂曾.2005.中国草业战略研究的必要性和迫切性[J].*草地学报*,13(1):1-4.[Hong F Z. 2005. Importance and urgency of the strategic research of China's forage industry [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 13(1): 1-4.]
- 贾幼陵.2005.关于草畜平衡的几个理论和实践问题[J].*草地学报*,13(4):265-268.[Jia Y L. 2005. On the concepts and practices concerning grassland livestock balance [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 13(4): 265-268.]
- 金云翔,徐斌,杨秀春,等.2011.内蒙古锡林郭勒盟草原产草量动态遥感估算[J].*中国科学:生命科学*,41(12):1185-1195.[Jin Y X, Xu B, Yang X C, et al. 2011. Remote sensing dynamic estimation of grass production in Xilin Gol, Inner Mongolia [J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 41(12): 1185-1195.]
- 卢满意.2012.锡林郭勒草原退化影响因素分析及可持续利用对策研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学:1-37.[Lu M Y. 2012. The study on influencing factors of Xilin Gol Grassland degradation and sustainable use countermeasure research [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University: 1-37.]
- 李刚,周磊,王道龙,等.2008.内蒙古草地NPP变化及其对气候的响应[J].*生态环境*,17(5):1948-1955.[Li G, Zhou L, Wang D L, et al. 2008. Variation of net primary productivity of grassland and its Inner Mongolia [J]. *Ecological Environment*, 17(5): 1948-1955.]
- 毛德华,王宗明,韩佶兴,等.2012.1982—2010年中国

- 东北地区植被 NPP 时空格局及驱动因子分析 [J]. *地理科学*, 32(9): 1106–1111. [Mao D H, Wang C M, Han J X, et al. 2012. Spatio-temporal pattern of net primary productivity and its driven factors in Northeast China in 1982—2010 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 32(9): 1106–1111.]
- 朴世龙, 方精云, 贺金生, 等. 2004. 中国草地植被生物量及其空间分布格局 [J]. *植物生态学报*, 28(4): 491–498. [Piao S L, Fang J Y, He J S, et al. 2004. Spatial distribution of grassland biomass in China [J]. *Acta Phytocological Sinica*, 28(4): 491–498.]
- 田永中. 2005. 基于栅格的中国陆地生态系统食物供给功能评估 [D]. 北京: 中国科学院研究生院. [Tian Y Z. 2005. Assessment of food supply function of Chinese terrestrial ecosystem based on grid [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences.]
- 魏利平. 2009. 不同因素对锡林郭勒盟草原退化影响程度研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学: 1–40. [Wei L P. 2009. Research on the influence of different factors on the degradation of grassland in Xilin Gol [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University: 1–40.]
- 王晶杰, 王保林. 2014. 锡林郭勒盟地区不同草地类型生物量的年际变化规律研究 [J]. *安徽农业科学*, 42(18): 5864–5865. [Wang J J, Wang B L. 2014. Annual variations of biomass of different grassland types in Xilinguole area [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 42(18): 5864–5865.]
- 王海梅, 李政海, 韩国栋, 等. 2009. 锡林郭勒盟不同生态地理区气候变化特点分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 23(8): 115–119. [Wang H M, Li Z H, Han G D, et al. 2009. The climate change of different Eco-Geographical zones in Xilinguole [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 23(8): 115–119.]
- 王颖, 张科利, 李峰. 2012. 基于 10 年 MODIS 数据的锡林郭勒盟草原植被覆盖度变化监测 [J]. *干旱区资源与环境*, 26(9): 165–169. [Wang Y, Zhang K L, Li F. 2012. Monitoring of vegetation cover change in Xilingol League based on MODIS data over 10 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 26(9): 165–169.]
- 徐德应, 郭泉水, 阎洪, 等. 1997. 气候变化对中国森林影响研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社. [Xu D Y, Guo Q S, Yan H, et al. 1997. Study on the impacts of climate change forest in China [M]. Beijing: China Science and Technology Press.]
- 艳燕, 阿拉腾图雅, 刘越, 等. 2011. 1975—2009 年锡林郭勒盟东部地区草地退化态势及其空间格局分析 [J]. *地球信息科学学报*, 13(4): 549–555. [Yan Y, Aalatengtuya, Liu Y, et al. 2011. The tendency and its spatial pattern of grassland changes in the east Xilin Gol from 1975 to 2009 [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 13(4): 549–555.]
- 叶勇, 杨露. 2012. 畜禽载畜量预警的实证分析——以内蒙古牧业旗为例 [J]. *技术经济*, 31(2): 99–102. [Ye Y, Yang L. 2012. Empirical analysis on early warning of livestock carrying capacity: A case of animal husbandry banner in Inner Mongolia [J]. *Technology Economic*, 31(2): 99–102.]
- 张峰, 周广胜, 王玉辉. 2008. 基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力的动态模拟 [J]. *植物生态学报*, 32(4): 786–797. [Zhang F, Zhou G S, Wang Y H. 2008. Dynamic simulation of net primary productivity by a satellite data-driven casa in Inner Mongolian typical steppe, China [J]. *Journal of Plant Ecology*, 32(4): 786–797.]
- 张雪艳, 胡云锋, 庄大方, 等. 2009. 蒙古高原 NDVI 空间可聚集空间分异 [J]. *地理研究*, 28(1): 10–14. [Zhang X Y, Hu Y F, Zhang D F, et al. 2009. The spatial pattern and differentiation of NDVI in Mongolia Plateau [J]. *Geographic Research*, 28(1): 10–14.]
- Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components [J]. *Science*, 281(5374): 237–240.
- Haberl H, Erb K H, Krausmann F, et al. 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrialecosystems [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(31): 12942–12947.
- Hu Z, Zhang D. 2004[2015-09-15]. Country Pasture/Forage Resource Profiles [EB/OL]. <http://www.fao.org/wajcent/faoinfo/agricult/agp/agpc/doc/counprof/china/china2.htm>.
- Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. 2003. Climatedriven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. *Science*, 300(5625): 1560–1563.