

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0399

苟晓伟,常生华,程云湘,侯扶江.中国北方草原生物量年际动态.草业科学,2016,33(4):739-747.

Gou X W, Chang S H, Cheng Y X, Hou F J. Annual dynamics of productivity in rangeland across climatic factors over last 30 years in northern China. Pratacultural Science, 2016, 33(4): 739-747.



中国北方草原生物量年际动态

苟晓伟,常生华,程云湘,侯扶江

(草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院,甘肃 兰州 730020)

摘要:不同类型或同一类型不同区域的草地,其地上生物量在时间和空间上均存在差异,本文从不同的草地类型和时空尺度揭示植被生物量与环境因子间动态关系。结果显示,1)中国北方草原近 30 余年地上生物量总体呈下降趋势,水分条件较好的区域下降幅度较大,局部变化不显著,而近 5 年则呈持续增长趋势;2)时间序列上,年降水和年均温的交互作用对各区域草地地上生物量影响不显著;3)空间尺度上,温性草原年均温对地上生物量的影响较显著,高寒草原地上生物量的主要限制因子是降水。

关键词:地上生物量;草地类型;气候变化;年降水;年均温

中图分类号:S812 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2016)4-0739-09*

Annual dynamics of productivity in rangeland across climatic factors over last 30 years in northern China

Gou Xiao-wei, Chang Sheng-hua, Cheng Yun-xiang, Hou Fu-jiang

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Aboveground biomass in different rangeland types or same type in different regions varied with time and space which reveals the dynamic relationship between vegetation biomass and environmental factors from different rangeland types and spatial and temporal scales. The results showed that aboveground biomass in Chinese northern steppe rangeland general declined in last 30 years although consistent increased in the recent 5 years. The decline was great in areas with better water conditions and was not significant in local scale. The interaction of annual temperature and precipitation did not have significant effects on aboveground biomass in time scale. The average annual temperature of temperate rangeland had significant effects on aboveground biomass in spatial scale. The precipitation is the main limiting factor of aboveground biomass in alpine rangeland.

Key words: aboveground biomass; grassland type; climate change; annual precipitation; annual temperature

Corresponding author: Hou Fu-jiang E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

气候改变草原生态系统的物质环境、结构、功能^[1],中国北方草原生态系统受温度和降水的变化影响存在很多不确定性。近 100 年来,全球升温幅度平均为(0.6±0.2)℃,中国年平均地表气温比同期略高,升温幅度为 0.5~0.8℃^[2]。对于中国自然生态系统

来说,气候变暖将带来显著和深远的影响,使得人类生存环境面临巨大挑战。我国草地是陆地生态系统的主体,约占总国土总面积的 41%^[3]。准确了解中国草原生态系统的变化趋势,及时反馈全球气候变化和草地生态系统之间的关系,将有助于监测草地资源的健康

* 收稿日期:2015-07-13 接受日期:2015-12-08
基金项目:我国温带草原重点牧草草地资源退化状况与成因调查(2012FY111900);国家自然科学基金(31172249);长江学者和创新团队发展计划(IRT13019)
第一作者:苟晓伟(1989-),男,内蒙古镶黄旗人,在读硕士生,研究方向为草地生态学。E-mail:gou_xiaowei@126.com
通信作者:侯扶江(1971-),男,河南扶沟人,教授,博导,博士,研究方向为草畜互作。E-mail:cyhoufj@lzu.edu.cn

状况^[4-7]。

植物生物量反映能流、物流和第一性生产,对生态系统结构和功能的形成起重要作用。因此,国内外学者都重视对植物生物量的研究^[1,4,6]。正确地估算我国草地植被生物量的变化,对于研究陆地生态系统的碳循环和指导我国草地畜牧业生产具有重要意义。截至目前,中国学者已经基于全球生物量数据库、草地资源清查资料、野外调查资料以及草地资源数据与遥感数据相结合等方法,评价了中国草地的生物量碳库。但在大尺度生物量方面的研究,多基于遥感信息,较少采用实测数据,所以存在较大不准确性^[5]。

植被生物量动态与环境因子的关系因研究视角和方法不同而结论各异,研究范围包含不同草地类型、不同时空尺度、特定的环境梯度等。草地生物量受环境因子波动的直接影响,并且多表现为多种环境因子的综合作用,其中关键是水热因子组合^[8-11]。

由于不同地域气候差异较大,多数国内学者关注于特定地域的气候变化特征和植被生物量关系研究^[12-13];同时由于水热组合和土壤环境等对陆地植被影响较大^[14],且环境因子的变化必然引起群落结构和功能的变化,进而影响群落的动态和稳定性^[15]。因此,准确揭示草地生物量波动与气候因素的关系对草地资源管理和合理利用、预测未来气候变化对草地生态系统的影响具有重要意义。然而,目前对于草地生物量的估算及其与环境因素关系的认识仍存在争议^[8]。多数研究人员采用控制试验^[16]、野外调查^[17]、模型模拟^[18]和遥感监测^[19]等方法,研究和探讨气候变化对中国各个区域草地生态系统的影响,但其结论缺乏整体性和系统性。而在不同尺度基础上,探讨生物量变化与气候因子间关系的相关研究较少。

