

网络出版时间:2017-03-07 11:16

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.04.005

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170307.1116.010.html>

内蒙古正蓝旗降水量对草原生产力的影响

邱晓^{1,2}, 刘亚红^{1,2}, 王慧敏^{1,2}, 刘欣超^{1,2}, 常虹^{1,2}, 伊凤艳^{1,2}, 孙海莲^{1,2}

(1 中国科学院 内蒙古草原研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031)

[摘要] **【目的】**分析内蒙古正蓝旗降水量对草原植被生产力的影响,为草原的合理规划、利用以及草原生态保护提供科学参考。**【方法】**基于2000—2013年正蓝旗年降水量、生长季降水量(4—8月)和不同类型草原(低地草甸、温性典型草原和温性草甸草原)生产力数据,采用回归分析的方法探讨该地区2000—2013年降水量对草原生产力的影响。**【结果】**1)年降水量和生长季降水量均与草原生产力呈正相关关系,且生长季降水量分别与草甸草原、典型草原和低地草甸生产力构建的回归模型相关性(R 分别为0.564, 0.826和0.845),略高于年降水量与上述3种类型草原生产力构建的模型(R 分别为0.569, 0.820和0.826),但是二者差异不显著。2)年降水量和生长季降水量对不同类型草原生产力的影响程度均不同,二者与不同类型草原生产力的相关系数均为低地草甸>典型草原>草甸草原。**【结论】**草原生产力的年际变化受降水量年际波动的影响,且年降水量和生长季降水量对草原生产力的影响程度并没有明显差异,但二者对典型草原和低地草甸生产力的影响均明显大于草甸草原。

[关键词] 降水量; 草原生产力; 回归分析; 内蒙古正蓝旗

[中图分类号] S812.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2017)04-0031-06

Impacts of precipitation on grassland productivity in Zhenglan Banner, Inner Mongolia

QIU Xiao^{1,2}, LIU Yahong^{1,2}, WANG Huimin^{1,2}, LIU Xinchao^{1,2},
CHANG Hong^{1,2}, YI Fengyan^{1,2}, SUN Hailian^{1,2}

(1 Inner Mongolian Prataculture Research Center, Chinese Academy of Sciences, Hohhot, Inner Mongolian 010031, China;

2 Inner Mongolian Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Hohhot, Inner Mongolian 010031, China)

Abstract: **【Objective】** This study analyzed the impacts of precipitation on grassland productivity in Zhenglan Banner, Inner Mongolia to provide reference for the rational planning and utilization of grassland and grassland ecological protection. **【Method】** Using productivity of different types of grasslands (meadow steppe, typical steppe, and lowland meadow steppe), annual precipitation and seasonal precipitation, regression analysis method was used to examine effects of precipitation on grassland productivity during 2000—2013. **【Result】** Both annual precipitation and seasonal precipitation were positively related to the productivity of grassland, and seasonal precipitation had slightly higher correlation coefficients with meadow steppe, typical steppe and lowland meadow steppe productivity ($R=0.564$, $R=0.826$, and $R=0.845$) than annual precipitation ($R=0.569$, $R=0.820$, and $R=0.826$). But the difference between the two groups was not significant. The responses of grassland productivity to precipitation variables differed among various grassland types. The precipitation was less significantly related to productivity of meadow steppe compared to typical steppe and lowland meadow steppe. **【Conclusion】** Precipitation played an important role in

[收稿日期] 2016-05-13

[基金项目] 内蒙古科技厅应用技术与开发项目“内蒙古草原自然资源资产负债表编制方式研究与示范”

[作者简介] 邱晓(1983—),女,内蒙古巴彦淖尔人,助理研究员,硕士,主要从事草业科学研究。E-mail:284454352@qq.com

[通信作者] 孙海莲(1972—),女(蒙古族),内蒙古赤峰人,研究员,博士,主要从事草原生态研究。E-mail:1272933369@qq.com

change of grassland productivity, but the influences of annual precipitation and seasonal precipitation were not significantly different. The productivity of typical steppe and lowland meadow steppe was more significantly affected by precipitation than the meadow steppe.

