

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2023.0457

韩雪娇, 图雅, 刘晓娟, 等. 气候因子对乌兰察布草原区不同植被类型群落特征的年际影响[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(3): 363-373.

HAN Xue-jiao, TU Ya, LIU Xiao-juan, et al. Interannual Effects of Climate Factors on Community Characteristics of Different Vegetation Types in Ulanqab Steppe[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2024, 40(3): 363-373.

气候因子对乌兰察布草原区不同植被类型群落特征的年际影响

韩雪娇¹, 图雅², 刘晓娟³, 朱媛君⁴^①, 时忠杰⁴, 杨晓晖⁴ (1. 乌兰察布市野生动植物和湿地保护站, 内蒙古乌兰察布 012000; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 3. 乌兰察布市草原工作站, 内蒙古 乌兰察布 012000; 4. 中国林业科学研究院荒漠化研究所/生态保护与修复研究所, 北京 100091)

摘要: 随着全球气候变化逐步加剧, 温度、降水和风速等气候因子对草原群落的影响日趋增强。探索气候变化对不同植被类型群落特征的影响, 对于研究草原生态过程、合理利用和保护草原资源以及修复退化草原生态具有重要意义。采用样地调查法考察年平均气温、年平均降水量和年平均风速 3 个气候因子对 2010—2020 年乌兰察布草原区根茎草类草地、丛生草类草地、灌木/半灌木草地以及杂类草草地 4 种植被类型不同群落特征的年际影响进行分析。结果表明: (1) 丛生草类草地和杂类草草地植被样地年平均气温、年平均降水量和年平均风速均呈波动性逐年递增趋势, 根茎草类草地和灌木/半灌木草地植被样地年平均气温和年平均降水量呈波动性逐年递增趋势, 年平均风速呈波动性逐年递减趋势。 (2) 丛生草类草地、根茎草类草地和杂类草草地植被样地物种丰富度、盖度、平均高度和生物量 4 种群落特征年际变化整体呈波动性逐年递增趋势, 灌木/半灌木草地植被样地 4 种群落特征年际变化趋势不明显。 (3) 年平均气温对根茎草类草地和杂类草草地植被样地群落特征影响最大, 对灌木/半灌木草地植被样地群落特征无显著影响; 年平均风速对杂类草草地植被样地群落特征的影响最大; 年平均降水量与 4 种植被类型样地群落特征整体呈显著正相关, 对乌兰察布草原区群落特征的影响程度明显高于年平均气温和年平均风速, 是影响该区域群落特征变化的最主要气候因子。

关键词: 气候变化; 群落特征; 植被类型; 乌兰察布草原

中图分类号: X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2024)03-0363-11

Interannual Effects of Climate Factors on Community Characteristics of Different Vegetation Types in Ulanqab Steppe. HAN Xue-jiao¹, TU Ya², LIU Xiao-juan³, ZHU Yuan-jun⁴^①, SHI Zhong-jie⁴, YANG Xiao-hui⁴ (1. Ulanqab Wildlife and Wetland Protection Station, Ulanqab 012000, China; 2. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Ulanqab Grassland Station, Ulanqab 012000, China; 4. Institute of Desertification/ Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: With the gradual intensification of global climate change, the impact of climate factors such as temperature, precipitation, and wind speed on steppe communities is increasing. Exploring the effects of climate change on community characteristics of different vegetation types is of vital significance for studying steppe ecological processes, rational utilization and conservation of steppe resources, and the ecological restoration of degraded steppes. In this study, three climate factors, namely, annual average temperature, annual precipitation, and annual average wind speed, were investigated by using a plot survey method to analyze the interannual effects of different community characteristics of rhizome steppe, tussock steppe, shrubby/semi-shrubby steppe and forb steppe in Ulanqab grassland from 2010 to 2020. The following conclusions were drawn: (1) The annual average temperature, annual precipitation, and annual average wind speed exhibited a

收稿日期: 2023-05-22

基金项目: 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(32061123005); 中央级公益性科研院所基本业务费专项资金(CAFYBB2017ZA006)

① 通信作者 E-mail: zhuyuanjun@caf.ac.cn

fluctuating increasing trend for the tussock and forb steppe; the annual mean temperature and annual mean precipitation of rhizome steppe and shrubby/semi-shrubby steppe showed a trend of increasing year by year, and the annual mean wind speed showed a trend of decreasing year by year. (2) The interannual changes of the 4 community characteristics of tussock steppe, rhizome steppe and forb steppe showed an overall trend of increasing year by year, while the interannual changes of the 4 community characteristics of shrubby/semi-shrubby steppe were not obvious. (3) Annual average temperature exerted the greatest influence on the characteristics of rhizome steppe and forb steppe communities, while it had no significant impact on the characteristics of shrubby/semi-shrubby steppe communities. Annual average wind speed had the most significant effect on the characteristics of the forb steppe community. Annual precipitation demonstrated a significant positive correlation with the characteristics of all four vegetation types, and its influence on the community characteristics of the Ulanqab Steppe region surpassed that of the annual average temperature and annual average wind speed, making it the primary climate factor impacting the community characteristics in this region.

Key words: climate change; community characteristics; vegetation types; Ulanqab Steppe

草原生态系统面积占世界陆地面积的40%,对近25亿人的生存和生计有着直接影响^[1-2]。欧亚草原作为世界上分布面积最大的草原带,呈连续带状分布于北半球温带区域,近年来由于全球气候变化和人类活动的影响,已经发生不同程度的退化^[3-4]。作为欧亚草原东部的重要组成部分,内蒙古草原自1960年代以来,草原群落生产力和生物多样性整体均呈现退化趋势^[5]。内蒙古地区受自然资源开发等因素影响,生态系统愈加脆弱,气候变化对草原生态系统影响较为显著,尤其是中西部荒漠草原区,水分因子和温度制约着植物生长和土壤生态学过程^[5-7]。