本文通过查阅近 30 年中国北方不同区域草地生物量的实测报道数据,分析草地生物量和气候因子间关系,试图揭示:1)中国北方草原地上生物量近 30 年动态变化与空间分布格局;2)比较不同研究区域草地地上生物量对降水和温度的响应。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

本研究所用近 30 年内蒙古高原、新疆和青藏高原不同类型草地地上生物量数据,是在查阅公开发表的学术论文或出版专著基础上筛选而来,样地均选择在地势平坦且围封的天然草地,取样时间段均选择在植

被生长旺季。年降水和年均温数据来自各地区气象站。本研究采用草地综合顺序分类法^[20-23],将所涉及草地划分成暖温极干草地、微温微润草地、微温湿润草地、寒温潮湿草地、微温极干草地和寒温湿润山地草地 6 种类型。其中暖温极干草地、微温微润草地、微温湿润草地分布在内蒙古高原,寒温湿润山地草地分布在天山,寒温潮湿草地、微温极干草地则分布在青藏高原。

1.2 数据分析

地上生物量与年均温、年降水的关系采用多元回归分析,显著性检验水平为 0.05。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验,分析数据是否为正态分布,对不符合正态分布的数据使用中值计算。统计分析均采用 SPSS 18.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 生物量动态

中国北方草原不同区域多年平均地上生物量差异很大,其变化范围为 2.72~711 g·m⁻²(图 1)。不同草地类型间地上生物量亦存在明显差异,阿拉善暖温极干草地地上生物量只有 8.741 g·m⁻²,而在贵南寒温潮湿草地地上生物量高达 425 g·m⁻²(表 1)。

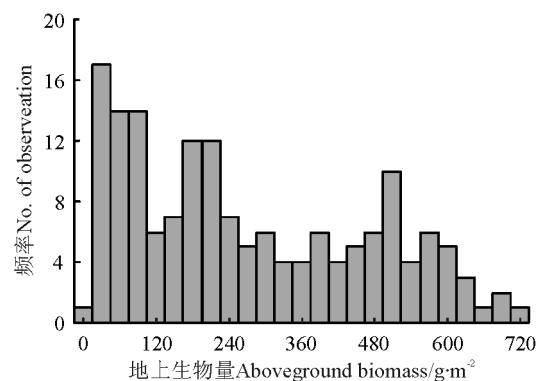


图 1 中国北方草原地上生物量频数分布

Fig.1 Frequency distribution of aboveground biomass of grassland in northern China

阿拉善定点监测数据显示,1993—2008 年,荒漠草地地上生物量呈逐年下降趋势,年均降幅达 6.11 kg·hm⁻²(图 2a);综合锡林郭勒盟微温微润草地的监测数据,1984—2013 年,地上生物量平均以每年 42.62 kg·hm⁻²的速度下降;锡林浩特市草地地上生物量监测数据表明,地上生物量以每年 24.33 kg·hm⁻²的幅度下降(图 2b);但是西乌珠穆沁旗的

产草量逐年略有增加(图 2c)。1984—1995 年,呼伦贝尔的微温湿润草地(鄂温克旗)年地上生物量平均以 $111.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的速度递增(图 2d)。天山的寒温湿润山地草地,2000—2010 年,地上生物量年均增速为 $500.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 2g)。在青藏高原,2006—2011 年,若尔盖寒温潮湿草地地上生物量以每年 $357.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的速度下降(图 2h);1984—2009 年,贵南草地地上生物量呈较小波动趋势(图 2i);1994—2004 年,格尔木微温极干草地地上生物量以每年 $22.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的速度上升,但趋势不明显(图 2j)。

2.2 生物量与气候因子的关系

不同区域的响应存在差异,其中锡林浩特微温湿润草地($R^2=0.71, P<0.05$)和天山寒温湿润山地草地($R^2=0.19, P<0.05$)年降水对地上生物量影响显著,而在贵南寒温潮湿草地($R^2=0.89, P<0.01$)地上生物量与年均温的作用显著相关,其它区域草地的地上生物量与气候因子都不相关。

温性草原地上生物量与年降水的正相关关系不显著($R^2=0.244 1, P>0.05$)(图 3a),但是与年均温显著负相关($R^2=0.776 7, P<0.01$)(图 3b);高寒草原的结论正好相反,其地上生物量与年降水量有显著的

表 1 不同区域地上生物量均值、最大值和最小值

Table 1 Aboveground biomass of different regions in northern China from 1980 to 2000