Key words: precipitation; grassland productivity; regression analysis; Zhenglan Banner, Inner Mongolia

草原生态系统是陆地生态系统中最重要、分布最广的生态系统类型之一,尤其是温带草原生态系统,其对气候和环境变化十分敏感,有着不同于其他生态系统的独特的生物学过程,在全球生态系统研究中具有特殊地位及重要性。草原净初级生产力是草原生态系统结构和功能的综合体现,是植物生物学特性和外界环境条件共同作用的产物,通过分析草原净初级生产力的时空变异特征,可为正确评价草原生态系统的功能提供科学依据。在影响植被生产力的外界环境因素中,降水变化发挥着重要作用^[1-2],特别是在草原生态系统中,降水是影响草原生产力的主要驱动因子^[3-5]。

内蒙古自治区天然草原面积 8 667 万 hm^2 ,占全国草原面积的 1/4,在我国草牧业生产中占据着非常重要的地位。内蒙古温带草原是欧亚草原的重要组成部分,也是受全球气候变化影响最敏感的地区之一^[6]。近年来,研究内蒙古地区的草地生产力及其对气候的响应成为草原生态系统的核心研究内容,如韩国栋^[7]分析了降水量和气温对小针茅草原植物群落初级生产力的影响,蔡学彩等^[8]研究了内蒙古草原大针茅群落地上生物量与降水量的关系,王玉辉等^[9]就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进行了研究,白永飞^[10]研究了降水量季节分配对克氏针茅草原初级生产力的影响,郭群等^[11]研究了降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响,张存厚等^[12]模拟了内蒙古典型草原地上净初级生产力对气候变化的响应等。这些研究对内蒙古草地生产力与气候的关系进行了多方面分析,得出不同草地类型地上生物量随年降水量增加的结论,表明在内蒙古干旱半干旱地区草地生产力形成中,水分胁迫是主要限制因子。

当前研究降水量与草原生产力之间的相互关系已成为热点,但多数研究只针对某一种草地类型,且研究区域较为局限,而关于内蒙古不同草地类型的初级生产力与气候变化关系的研究尚不多见。内蒙古正蓝旗是我国温带草原中一个有代表性和典型性的区域,该地区受气候变化影响较大,降水变化幅度也较大^[13-14]。因此,本研究选择了内蒙古正蓝旗作

为研究区,基于降水量和草原生产力的变化及二者的相关分析,探讨了不同时期降水对草原生产力的影响,以及不同类型草原生产力对降水的响应,以期对草原的合理规划利用及草原生态保护提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

正蓝旗地处内蒙古自治区中部浑善达克沙地腹地,是京津风沙源工程治理区的重要组成部分,生态环境脆弱。该地气候属于中温带大陆性季风气候类型,春季多风干燥、夏季雨量集中。2000—2013 年平均年降水量 300 mm,生长季降水量 240 mm;降水量时空分布不均,多集中在 4—8 月。正蓝旗草原面积约 7 554 hm^2 ,占整个旗土地总面积的 73% 以上,植被类型多样,植物种类丰富^[15-16]。正蓝旗草地类型有低地草甸、温性典型草原和温性草甸草原,其中温性典型草原为主要草地类型,占草原面积的 89.4%,是在温带半干旱气候条件下发育形成的,以典型旱生的多年生丛生禾草占绝对优势^[17-18]。

1.2 气候数据的获取与处理

气候数据为国家气象局提供的 2000—2013 年内蒙古气象台站的气候资料。本研究计算了全年和 4—8 月的平均降水数据。首先,对所有气象站点 14 年平均气候要素数据进行普通克里金插值^[19];然后将通过插值获得的图像进行投影变换,转换为空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 、投影方式为经纬网投影的栅格图像^[20];最后,将插值的气候栅格图像与内蒙古自治区行政区划图叠加,获取降水量数据后用气象站实测数据进行验证,得到正蓝旗 2000—2013 年的降水量数据。