水分对群落特征的影响研究已有较多,降水量对一、二年生草本,多年生杂类草和多年生根茎禾草功能群物种丰富度分布格局起主导作用,一、二年生草本植物物种丰富度随降水量增多而下降,多年生杂类草和根茎禾草物种丰富度则均随降水量增多而升高^[8];TILMAN等^[9]对4种草地类型进行研究,认为早年草地植物生物量和丰富度分别降低47%和37%。对荒漠草原的研究发现,植物群落地上生物量和物种丰富度均表现为丰水年大于平水年和欠水年^[10],随着降水量增加,一年生禾草生物量上升,物种丰富度却显著降低^[11]。也有研究^[12-13]认为降水量是影响草地生物量的主要影响因子,降水量与草地生产力呈极显著正相关。郑晓翮等^[14]认为内蒙古典型草原群落物种丰富度随水分增加而上升。草甸草原和典型草原植物生长高度对水热条件变化的响应比荒漠草原更加敏感^[15]。草原群落生长季平均盖度、逐月盖度与降水量呈正相关关系,与温度呈负相关关系,且不同草原类型植被特征对气候因子的敏感性不同,气温是草甸草原植物高度变化的关键因子,而荒漠草原植被盖度与气温相关性则强于其他植被特征^[15-16]。风力作

用也同样会对草原植物群落产生影响,风力影响土壤水分和营养成分,进而影响草原生态系统结构和植被盖度^[16],同时,风速对草原植物种子传播和群落定居也具有重要影响^[13]。

草原植被对维持畜牧业发展和农牧民生产生活意义重大,不同植被类型群落特征直接影响着草原生产力和植物多样性。随着全球气候变化加剧,温度、降水和风速等气候因子对草原群落特征的影响也逐渐增强,探索不同植被类型群落特征对气候因子变化的响应成为草原生态研究热点。乌兰察布草原位于内蒙古中部,草原资源丰富,草原类型以荒漠草原为主,非地带性分布有典型草原和草甸草原,不同植被类型群落特征对气候变化的响应呈现出不同规律。对2010—2020年乌兰察布草原区不同植被类型群落特征的年际变化进行研究,探讨年平均降水量、年平均气温和年平均风速等气候因子对不同植被类型群落特征的影响,以期对研究乌兰察布草原生态过程以及合理利用和保护草原资源提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区分布于内蒙古中部乌兰察布市四子王旗、察哈尔右翼前旗、察哈尔右翼中旗、察哈尔右翼后旗和商都县5个旗县境内,坐标为41°05' N~43°76' N, 110°01' E~113°80' E,海拔为911.68~1 627.1 m。研究区属温带大陆性季风气候区,水热同期,年平均降水量在150~350 mm之间,多集中在夏秋两季,7到9月降水量最多,约占年平均降水量的60%~70%,年平均气温为0.8~5.3℃,最冷月为1月,最热月为7月,≥10℃积温为2 200~2 500℃,无霜期为90~120 d,全年多风,且春季最为频繁^[17-19]。

研究区植被组成比较单一,主要包括禾本科(Poaceae)、菊科(Asteraceae)、百合科(Liliaceae)和豆科(Leguminosae)植物^[18]。建群种主要由强旱生丛生小禾草组成,如小针茅(*Stipa klemenaii*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、沙生针茅(*Stipa glareosa*)和无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)等;群落中同时伴生大量强旱生杂类草和强旱生小半灌木及半灌木,常见的有红砂(*Reaumuria songorica*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)等,在部分严重干燥或过度放牧情况下,土壤基质砂、砾质增强,这类植物也可成为建群植物^[20-21];雨季期间,一年生短命植物可形成群落中的季节层片,成为荒漠草原特色景观^[22-24]。研究区土壤类型主要为棕钙土、灰钙土,也有风沙土等类型,腐殖质层较薄,几乎无地上凋落物。

1.2 试验设计

1.2.1 样地调查方法

2010—2020年每年7—8月分别在乌兰察布市四子王旗、察右前旗、察右中旗、察右后旗和商都县5个旗县境内共设置40个100 m×100 m的固定样地进行草地群落逐年调查,样地位置分布见图1。依据群落优势种将研究区草原划分为丛生草类草

地、根茎草类草地、灌木/半灌木草地和杂类草草地4种植被类型(表1)。群落调查采用样方法,每个固定样地设置5个1 m×1 m样方,记录群落总盖度以及样方内植物物种名、高度和盖度,齐地面剪取地上生物量带回实验室于85℃条件下烘干至恒重称重并记录,使用GPS记录样地经纬度、海拔高度等位置信息。

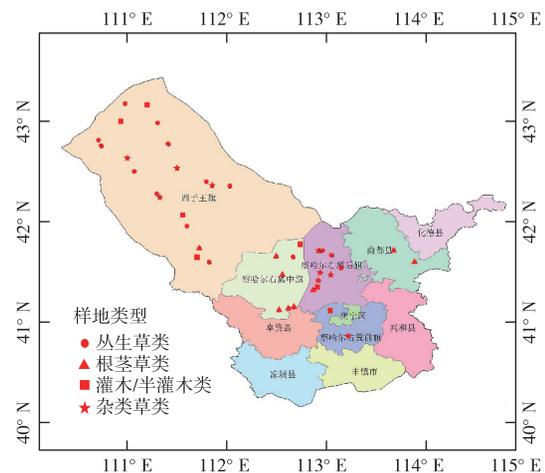


图1 研究区野外调查样地位置

Fig. 1 The sample location of field investigation

表1 4种植被类型样地分布情况

Table 1 Sites distribution of four main vegetation types

植被类型	主要优势种	所处旗县	样地数量
丛生草类	短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)、小针茅(<i>Stipa klemenaii</i>)、冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	四子王旗、察右中旗和察右前旗	16
根茎草类	羊草(<i>Leymus chinensis</i>)、冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)、无芒隐子草(<i>Cleistogenes songorica</i>)	四子王旗、察右后旗、察右中旗和商都县	9
灌木/半灌木	红砂(<i>Reaumuria songarica</i>)、珍珠猪毛菜(<i>Salsola passerina</i>)、百里香(<i>Thymus mongolicus</i>)、达乌里胡枝子(<i>Lespedeza daurica</i>)	四子王旗、察右中旗和察右前旗	7
杂类草	寸草薹(<i>Carex duriuscula</i>)、蒙古韭(<i>Allium mongolicum</i>)、银灰旋花(<i>Convolvulus ammannii</i>)	四子王旗和察右中旗	8