地点 Site	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	草地类型 Grassland type	地上生物量 Aboveground biomass/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	SE	最大值 Maximum	最小值 Minimum	年份 Year	参考文献 Reference
阿拉善 Alxa	105.4°	37.88°	暖温极干草地 Warm-temperate and very drought steppe	8.74	1.08	16.55	2.61	1993—2008	[24]
锡林浩特 Xilinhot	116.1°	43.95°	微温湿润草地 Tepofaction and slightly moist steppe	74.7	9.35	150.0	26.7	1994—2008	[24]
西乌旗 Xiwu County	117.6°	44.55°	微温湿润草地 Tepofaction and slightly moist steppe	198	11.8	282.5	146	1984—1995	[25]
鄂温克旗 Ewenki County	119.8°	48.875°	微温湿润草地 Tepofaction and moist steppe	243	15.4	291.6	142	1984—1995	[25]
正蓝旗 Zhenglan County	116.1°	42.3°	微温湿润草地 Tepofaction and slightly moist steppe	155	19.2	323.7	98.5	1983—1995	[25]
多伦 Duolun	115.9°	41.76°	微温湿润草地 Tepofaction and slightly moist steppe	90.3	21.4	157.0	39.2	2005—2010	[26]
天山 Tianshan Mountain	85.08°	44.23°	寒温湿润草地 Cold-temperate and moist grassland	251	33.1	540.2	34.9	2001—2008	[27]
若尔盖 Zoige	102.5°	33.41°	寒温潮湿草地 Cold-temperate and humidity grassland	564	6.77	711.0	469	2006—2008	[28]
贵南 Guinan	98.76°	35.45°	寒温潮湿草地 Cold-temperate and humidity grassland	425	14.7	521.0	300	1985—2007	[29]
格尔木 Golmud	95.75°	34.2°	微温极干草地 Tepofaction and very drought steppe	62	13.1	111.0	28	1994—2004	[30]