1.3 草原生产力的遥感估算

CASA 模型是由 Potter 等^[21]在 1993 年提出的,该模型通过植被吸收的光合有效辐射 (APAR) 和光能利用率 (ϵ) 来计算植被的净初级生产力 (NPP),目前在全球不同生态系统的植被生产力估算方面得到了广泛的应用^[22-23]。其估算公式如下:

$$\text{NPP}(x, t) = \text{APAR}(x, t) \times \epsilon(x, t)。$$

式中: $\text{NPP}(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的净初级生产力

($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{月})$), $\text{APAR}(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月吸收的光合有效辐射($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{月})$), $\epsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的实际光能利用率(g/MJ)。本研究利用遥感数据和空间插值后的气象数据通过 CASA 模型对正蓝旗 2000—2013 年的草地净初级生产力(NPP)数据进行了计算,并用部分有样点分布的实际观测数据对估算的生产力数据进行了验证,证明二者偏差较小,说明用估算的生产力数据进行分析是可信的。

1.4 数据分析

本研究采用 SPSS 11.0 软件对数据进行统计分析,分别对年降水、生长季降水与草原生产力的关系

进行回归分析;采用 Excel 2010 制图。

2 结果与分析

2.1 正蓝旗 2000—2013 年降水量的变化

正蓝旗在 2000—2013 年的降水量和草原生产力表现出相似的年际波动(图 1 和图 2)。2000—2013 年正蓝旗年降水量在 223~408 mm 波动,生长季(4—8 月)降水量在 170~320 mm 波动,降水量相对少的干旱年份和降水量相对多的湿润年份交替出现;从降水量年内变化来看,生长季(4—8 月)降水量占全年降水量的比例在 75%~85%,年际间没有明显的差异。

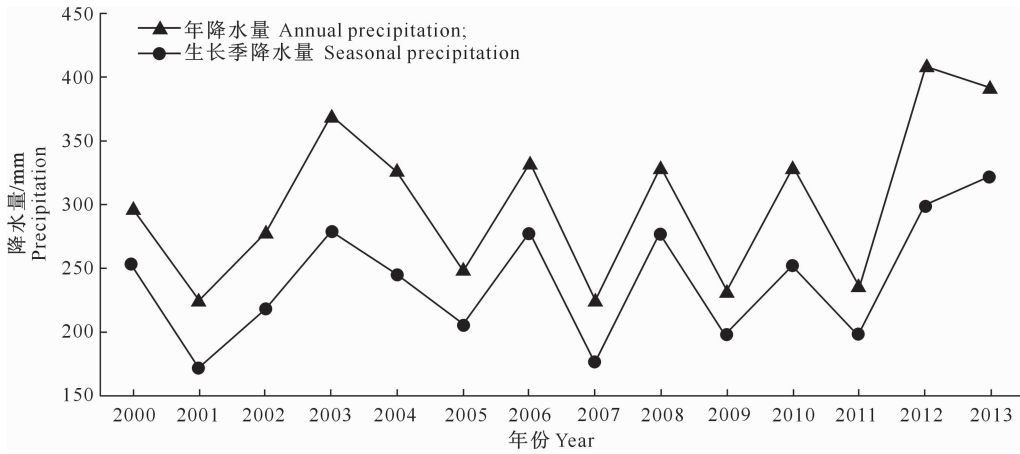


图 1 2000—2013 年内蒙古正蓝旗的降水量

Fig. 1 Precipitation in Zhenglan Banner, Inner Mongolia during 2000-2013

2.2 正蓝旗 2000—2013 年草原生产力的变化

2000—2013 年,正蓝旗不同类型草原生产力起伏变化较小。2000—2004 年,各类型草原生产力均呈小幅上升趋势;2005—2009 年,草原生产力上升和下降波动明显,且 2009 年生产力均大幅下降;

2010—2013 年,生产力又有一定的升高。同一年不同类型草原生产力不同,2000—2009 年典型草原的生产力低于草甸草原和低地草甸,2010—2013 年低地草甸的生产力相对高于其他两类草原。