1.2.2 气象数据获取

2010—2020年气象数据由乌兰察布市气象局提供,将位于全市11个旗县市区气象站点年平均降水量、年平均气温和年平均风速采用ArcGIS 10.2进行Kriging插值,提取出2010—2020年不同植被类型各样地对应逐年数据,结合不同样地群落特征信息,以进一步分析气候因子对不同植被类型群落特征的年际影响。

1.3 统计分析方法

采用Excel 2013进行数据整理及分析;采用SPSS 22.0对不同植被类型群落特征及气候因子进

行单因素方差分析(one-way ANOVA),对不同群落特征与气候因子进行Pearson相关性分析,并将具有显著相关性的群落特征与气候因子进行线性回归方程拟合分析。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型样地气候因子及群落特征年际变化

分析2010—2020年不同植被类型样地的气候因子年际变化(图2)发现,4种植被类型样地的年平均气温和年平均降水量整体呈逐年增加趋势,

2011年4种植被类型样地年平均气温和年平均降水量出现最低点;丛生草类和杂类草草地植被样地年平均风速整体呈逐年增加趋势,根茎草类和灌

木/半灌木草地植被样地年平均风速整体呈逐年减少趋势。

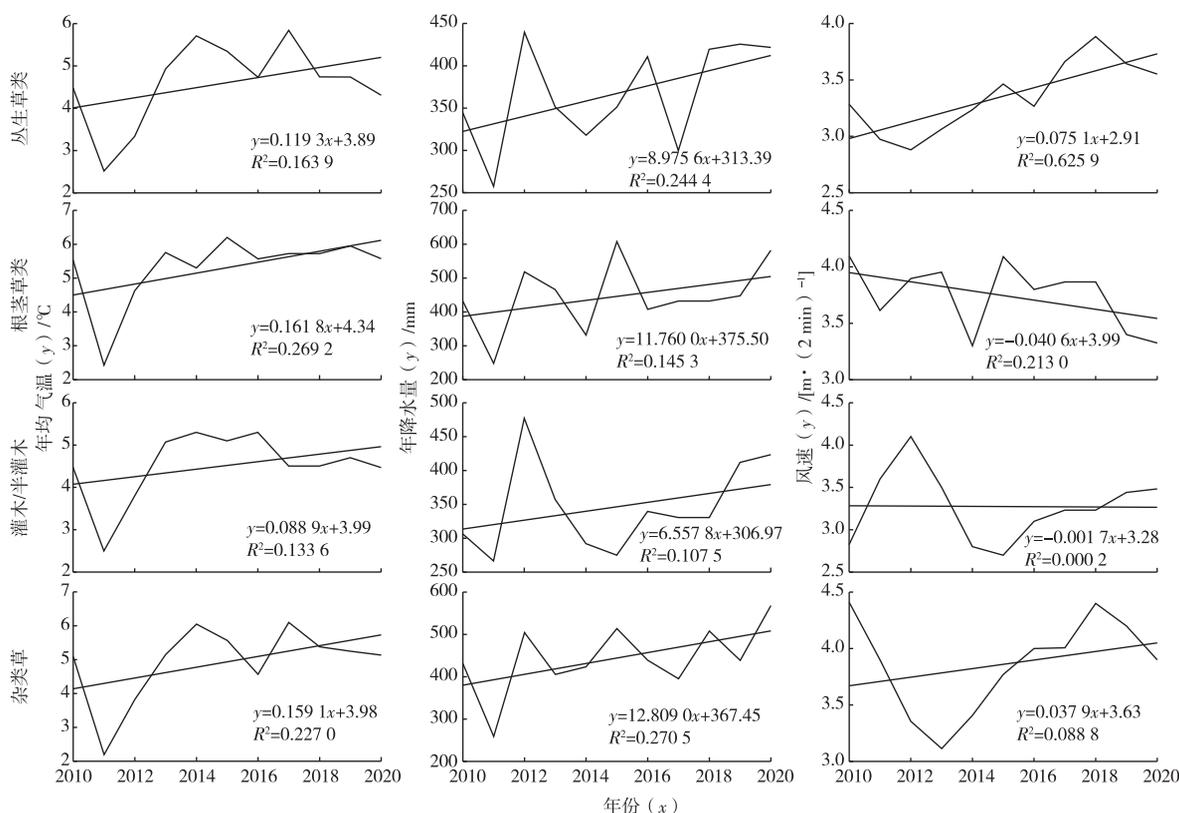


图2 不同植被类型样地气候因子年际变化

Fig. 2 Interannual variation of climate factors in different vegetation types of plots

由2010—2020年不同植被类型样地群落特征变化(图3)分析结果可知,丛生草类草地植被样地的物种丰富度、群落盖度和平均高度整体呈逐年增长趋势,地上生物量呈逐年降低趋势;根茎草类植被样地物种丰富度、群落盖度和地上生物量整体呈逐年增长趋势,群落高度整体呈逐年下降趋势;灌木/半灌木草地植被样地物种丰富度、群落盖度和地上生物量整体呈逐年增长趋势,群落高度整体呈逐年下降趋势;杂类草草地植被样地4种群落特征整体均呈逐年增长趋势。

2.2 不同植被类型样地气候因子及群落特征的差异

单因素方差分析结果表明,不同植被类型物种丰富度介于6~14种之间,杂类草草地植被物种丰富度显著高于其他3种植被类型($P < 0.05$) [图4(a)];不同植被类型植被盖度在28%~60%之间,杂类草草地植被盖度显著高于其他3种植被类型,根茎草类草地植被盖度显著高于另2种植被类型($P <$

0.05) [图4(b)];不同植被类型平均高度在10~18 cm之间,根茎草类草地植被平均高度显著高于其他3种植被类型($P < 0.05$) [图4(c)];不同植被类型地上生物量均值介于140~320 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,杂类草草地植被地上生物量显著高于其他3种植被类型($P < 0.05$),根茎草类草地植被次之,丛生禾草与灌木/半灌木草地之间差异不显著 [图4(d)]。