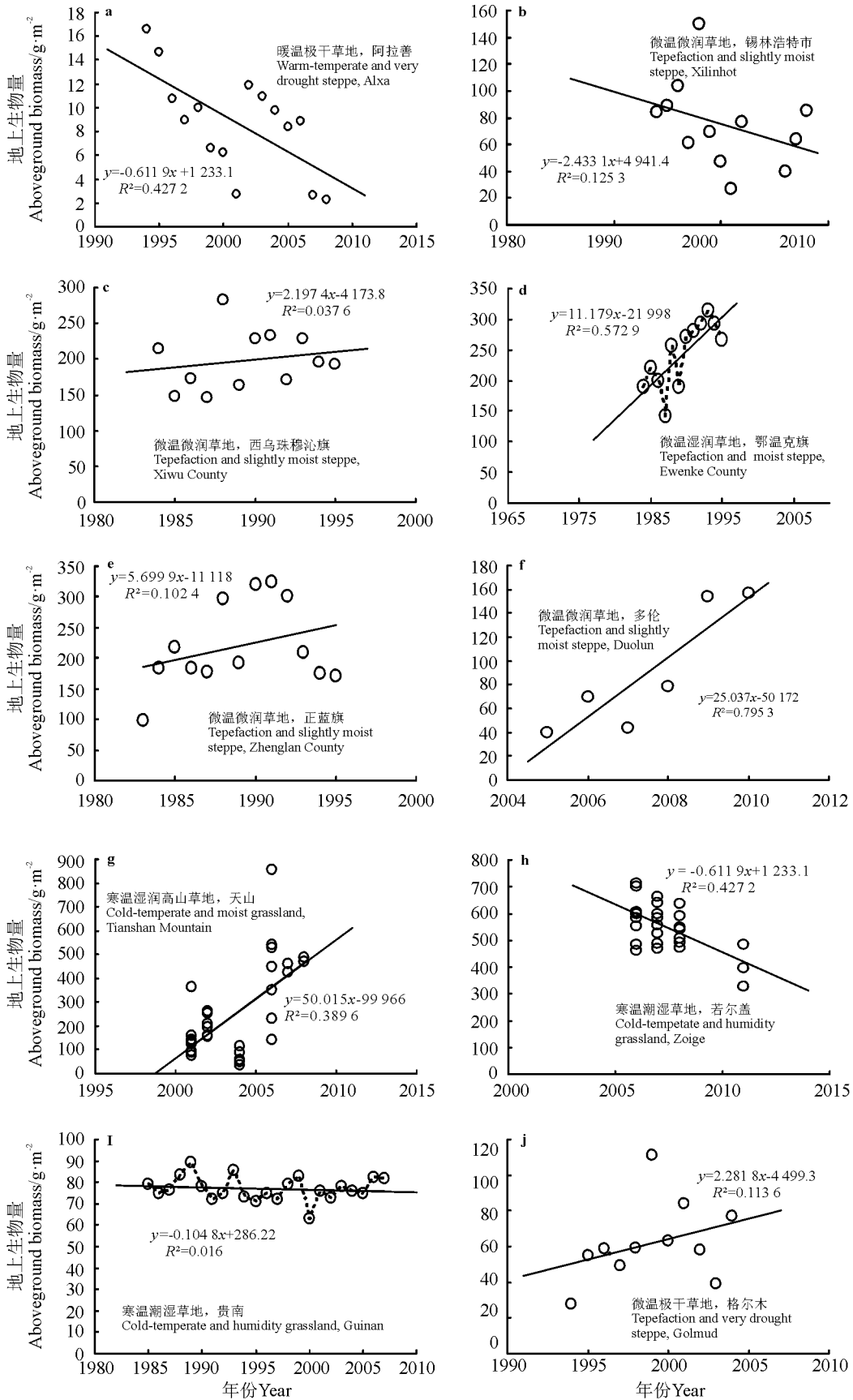


图2 近30年间不同草地类型地上生物量的变化

Fig.2 Spatial distribution of grassland biomass in northern China

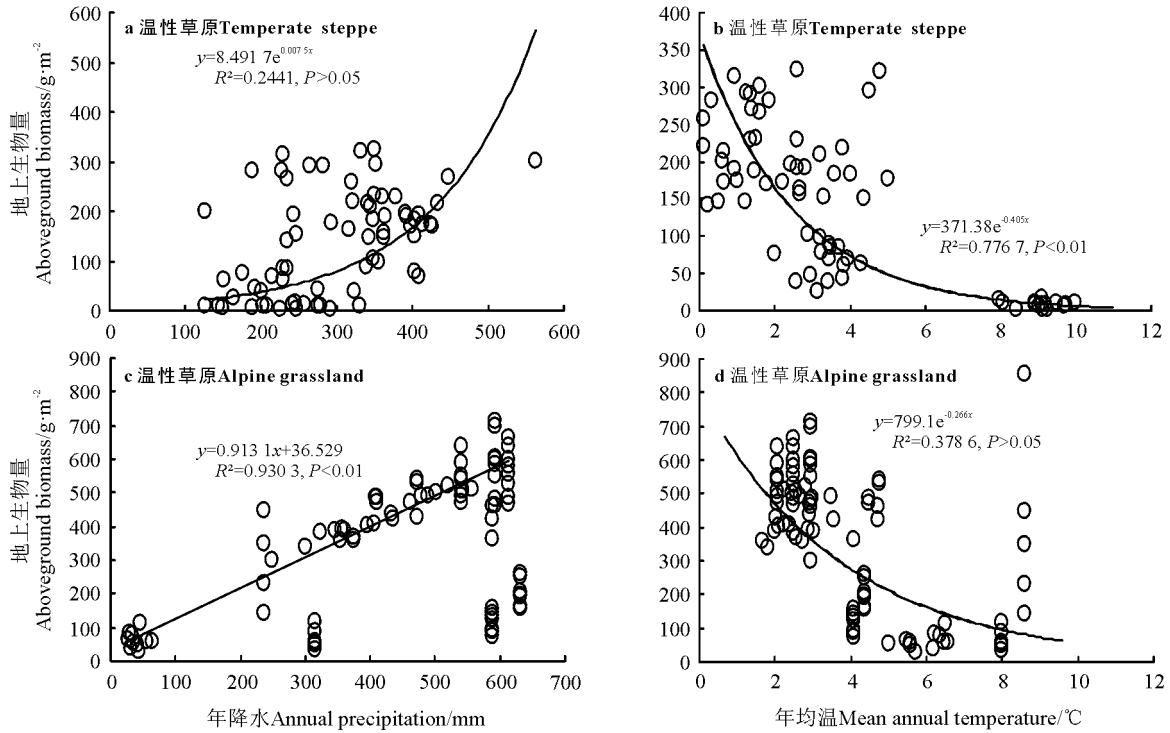


图 3 温性草原(暖温极干草地、微温微润草地、微温湿润草地)和高寒草原(寒温潮湿草地、微温极干草地)地上生物量与气候因子的回归关系

Fig. 3 Relationships of biomass with climatic factors for temperate steppe and alpine grasslands in northern China

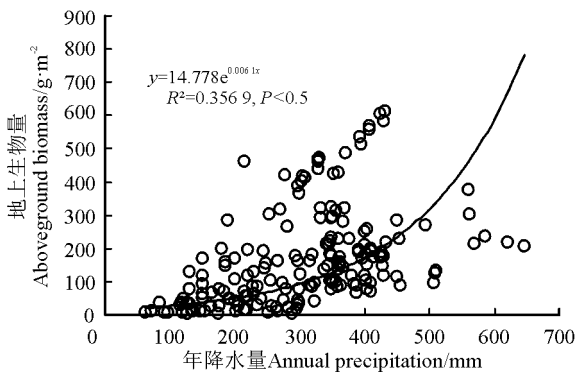


图 4 中国北方草原地上生物量与年降水量的关系

Fig. 4 The relationship between annual precipitation and grassland aboveground biomass in northern China

正相关关系 ($R^2 = 0.9303, P < 0.01$) (图 3c), 但与年均温的负相关关系不显著 ($R^2 = 0.3786, P > 0.05$) (图 3d)。整个北方草原范围内, 草地地上生物量与年降水有显著的正相关关系 ($R^2 = 0.3569, P < 0.05$) (图 4)。