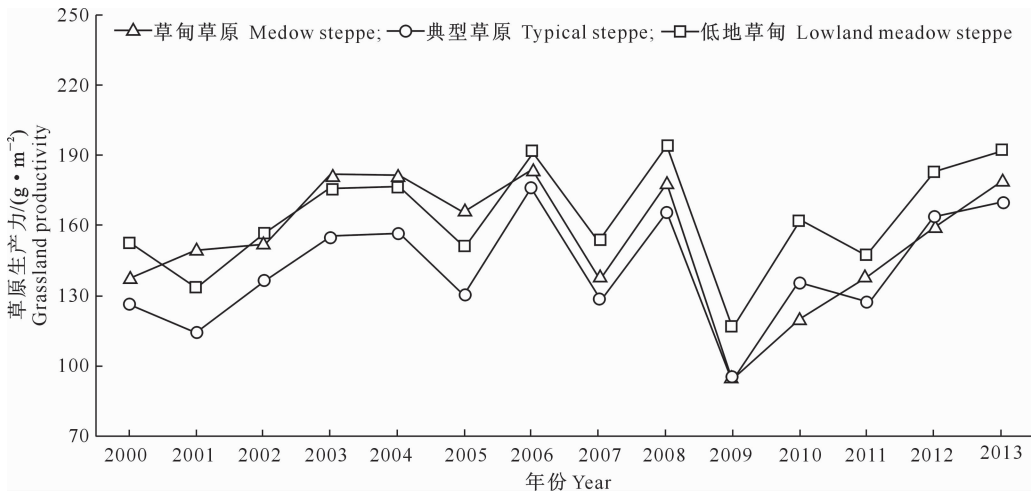


图 2 2000—2013 年内蒙古正蓝旗不同类型草原的生产力

Fig. 2 Productivity of different grasslands in Zhenglan Banner, Inner Mongolia during 2000-2013

2.3 降水量与草原生产力的关系

从年际间降水量变化对草原生产力的影响来看,无论是全年降水量还是生长季(4—8月)降水量,均与草甸草原生产力有显著的线性回归关系($P<0.05$),与典型草原和低地草甸生产力有极显著的线性回归关系($P<0.001$)。相比较而言,依

照生长季降水量分别与草甸草原、典型草原和低地草甸生产力构建的回归模型的相关性(R 分别为0.564,0.826和0.845),略高于年降水量与3种类型草原生产力构建的模型(R 分别为0.569,0.820和0.826),但是二者差异不显著,变化趋势均为随降水量增加草原生产力增加。