如图5所示,不同植被类型样地年平均降水量在380~470 mm之间,根茎草类和杂类草草地植被样地年平均降水量显著高于其他2种($P < 0.05$);不同植被类型样地年均气温在4.4~4.9 $^{\circ}\text{C}$ 之间,4种植被类型样地之间差异不显著($P > 0.05$);不同植被类型样地年平均风速在3.4~3.8 $\text{m} \cdot (2 \text{ min})^{-1}$ 之间,根茎草类草地植被样地风速显著高于其他3种植被类型样地($P < 0.05$),且其他3种植被类型样地之间风速差异不显著($P > 0.05$)。

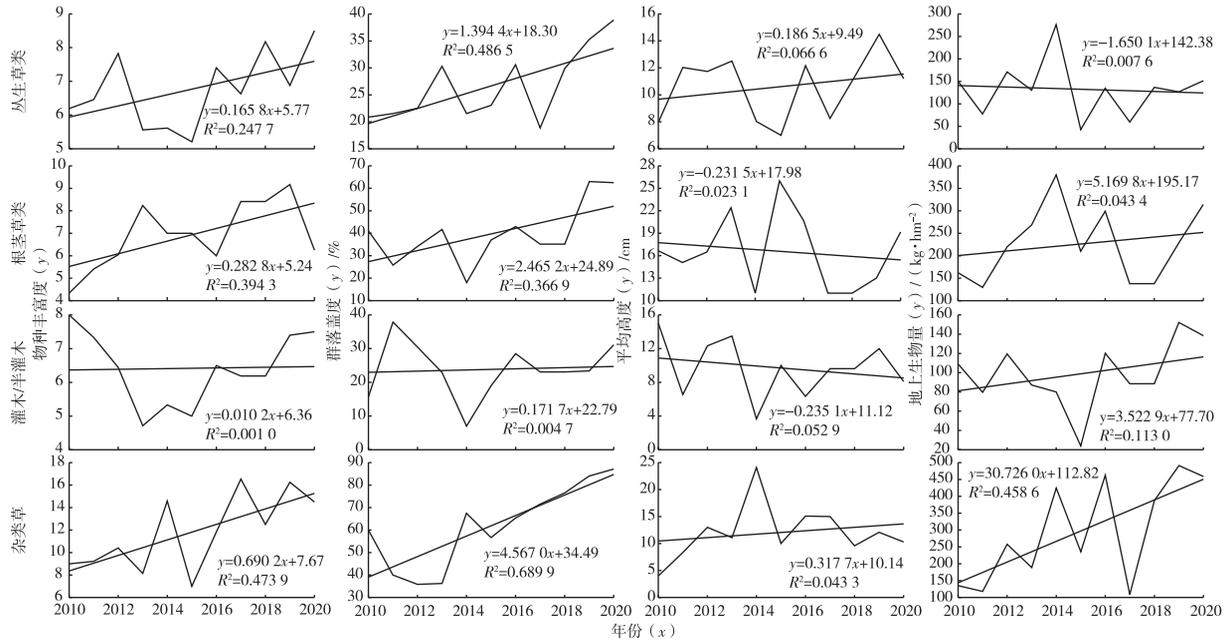
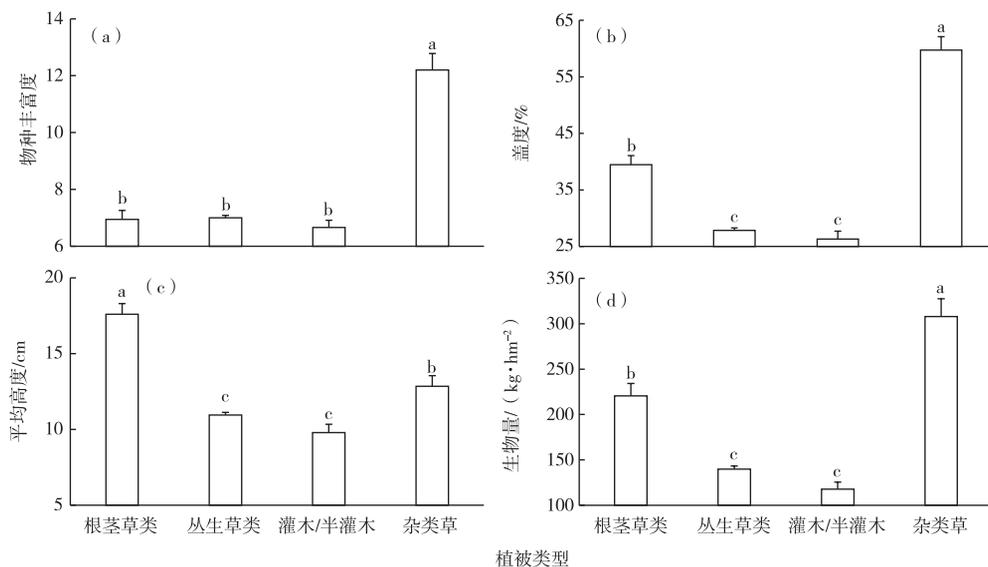


图3 不同植被类型群落特征年际变化

Fig. 3 Interannual variation trend of community characteristics of different vegetation types