3 讨论

3.1 生物量变化

本研究中国北方草原 1980—2010 年平均地上生物量波动范围是 $2.72 \sim 711 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 而 Yang 等^[31]和 Piao 等^[32]报道中国北方草地生物量分别为 104.8 和

$97 \sim 102 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (1982—1999 年); 原因可能是本研究所用数据在时间序列范围更大。全球草原平均地上生物量 $378.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ [31], 中国北方草原与之相比是一个低水平产草量的区域。

从时间序列上看, 中国北方不同类型草原生物量变化速度不同, 其中环境条件较好区域的地上生物量变化速度较大, 锡林郭勒盟微温微润草地在 1984—2013 年呈下降趋势 ($42.62 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、鄂温克旗微温湿润草地在 1984—1995 年呈上升趋势 ($111.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 以及若尔盖寒温潮湿草地在 2006—2011 年呈下降趋势 ($357.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 而环境较差区域的地上生物量年际间变化速度明显小于环境条件好的地区。原因可能是草地植被在不同生态环境下对生物量分配的差异造成的, 水分和光照是植物生长的限制因素, 植被通常在适宜的环境下会分配更多的地上生物量, 所以环境条件较好的微温湿润草地、微温微润草地和寒温潮湿草地的地上生物量受降水和温度的影响更为明显, 变化范围更大。

总体上, 从 1980 年开始我国草原产草量总体下降, 但生物量没有明显的变化趋势, 该结果与内蒙古温带草地^[33]和青藏高原高寒草地的长期定位观测结果^[34]一致, 即在过去的 30 多年尽管温度显著升高, 但

中国北方草地的地上生物量并没有显著变化,中国北方草地生产力保持在一个稳定的状态。

3.2 时间序列和空间尺度研究中气候因子对生物量的影响

降水在空间尺度上被认为是影响草地生态系统生物量变化的主要因素^[35-38],牧草的生长和产量受降水和温度共同影响^[39],在中国陆地生态系统中,生产力与降水的年际波动间存在密切关系,群落初级生产力随着年降水的增多也相应增加^[40]。但是,在时间尺度上二者是否存在显著的相关性,目前仍因研究结论不同而存有争议^[41]。本研究中,只有锡林浩特、天山和贵南3个区域的地上生物量与年降水量和年均温的相关性显著,其它研究认为草地地上生物量与气候因子没有显著的相关性^[42]。这是由于局部地区降水和温度对生物量的影响复杂,草地地上生物量变化受多种因子影响。比如,有研究表明放牧对中国北方草原地上和地下生物量的形成有很大的抑制作用,放牧约降低总生物量的60%^[43],所以在某些特定区域内降水和温度对生物量的影响会被弱化。整体上气候因子对生物量影响是显著的,但小范围内却没有规律。目前,气候因子对草地植被群落的生产力的影响仍因研究结论的不同而存有争议,更多的研究结论还有待从不同角度进行深入研究^[38,40,44]。

3.3 空间尺度生物量与气候关系

大气-植被互作模式对内蒙古半干旱草原净初级

生产力和生物量的模拟表明,地上生物量随着降水的增加而上升,随着温度升高而下降^[45]。本研究在时间序列的基础上扩展到空间尺度,发现年降水量对整个中国北方草地地上生物量有显著影响(图4)。在温性草原区域内,草地生物量的主要影响因素是温度,随着温度的升高草地地上生物量呈下降趋势。之前很多研究都表明,草地地上生物量随着温度增加和水分的降低而减少^[46-48]。干旱的条件下植物光合作用可能被高温约束,所以在内蒙古微温微润草地高温导致光合速率的下降进而影响生物量。更高的温度会导致蒸发增加,加剧干旱和减少生物量^[49]。高寒草原草地生物量的主要影响因子是降水,草地生产力随着降水的增加呈明显的增加趋势。基于三江源区兴海县46年的气候资料分析^[50],降水量是影响草地生产潜力的限制因子。

4 结论

基于国内外学者的研究表明,受气候等因素的影响我国北方草原地上生物量近30年各地区变化不一,总体上说保持在一个稳定状态。尺度研究对于草地生物量的研究很有意义,在时间序列上气候因子对草地生物量的影响被弱化,而在空间尺度上由于气候条件差异较大,降水量和温度对草地生物量影响显著。中国北方草原中温性草原生物量的主要限制因子是温度,相反限制高寒草原生物量的主要气候因子是降水量。

参考文献 (References)