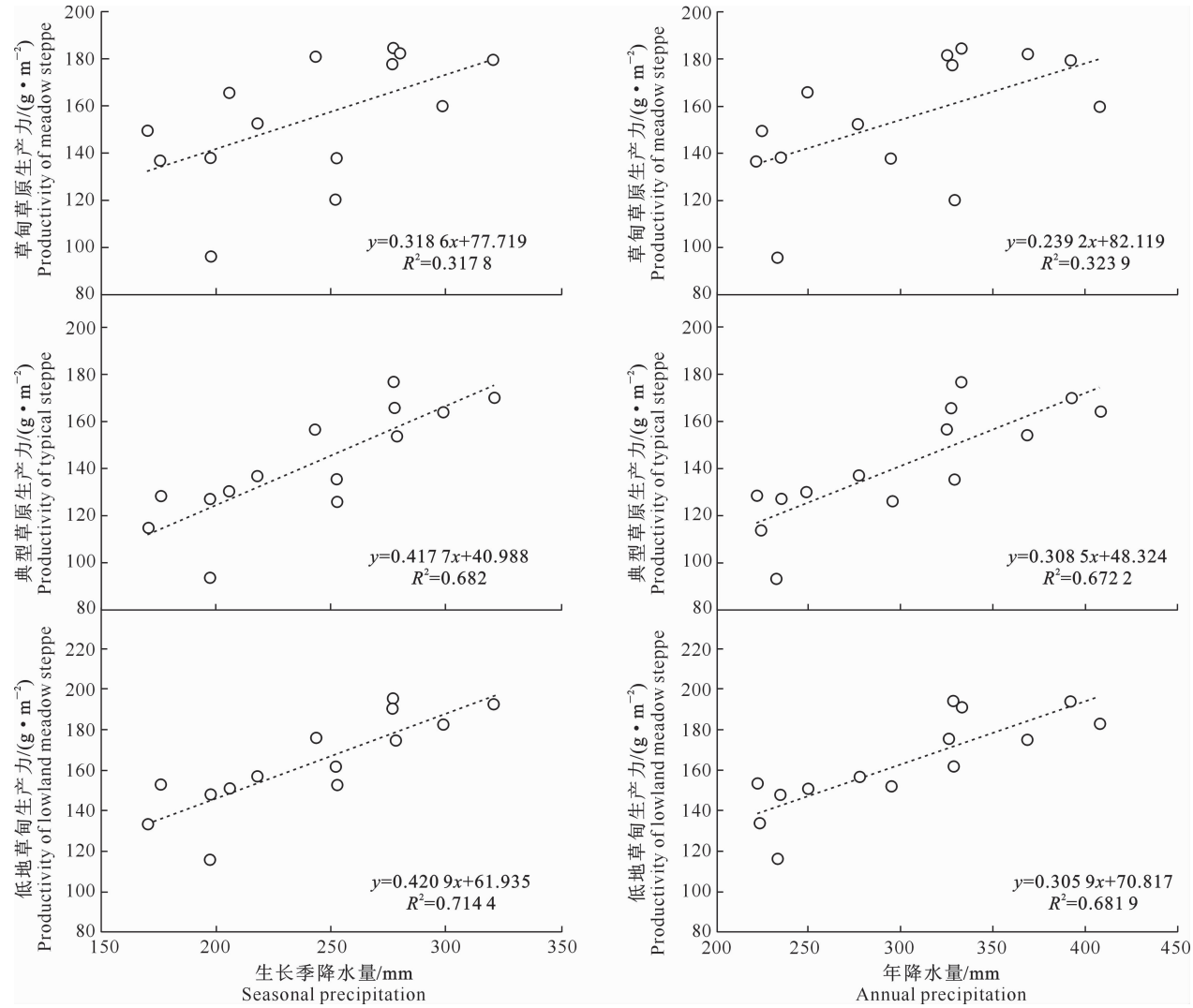


图 3 2000—2013 年内蒙古正蓝旗降水量与草原生产力的关系

Fig. 3 Relationship between precipitation and grassland productivity in Zhenglan Banner, Inner Mongolia during 2000—2013

从年降水量和生长季降水量对不同类型草原生产力的影响来看,二者均为正相关回归关系(图 3)。从年降水量和生长季降水量与不同类型草原生产力的相关系数来看,均为低地草甸>典型草原>草甸草原,且二者与典型草原、低地草甸生产力的相关性要明显高于草甸草原($P<0.05$)。从年降水量和生长季降水量与草原生产力的相关分析发现,二者与草甸草原生产力的决定系数 R^2 最小,与典型草原和低地草甸生产力的决定系数 R^2 差异不明显,但均明

显大于草甸草原($P<0.05$)。

3 讨 论

降水量是影响草原植被生产力的重要因素,但国内外大量关于降水量-草地生产力的研究结果因研究区域与方法的不同而存在一定差异。本研究从降水量年际变化对内蒙古正蓝旗草原生产力的影响来看,无论基于年降水量还是生长季降水量,二者均对草原生产力有显著影响,变化趋势均为随降水量

增加草原生产力增加。本研究结果与已有一些研究结果一致,如与 Ni^[24] 对我国北方温带草原 74 块样地 141 个样方的统计分析结果相近,都是植被生产力与年降水量、夏季降水量呈正相关。

本研究中,生长季降水量分别与草甸草原、典型草原和低地草甸生产力构建的回归模型的相关性,略高于年降水量与这 3 种类型草原生产力构建的模型,但是二者差异不显著,说明二者对草原生产力的影响程度没有显著差异。蔡学彩等^[8] 2005 年在内蒙古大针茅样地上利用积分回归模型研究降水量季节分配对群落生物量的影响,结果表明群落生物量年际变化与年降水量、月降水量、关键时期(4—6 月和 6—8 月)降水量的相关性并没有显著差异,这一研究结果与本研究结果相近。而郭群等^[11] 在内蒙古温带草原的研究结果显示,生长季降水对草原生产力的影响相对年降水量要大;Fay 等^[25]、Weltzin 等^[26] 和 Svejcar 等^[27] 采用固定的透光大型遮雨棚,人为对降水量的分布变化进行模拟控制,研究其对草原生态系统植被生长的影响,提出降水量的分布变化对草地群落动态演替具有决定性作用,降水量在年中的分布比年降水总量对草原植被的影响更显著,以上这些研究结论又与本研究存在一定差异。其主要原因是,本研究中生长季降水量占全年降水量的比例较大,因此并没有表现出生长季降水量对草原生产力的影响大于全年降水。