同一幅图中,直方柱上方英文小写字母不同表示不同植被类型间某指标差异显著($P < 0.05$)。

图4 不同植被类型间群落特征差异

Fig. 4 Differences in community characteristics of different vegetation types

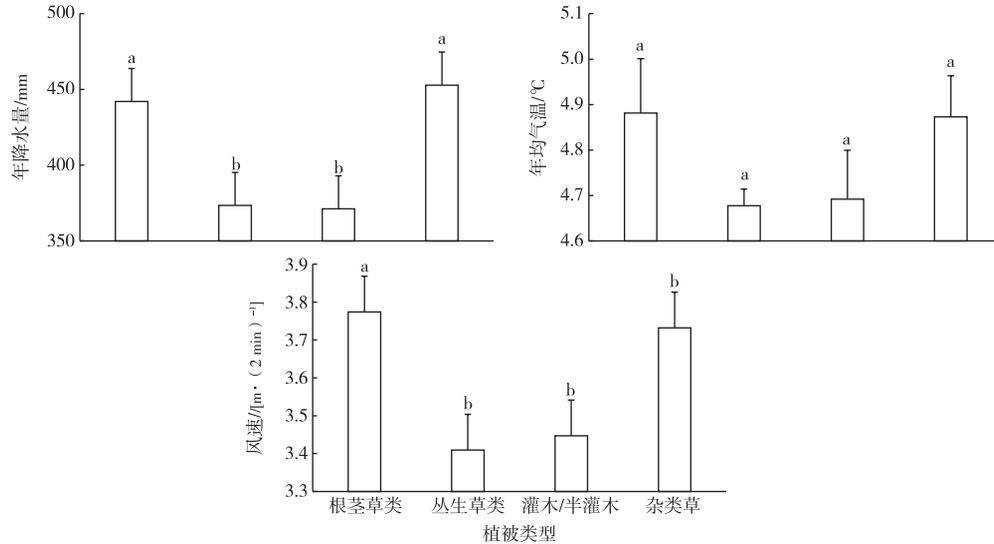
2.3 不同植被类型样地群落特征与气候因子的关系

不同植被类型群落特征与气候因子的相关性分析结果(表2)表明,丛生草类草地植被样地年平均降水量与4种群落特征之间均呈现极显著正相关;年平均气温与群落盖度、地上生物量之间呈现极显著正相关,与平均高度之间呈显著负相关;年平均风速与群落盖度和物种丰富度之间呈现极显著正相关。根茎草类草地植被样地年平均降水量

与群落盖度和地上生物量之间呈极显著正相关,与平均高度和物种丰富度之间呈显著正相关;年平均气温与群落盖度、物种丰富度和地上生物量之间均呈极显著正相关,与平均高度之间呈显著正相关;年平均风速与4种群落特征之间均相关不显著。灌木/半灌木草地植被样地年平均降水量与群落盖度、物种丰富度和地上生物量之间均呈极显著正相关;年平均气温与4种群落特征之间均相关不显著;

年平均风速与群落盖度和地上生物量之间呈极显著正相关,与平均高度之间呈显著正相关。杂类草草地植被样地年平均降水量与群落盖度、物种丰富度和地上生物量之间均呈极显著正相关;年平均气

温与群落盖度、物种丰富度和地上生物量之间均呈极显著正相关,与平均高度之间呈显著正相关;年平均风速与群落盖度、物种丰富度和地上生物量之间均呈极显著正相关。



同一幅图中,直方柱上方英文小写字母不同表示不同植被类型间某指标差异显著($P < 0.05$)。

图5 不同植被类型样地间气候因子差异

Fig. 5 Differences in climatic factors of different vegetation types in sample sites

表2 群落特征与气候因子相关性

Table 2 Correlation of plant community characteristics with climatic factors

植被类型	气候因子	群落盖度	平均高度	物种丰富度	地上生物量
丛生草类	年平均降水量	0.486 **	0.228 **	0.303 **	0.140 **
	年平均气温	0.131 **	-0.080 *	-0.042	0.133 **
	年平均风速	0.320 **	0.055	0.153 **	-0.024
根茎草类	年平均降水量	0.530 **	0.205 *	0.198 *	0.434 **
	年平均气温	0.409 **	0.213 *	0.251 **	0.247 **
	年平均风速	-0.051	-0.007	-0.021	0.045
灌木/半灌木	年平均降水量	0.497 **	0.134	0.541 **	0.591 **
	年平均气温	0.081	-0.159	0.189	0.041
	年平均风速	0.326 **	0.253 *	0.067	0.285 **
杂类草	年平均降水量	0.529 **	0.058	0.246 **	0.404 **
	年平均气温	0.549 **	0.193 *	0.271 **	0.217 **
	年平均风速	0.769 **	-0.015	0.439 **	0.371 **

*表示显著相关($P < 0.05$); **表示极显著相关($P < 0.01$)。

根据不同植被类型样地群落特征与气候因子的相关性分析结果,将显著相关的因子进行线性拟合分析(图6~9)。如图6所示,丛生草类草地植被物种丰富度随年平均降水量增长呈显著上升趋势($R^2 = 0.0861, P < 0.05$);群落盖度随风速($R^2 = 0.1188, P < 0.05$)和年平均降水量($R^2 = 0.1895, P < 0.01$)增长分别呈显著和极显著升高趋势;平均高度随年平均降水量升高呈逐渐上升趋势($R^2 = 0.0775, P < 0.05$)。年平均降水量对丛生草类草地

群落特征的影响整体上高于其他气候因子。

由图7可知,根茎草类草地植被物种丰富度随年平均气温增长而显著上升($R^2 = 0.0676, P < 0.05$);群落盖度受年平均气温($R^2 = 0.1894, P < 0.01$)和年平均降水量($R^2 = 0.2808, P < 0.01$)极显著影响;平均高度随年平均降水量($R^2 = 0.1241, P < 0.05$)和年平均气温($R^2 = 0.0831, P < 0.05$)增长均呈显著上升趋势;地上生物量随年平均降水量($R^2 = 0.1827, P < 0.01$)和年平均气温($R^2 = 0.0820, P <$