- [1] 梁云.影响天山北坡中山带天然牧草产量的主要气候因子分析.草业科学,1999,16(3):1-3.
Liang Y. Analysis of main climatic factors affecting the yield of natural herbage in the middle zone of north slope, Tianshan Mountain. Pratacultural Science, 1999, 16(3): 1-3. (in Chinese)
- [2] 丁一汇.气候变暖我们面临的灾害和问题.中国减灾杂志,2003,2(1):19-24.
Ding Y H. We are faced with the disasters and climate change. Chinese Journal of Disaster Reduction, 2003, 2(1): 19-24. (in Chinese)
- [3] 樊江文,钟华平,梁懿,石培礼,于贵瑞.草地生态系统碳储量及其影响因素.中国草地,2003,25(6):51-58.
Fan J W, Zhong H P, Liang B, Shi P L, Yu G R. Carbon stock in grassland ecosystem and its affecting factors. Grassland of China, 2003, 25(6): 51-58. (in Chinese)
- [4] Yang Y Y, Fang J, Tang Y H, Ji C T, Zheng C Y, He J S, Zhu B. Storage patterns and controls of soil organic carbon in the Tibetan grasslands. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1592-1599.
- [5] 马文红,方精云,杨元合,安尼瓦尔·买买提.中国北方草地生物量动态及其与气候因子的关系.中国科学:生命科学,2010,40(7):632-641.
Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, Moharmmat A. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006. Science China: Life Sciences, 2010, 53(7): 841-50.

- [6] 樊江文, 邵全琴, 刘纪远, 王军邦, 陈卓奇, 钟华平, 徐新良, 刘荣高. 1988—2005年三江源草地产草量变化动态分析. 草地学报, 2010, 18(1): 5-10.
Fan J W, Shao Q Q, Liu J Y, Wang J B, Chen Z Q, Zhong H P, Xu X L, Liu R G. Dynamic changes of grassland yield in three river headwater region from 1988 to 2005. Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(1): 5-10. (in Chinese)
- [7] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用. 生态学报, 2006, 26(1): 244-264.
Hou F J, Yang Z Y. Effects of grazing of livestock on grassland. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 244-264. (in Chinese)
- [8] Yang H X. Proceedings of the International Symposium on Grassland Vegetation. Beijing: Science Press, 1990: 433-438.
- [9] 郑晓翻, 赵家明, 张玉刚, 吴雅琼, 靳甜甜, 刘国华. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系. 生态学杂志, 2007, 26(4): 533-538.
Zheng X X, Zhao J M, Zhang Y G, Wu Y Q, Jin T T, Liu G H. Variation of grassland biomass and its relationships with environmental factors in Hulunbeier, Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(4): 533-538. (in Chinese)
- [10] 张彩琴, 杨持. 生长季内草原植物生长动态与气象因子的相关分析及其模拟研究. 内蒙古农业大学学报, 2009, 30(1): 91-96.
Zhang C Q, Yang C. Simulations and correlation analysis of meteorological factors and growing dynamic of plants in growing season. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2009, 30(1): 91-96. (in Chinese)
- [11] 谭丽萍, 周广胜. 内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系. 生态学报, 2013, 33(2): 650-658.
Tan L P, Zhou G S. Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups plant species and their relationships with climate factors. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 650-658. (in Chinese)
- [12] 王艳荣. 内蒙古草原植被近地面反射波谱特征与地上生物量相关关系的研究. 植物生态学报, 2004, 28(2): 178-185.
Wang Y R. Correlation analysis between vegetation near ground reflectance spectral characteristics and biomass for Inner Mongolia steppe. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(2): 178-185. (in Chinese)
- [13] 于惠. 青藏高原草地变化及其对气候的响应. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2013.
Yu H. The Qinghai-Tibet plateau grassland and its response to climate change. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2013. (in Chinese)
- [14] 王伯荪. 植被生态学. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 20-28.
Wang B S. Vegetation Ecology. Beijing: China Environmental Science Press, 1997: 20-28. (in Chinese)
- [15] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述. 生态学杂志, 2003, 22(4): 42-48.
Zhang J Y, Zhao H L. Review on the study of vegetation stability. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(4): 42-48. (in Chinese)
- [16] 李鹏. 黄土区草地植被水土保持作用机理试验研究. 杨凌: 西北农林科技大学博士学位论文, 2003.
Li P. The grassland vegetation function mechanism of soil and water conservation experimental research on loess area. PhD Thesis. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2003. (in Chinese)
- [17] 渠翠平, 关德新, 王安杰, 金昌杰, 倪攀, 袁凤辉, 张晓静. 基于MODIS数据的草地生物量估算模型比较. 生态学杂志, 2008, 27(11): 2028-2032.
Qu C P, Guan D X, Wang A J, Jin C J, Ni P, Yuan F H, Zhang X J. Comparison of grassland biomass estimation models based on MODIS data. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(11): 2028-2032.
- [18] 郭灵辉. 内蒙古草地生态系统对气候变化的响应研究. 北京: 中国科学院大学博士学位论文, 2014.
Guo L H. Grassland ecosystem response to climate change research in Inner Mongolia. PhD Thesis. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014. (in Chinese)
- [19] 陈钟. 青藏高原天然草地综合顺序分类与遥感监测研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2010.
Chen Z. The Qinghai-Tibet plateau natural grassland sequence classification and study of remote sensing monitoring. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2010. (in Chinese)
- [20] 任继周. 分类、聚类与草地类型. 草地学报, 2008, 16(1): 4-10.
Ren J Z. Classification and cluster applicable for grassland type. Acta Agrestia Sinica, 2008, 16(1): 4-10. (in Chinese)
- [21] 杜铁瑛. 用综合顺序分类法对青海草地分类的探讨. 草业科学, 1992, 12(5): 28-32.
Du T Y. Classifying native grasslands of Qinghai Province with the integrated classification system. Pratacultural Science, 1992, 12(5): 28-32. (in Chinese)
- [22] 马轩龙, 李文娟, 陈全功. 基于GIS与草原综合顺序分类法对甘肃省草地类型的划分初探. 草业科学, 2009, 26(5): 7-13.