本研究还对年降水量和生长季降水量与不同类型草原生产力的相关性进行了探讨,二者与典型草原、低地草甸生产力的相关性要明显高于草甸草原,年降水量和生长季降水量对典型草原、低地草甸生产力的影响显著大于二者对草甸草原生产力的影响。正蓝旗北部植被覆盖度低,分布有大面积的典型草原,其代表性群落是以大针茅、糙隐子草、冷蒿为建群种的旱生牧草群落;南部分布有温性草甸草原,是以羊草、大针茅为优势种群的植被群落。物种对不同降水量反应的差异性,是群落和生态系统对不同降水量响应策略的基础^[28]。已有研究通过对锡林郭勒天然牧草产量动态形成过程的分析发现,旱生牧草群落生产力与降雨量的相关系数约为 0.9,相关显著,草甸草原植被群落生产力与降雨量的相关系数为 0.7,这说明旱生牧草群落的生产力与降雨量密切相关,降雨量对旱生牧草群落生产力的影响要大于草甸草原植被群落^[29]。本研究中正蓝旗典型草原生产力对降水量比草甸草原生产力更敏感,与该研究结果相似。

4 结 论

内蒙古正蓝旗在 2000—2013 年的 14 年里,草原生产力的年际变化受降水量年际波动的影响较大,但年降水量和生长季降水量对草原生产力的影响没有明显差异。降水量对正蓝旗不同类型草原生产力影响的程度不同,其对典型草原和低地草甸生产力的影响明显大于对草甸草原的影响。

〔参考文献〕

- [1] Baird A J, Wilby R L. Ecohydrology: plants and water in terrestrial and aquatic environments [M]. London: Routledge, 1998: 346-373.
- [2] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics [J]. Water Resources Research, 2000, 36(1): 3-9.
- [3] Noy-Meir I. Desert ecosystems: environment and producers [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 25-51.
- [4] Ehleringer J R, Phillips S L, Schuster W S F, et al. Differential utilization of summer rains by desert plants [J]. Oecologia, 1991, 88(3): 430-434.
- [5] Reynolds J F, Kemp P R, Ogle K, et al. Modifying the pulse-reserve paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses [J]. Oecologia, 2004, 141(2): 194-210.
- [6] 吴学宏, 曹艳芳, 陈素华. 内蒙古草原生态环境的变化及其对气候因子的动态 [J]. 华北农学报, 2005, 20(S1): 65-68.
Wu X H, Cao Y F, Chen S H. The change of grassland ecological environment in Inner Mongolia and their dynamics response to climate change [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005, 20(S1): 65-68.
- [7] 韩国栋. 降水量和气温对小针茅 (*Stipa klemenzii* Roshev.) 草原植物群落初级生产力的影响 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2002, 33(1): 83-88.
Han G D. Influence of precipitation and air temperature on primary productivity of *Stipa klemenzii* Roshev [J]. Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition), 2002, 33(1): 83-88.
- [8] 蔡学彩, 李镇清, 陈佐忠, 等. 内蒙古草原大针茅群落地上生物量与降水量的关系 [J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1657-1662.
Cai X C, Li Z Q, Chen Z Z, et al. The relationship between aboveground biomass and precipitation on *Stipa grandis* steppe in Inner Mongolia [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1657-1662.
- [9] 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.
Wang Y H, Zhou G S. Responses of temporal dynamics of aboveground net primary productivity of *Leymus chinensis* community to precipitation fluctuation in Inner Mongolia [J].

- Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1140-1145.
- [10] 白永飞. 降水量季节分配对克氏针茅草原群落初级生产力的影响 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 155-160.
Bai Y F. Influence of seasonal distribution of precipitation on primary productivity of *Stipa krylovii* community [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(2): 155-160.
- [11] 郭 群, 胡中民, 李轩然, 等. 降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4808-4817.
Guo Q, Hu Z M, Li X R, et al. Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in Inner Mongolia temperate steppe [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4808-4817.
- [12] 张存厚, 王明玖, 乌兰巴特尔. 内蒙古典型草原地上净初级生产力对气候变化响应的模拟 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(6): 1229-1237.
Zhang C H, Wang M J, Wulan B T E. Responses of ANPP to climate change in Inner Mongolia typical steppe a simulation study [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(6): 1229-1237.
- [13] 李金亚, 徐 斌, 杨秀春, 锡林郭勒盟草原沙化动态变化及驱动力分析: 以正蓝旗为例 [J]. 地理研究, 2011, 30(9): 1669-1682.
Li J Y, Xu B, Yang X C. Dynamic changes and driving force of grassland sandy desertification in Xilingol: a case study of Zhenglan banner [J]. Geographical Research, 2011, 30(9): 1669-1682.
- [14] 曹立国, 刘普幸, 张克新. 锡林郭勒盟草地对气候变化的响应及其空间差异分析 [J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 789-794.
Cao L G, Liu P X, Zhang K X. Analysis on response of grasslands to climate change and its spatial difference in Xilingol league [J]. Arid Zone Research, 2011, 28(5): 789-794.
- [15] 吕子君. 基于 RS 与 GIS 的内蒙古正蓝旗草原沙化动态监测与评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2005: 2-4.
Lü Z J. The monitoring and assesement of grassland desertification in Zhenglan Banner of Inner Mongolia based on RS and GIS [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005: 2-4.
- [16] 乌仁花尔. 3S 技术在草原资源调查中的应用 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010: 32-33.
Wuren H E. Application of 3S technology in grassland resources survey [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010: 32-33.
- [17] 刘爱军, 韩建国. 天然草原生育期遥感估测方法研究: 以锡林郭勒盟草原为例 [J]. 草业科学, 2007, 24(7): 1-5.
Liu A J, Han J G. Remote sensing for monitoring the key phenological stages of rangeland: a case study in Xilingol [J]. Pratacultural Science, 2007, 24(7): 1-5.
- [18] 金云翔. 基于“3S”技术的草原生物量与碳储量遥感监测研究: 以内蒙古正蓝旗为例 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
Jin Y X. Research on grassland biomass and carbon storage monitoring by remote sensing based on ‘3S’ technology; a case of Zhenglan Banner, Inner Mongolia [D]. Beijing: Chinese Academy Agricultural Sciences, 2012.
- [19] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, et al. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999 [J]. J Geophys Res, 2003, 108: 1029.
- [20] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, et al. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982—2006 [J]. Science China Life Sciences, 2010, 53: 841-850.
- [21] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7: 811-841.
- [22] 张 峰, 周广胜. 基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(4): 786-797.
Zhang F, Zhou G S. Dynamics simulation of net primary productivity by a satellite data-driven CASA model in Inner Mongolian typical steppe [J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(4): 786-797.
- [23] Prince S D, Goward S N. Global net primary production: a remote sensing approach [J]. Journal of Biogeography, 1995, 22: 815-835.
- [24] Ni J. Estimating net primary productivity of grasslands from field biomass measurements in temperate northern China [J]. Plant Ecology, 2004, 174(2): 217-234.
- [25] Fay P A, Carlisle J D, Knapp A K, et al. Altering rainfall timing and quantity in amesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulation shelters [J]. Ecosystems, 2000, 3(3): 308-319.
- [26] Weltzin J F, Lolk M E, Schwinnin G S, et al. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation [J]. Bioscience, 2003, 53: 941-952.
- [27] Svejcar T, Angell R, Miller R. Fixed location rain shelters for studying precipitation effects on rangelands [J]. Journal of Arid Environments, 1999, 42(3): 187-193.
- [28] 王长庭, 王启基, 沈振西, 等. 高寒矮蒿草甸群落植物多样性和初级生产力对模拟降水的响应 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1713-1718.
Wang C T, Wang Q J, Shen Z X, et al. Response of biodiversity and productivity to simulated rainfall on an alpine Kobresia humilis meadow [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2003, 23(10): 1713-1718.
- [29] 苏佩凤, 郭克贞, 赵淑银, 等. 锡林郭勒天然草原植被生产力与降水因子耦合关系研究 [J]. 现代农业科技, 2012(12): 258-262.
Su P F, Guo K Z, Zhao S Y, et al. Research on correlativity of vegetation productivity and precipitation factors in Xilingol natural prairie [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(12): 258-262.