0.05)增长分别呈极显著和显著上升趋势。根茎草 降水量的双重影响。
类草地群落特征整体上受到年平均气温和年平均

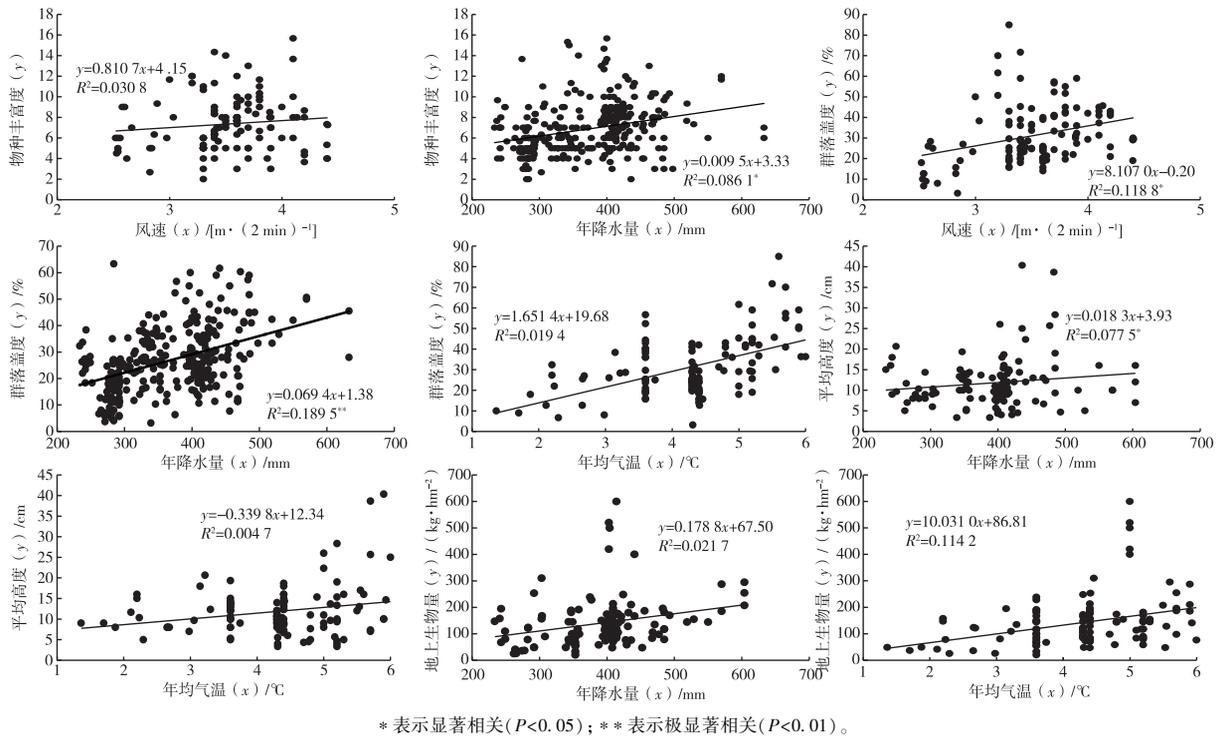


图6 丛生草类草地群落特征与气候因子的关系

Fig. 6 The relationships between tussock grassland community characteristics and climate factors

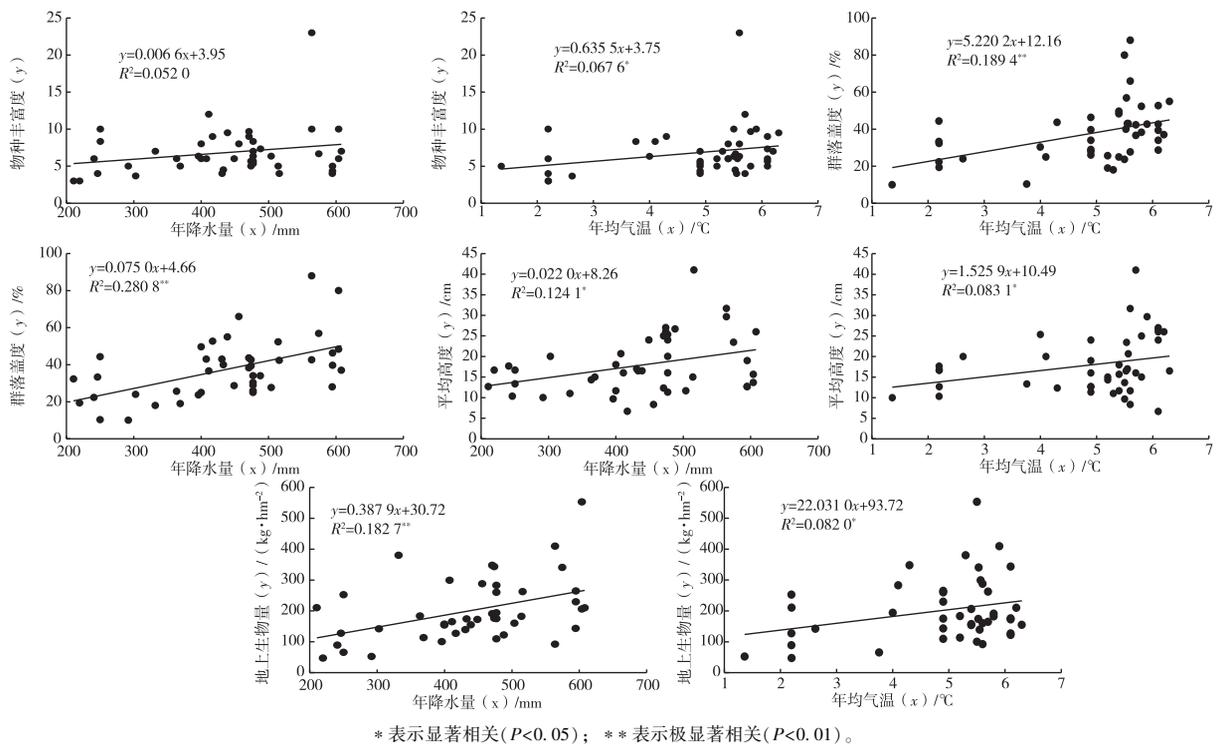


图7 根茎草类草地群落特征与气候因子的关系

Fig. 7 The relationships between rhizome grassland community characteristics and climate factors