- Ma X L, Li W J, Chen Q G. Preliminary exploration of native grassland classification of Gansu Province based on GIS and comprehensive and sequential grassland classification method. *Pratacultural Science*, 2009, 26(5): 7-13. (in Chinese)
- [23] 张永亮, 魏绍成. 用综合顺序分类法对内蒙古草原分类的研究. *中国草地*, 1990, 16(5): 14-20.
Zhang Y L, Wei S C. An approach to tapping and utilizing the saline soil pasture in coastal plain of north Shandong Province. *Chinese Journal of Grassland*, 1990, 16(5): 14-20. (in Chinese)
- [24] 常骏, 王忠武, 李怡, 韩国栋. 内蒙古三种草地植物群落地上净初级生产力与水热条件的关系. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2010, 41(6): 689-694.
Chang J, Wang Z W, Li Y, Han G D. Relationship between aboveground net primary productivity and precipitation and air temperature of three plant communities in Inner Mongolia grassland. *Journal of Inner Mongolia University*, 2010, 41(6): 689-694. (in Chinese)
- [25] 白永飞, 李凌浩, 黄建辉, 陈佐忠. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. *植物学报*, 2001, 43(3): 280-287.
Bai Y F, Li L H, Huang J H, Chen Z Z. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four stipes communities in the Inner Mongolia Plateau. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(3): 280-287. (in Chinese)
- [26] 赵丽, 张连根, 余伟莅, 胡小龙, 薛博. 多伦县退耕还林地林下植被地上生物量年变化及影响因子研究. *内蒙古林业科技*, 2011, 37(1): 14-17.
Zhao L, Zhang L G, Yu W L, Hu X L, Xue B. The annual variation of aboveground biomass of undergrowth vegetation and its impact factors in the area of conversion of cropland to forest in Duolun County. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology*, 2011, 37(1): 14-17. (in Chinese)
- [27] 冯纛. 天山北坡中段草地多样性研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学博士学位论文, 2005.
Feng Y. The north slope of Tianshan Mountain midway through the grass diversity research. PhD Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [28] 王莺, 夏文韬, 梁天刚, 王超. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地生物量. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2009, 45(5): 73-78.
Wang Y, Xia W T, Liang T G, Wang C. Grassland biomass based on MODIS vegetation index in Gannan prefecture. *Journal of Lanzhou University(Natural Science)*, 2009, 45(5): 73-78. (in Chinese)
- [29] 周雷. 贵南县 23 年草原生态系统净第一性生产力与气候变化趋势. *草原与草坪*, 2012, 32(2): 58-60.
Zhou L. Grassland ecosystem net primary productivity and the trend of climate change in Guinan County. *Grassland and Turf*, 2012, 32(2): 58-60. (in Chinese)
- [30] 黄瑞灵, 周华坤, 刘泽华, 徐维新, 魁武. 长江源区高山嵩草物候与生物量动态及其对气候变化的响应. *西北植物学报*, 2012, 32(5): 1021-1026.
Huang R L, Zhou H K, Liu Z H, Xu W X, Kui W. Responses of phenology and climate change in the Yangtze River Headwaters Region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2012, 32(5): 1021-1026. (in Chinese)
- [31] Yang Y, Fang J, Ma W, Guo D, Mohammat A. Large-scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(2): 268-277.
- [32] Piao S, Fang J, Zhou L, Tan K, Tao S. Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21(2): 1-10.
- [33] Ma W, Liu Z, Wang Z, Wang W, Liang C, Tang Y, Fang J. Climate change alters interannual variation of grassland aboveground productivity: Evidence from a 22-year measurement series in the Inner Mongolia grassland. *Journal of Plant Research*, 2010, 123(4): 509-517.
- [34] 周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 李英年, 古松, 周兴民. 青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究. *中国学术期刊文摘*, 2006, 15(15): 96-96.
Zhou H K, Zhou L, Zhao X Q, Li W, Li Y N, Gu S, Zhou X M. The Qinghai-Tibet Plateau alpine meadow ecosystem stability study. *Chinese Science Abstracts*, 2006, 15(15): 96-96. (in Chinese)
- [35] 李育中, 李博. 内蒙古锡林河流域羊草草原生物量动态的研究. *中国草地学报*, 1991, 8(1): 5-8.
Li Y Z, Li B. Study on the biomass of *Aneurolepidium chinensesis* grassland in Xilin River basin of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Grassland*, 1991, 8(1): 5-8. (in Chinese)