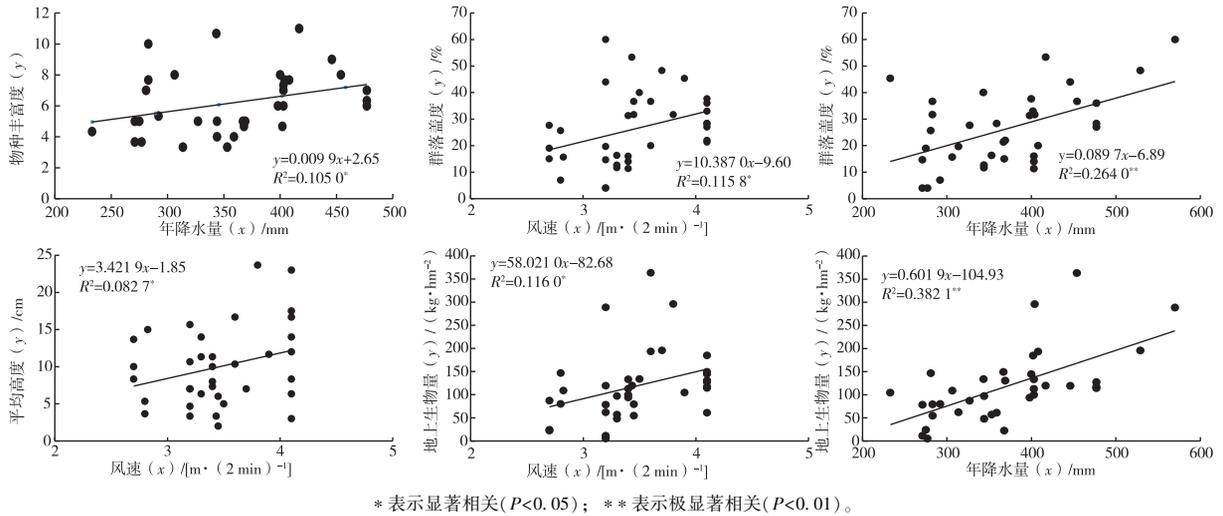


图8 灌木/半灌木草地群落特征与气候因子的关系

Fig. 8 The relationships between shrubby/semi-shrubby grassland community characteristics and climate factors

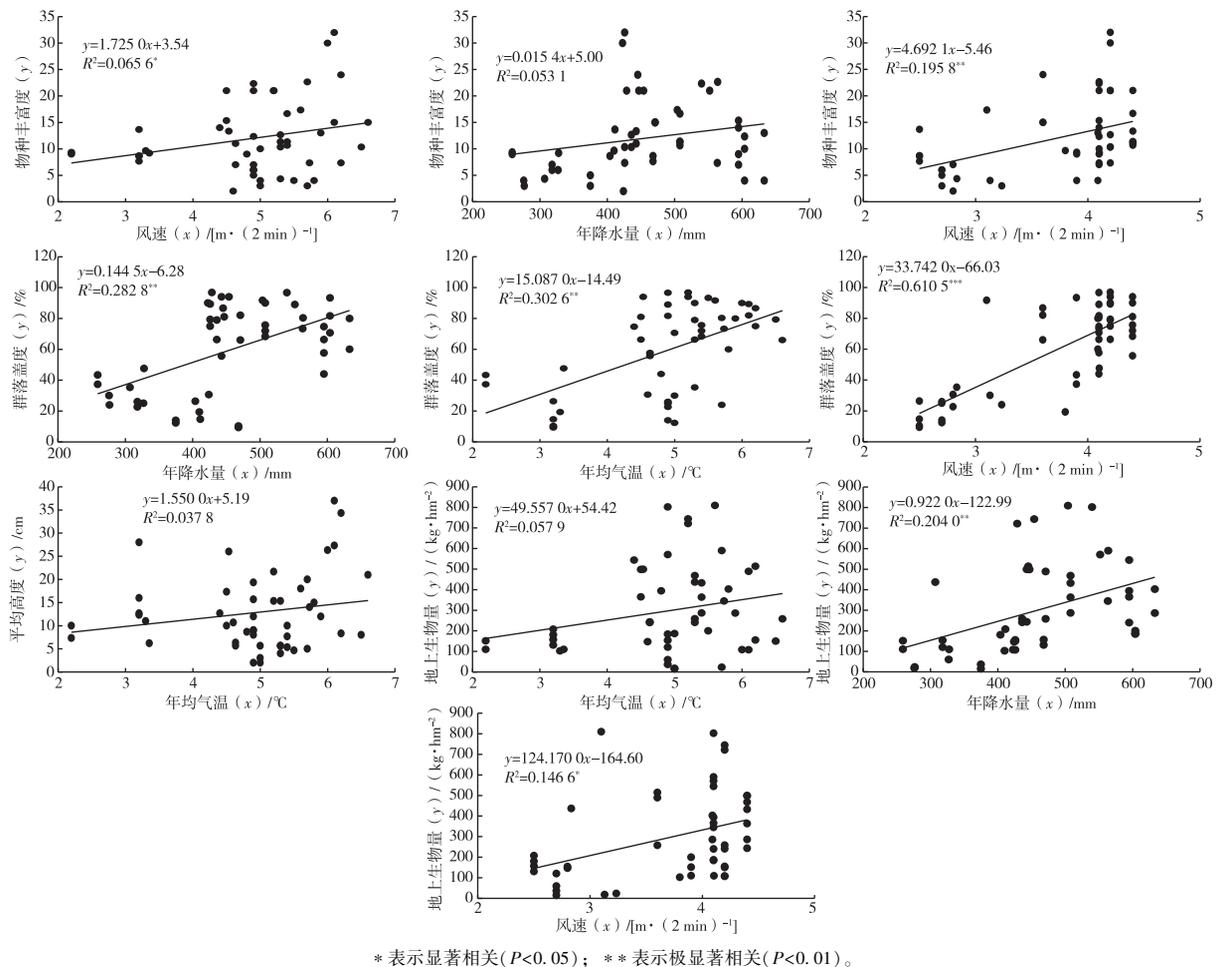


图9 杂类草草地群落特征与气候因子的关系

Fig. 9 The relationships between forb grassland community characteristics and climate factors

由图8可知,灌木/半灌木草地植被物种丰富度随年平均降水量增长而显著增长($R^2 = 0.1050, P < 0.05$);群落盖度随年平均降水量($R^2 = 0.2640, P <$