- [36] 李镇清,刘振国,陈佐忠,杨宗贵.中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响.草业学报,2003,12(1):4-10.
Li Z Q,Liu Z G,Chen Z Z,Yang Z G.The effects of climate changes on the productivity in the Inner Mongolia steppe of China. Acta Pratacultural Sinica,2003,12(1):4-10.(in Chinese)
- [37] 刘正恩,王昱生,潘介正,葛剑平.羊草草原地上生物量的预测.生态学杂志,2004,23(4):179-183.
Liu Z E,Wang Y S,Pan J Z,Ge J P.Prediction of aboveground biomass of *Leymus chinensis* grassland.Chinese Journal of Ecology,2004,23(4):179-183.(in Chinese)
- [38] 袁文平,周广胜.中国东北样带三种针茅草原群落初级生产力对降水季节分配的响应.应用生态学报,2005,16(4):605-609.
Yuan W P,Zhou G S.Responses of three *Stipa* communities net primary productivity along northeast China transect to seasonal distribution of precipitation.Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(4):605-609.(in Chinese)
- [39] 徐海量,宋郁东,胡玉昆.巴音布鲁克高寒草地牧草产量与水热关系初步探讨.草业科学,2005,23(22):314-17.
Xu H L,Song Y D,Hu Y K.The primary discussion the relationship between the forage yields in alpine grassland and temperature and rainfall in Bayinbuluk.Pratacultural Science,2005,23(22):314-17.(in Chinese)
- [40] Fang J,Piao S,Tang Z.Interannual Variability in net primary production and precipitation science.Science,2001,293:1723-1723.
- [41] 蔡学彩,李镇清,陈佐忠,王义凤,汪诗平,王艳芬.内蒙古草原大针茅群落地上生物量与降水量的关系.生态学报,2005,25(7):1657-1662.
Cai X C,Li Z Q,Chen Z Z,Wang Y F,Wang S P,Wang Y F.The relationship between aboveground biomass and precipitation on stipe grand is steppe in Inner Mongolia.Acta Ecologica Sinica,2005,25(7):1657-1662.(in Chinese)
- [42] 李存焕.短花针茅草原植物群落生产力与气候波动的关系.草原与草业,2000,21(1):36-40.
Li C H.The relationship between primary productivity of plant community and climate fluctuation in *Stipe breviflora* desert steppe.Grass and Grassland,2000,21(1):36-40.(in Chinese)
- [43] Yan L,Zhou G,Zhang F.Effects of different grazing intensities on grassland production in china;a meta-analysis.Plos One,2013,8(12):81466-81466.
- [44] 白永飞,许志信.降水量的季节分配对羊草草原群落地上部生物量影响的数学模型.草业学报,1997,6(2):1-6.
Bai Y F,Xu Z X.A model of above-ground biomass of *Aneurolepidium chinense* community in response to seasonal precipitation.Acta Pratacultural Sinica,1997,6(2):1-6.(in Chinese)
- [45] 季劲钧,黄玫,刘青.气候变化对中国中纬度半干旱草原生产力影响机理的模拟研究.气象学报,2005,63(3):257-266.
Ji J J,Huang M,Liu Q.Climate change on China mid-latitude semi-arid grassland productivity influence mechanism simulation study.Acta Meteorologica Sinica,2005,63(3):257-266.(in Chinese)
- [46] 邓蕾,上官周平.陕西省天然草地生物量空间分布格局及其影响因素.草地学报,2012,20(5):825-835.
Deng L,Shangguan Z P.Distribution of natural grassland biomass and its relationship with influencing factors in Shaanxi.Acta Agrestia Sinica,2012,20(5):825-835.(in Chinese)
- [47] 张风承.放牧对小叶章草场生物量季节变化和土壤理化性质的影响.哈尔滨:东北农业大学硕士学位论文,2012.
Zhang F C.Grazing chapter of lobular pasture biomass seasonal change and the influence of soil physical and chemical properties.Master Thesis.Harbin:Northeast Agricultural University,2012.(in Chinese)
- [48] Palviainen M,Finér L,Mannerkoski H.Changes in the above-and below-ground biomass and nutrient pools of ground vegetation after clear-cutting of a mixed boreal forest.Plant & Soil,2010,275(1):157-167.
- [49] Fan J W,Wang K,Harris W,Zhong H P,Hu Z M,Han B.Allocation of vegetation biomass across a climate-related gradient in the grasslands of Inner Mongolia.Journal of Arid Environments,2009,73(4-5):521-528.
- [50] 郭连云,吴让,汪青春,藟尚玛.气候变化对三江源兴海县草地气候生产潜力的影响.中国草地学报,2008,30(2):5-10.
Guo L Y,Wu R,Wang Q C,Lei S M.Influence of climate change on grassland productivity to in Xinghai County in the source regions of Yangtze River.Chinese Journal of Grassland,2008,30(2):5-10.(in Chinese)