0.01)和年平均风速($R^2 = 0.1158, P < 0.05$)增加而显著增加;群落平均高度随年平均风速增长而显著增长($R^2 = 0.0827, P < 0.05$);地上生物量随年平均

风速($R^2=0.1160, P<0.05$)和年平均降水量($R^2=0.3821, P<0.01$)升高而显著上升。灌木/半灌木草地群落特征整体上受年平均降水量和年平均风速的影响最大。

由图9可知,杂类草草地植被物种丰富度随年平均气温($R^2=0.0656, P<0.05$)和年平均风速($R^2=0.1958, P<0.01$)增长呈显著升高趋势;群落盖度随年平均降水量($R^2=0.2828, P<0.01$)、年平均气温($R^2=0.3026, P<0.01$)和年平均风速($R^2=0.6105, P<0.001$)增长呈显著上升趋势;地上生物量随年平均降水量($R^2=0.2040, P<0.01$)和年平均风速($R^2=0.1466, P<0.05$)升高而显著增长。杂类草草地群落特征整体上受年平均降水量、年平均温度和年平均风速3者共同影响。

3 讨论与结论

3.1 讨论

对近10年乌兰察布草原区不同植被类型群落特征的年际变化分析发现,不同类型植被群落特征变化趋势不一致。赵学勇等^[25]认为2000—2011年荒漠草原区生产力分布格局波动变化且起伏较大;岳喜元等^[26]对2000—2016年以丛生禾草群落为主的荒漠草原进行研究,认为NDVI线性变化趋势不明显,呈现波动变化的特征,笔者发现丛生禾草草地群落地上生物量呈逐年递减趋势的结论与之不一致,这主要可能与不同区域气候条件和受到的放牧影响不同有关。高艺宁等^[27]认为,1987—2016年四子王旗植被NPP总体呈现增长趋势,笔者研究中根茎草类草地、杂类草草地和灌木/半灌木草地样地地上生物量呈逐年递增趋势的结果与之一致。目前国内针对不同植被类型群落特征年际变化的研究较少,从乌兰察布草原区整体来看,4个群落特征指标呈波动性递增趋势,这可能与近年来该地区实施的禁牧休牧和草原生态修复治理等措施有关。

笔者对4种植被类型群落特征与气候因子的关系分析结果表明,降水对4种群落特征均有影响,且其影响大于年平均气温和年平均风速。张煦庭^[28]认为,相较于年平均气温,降水变化是影响中国温带地区草地植被生产力的主要年尺度气候因子。有研究^[29-31]认为降水是中国北方温带草地生态系统(包括典型草原和荒漠草原)地上生物量最主要的限制因子,笔者研究结果与之一致。温带草原区草原植被盖度对气候因子的响应研究结果^[32-34]表明,降水对群落盖度的解释大于温度条件,持续高温可能会抑制植被生长。笔者分析结果表明,乌兰

察布草原区不同植被类型样地群落盖度受年平均降水量的影响大于年平均气温,且群落盖度随年平均降水量增长而升高,这与上述研究结论一致。

近年来不同学者关于气候变化对草原群落影响的研究结果表明,1983—2000年中国荒漠草原气温呈增长趋势,降水量呈年际波动变化趋势^[35-36],1961—2007年内蒙古荒漠草原气候变化明显,年平均气温呈极显著上升趋势,年平均降水量总体变化趋势不明显^[37]。笔者关于不同植被类型草原年平均气温逐年上升的结论与上述研究一致,关于年平均降水量变化规律的结果与上述部分研究相同,这可能与研究区位置和研究时段不同有关。

年平均降水量和年平均气温对不同植被类型草原的群落特征均有很大影响,尤其是对杂类草草地影响较大,因此年平均降水量和年平均气温的上升导致杂类草草地不稳定性增强,而根茎草类草地、丛生草类草地和灌木/半灌木草地植被类型的稳定性相对较高。这对采用人工种草、飞播补播等方式进行草原生态修复时的草种选择有一定指导意义,建议开展生态修复时尽量选择根茎、丛生草类的乡土草种。

3.2 结论

2010—2020年间,乌兰察布草原区4种植被类型样地年平均降水量和年平均气温均呈现逐年递增趋势,其中,丛生草类草地和杂类草草地植被样地年平均气温、年平均降水量和年平均风速均呈波动性逐年递增趋势;根茎草类草地和灌木/半灌木草地植被样地年平均气温和年平均降水量呈波动性逐年递增趋势,年平均风速则呈波动性逐年递减趋势;丛生草类草地、根茎草类草地和杂类草草地植被样地群落特征年际变化整体呈波动性逐年递增趋势,灌木/半灌木草地植被样地特征年际变化趋势不明显;年平均气温对根茎草类和杂类草草地群落特征影响最大,对灌木/半灌木草地群落特征无显著影响;年平均风速对杂类草草地群落特征影响最大;年平均降水量与4种植被类型群落特征整体呈显著正相关,且年平均降水量对草原群落特征的影响程度明显高于年平均气温和年平均风速,年平均降水量是影响乌兰察布草原区群落特征变化的最主要气候因子。

参考文献:

- [1] WANG B Z, ZHU Y J, ERDENEBILEG E, et al. Effect of Soil Physicochemical Properties on the Steppe Grazing Potential in Eastern Eurasian Steppe[J]. Journal of Soils and Sediments, 2023,

- 23(2):731-744.
- [2] REN H Y, EVINER V T, GUI W Y, *et al.* Livestock Grazing Regulates Ecosystem Multifunctionality in Semi-arid Grassland [J]. *Functional Ecology*, 2018, 32(12):2790-2800.
- [3] NOWAK A, NOBIS A, NOWAK S, *et al.* Classification of Steppe Vegetation in the Eastern Pamir Alai and Southwestern Tian-Shan Mountains (Tajikistan, Kyrgyzstan) [J]. *Phytocoenologia*, 2018, 48(4):369-391.
- [4] ZHU Y J, WEI W, LI H, *et al.* Modelling the Potential Distribution and Shifts of Three Varieties of *Stipa tianschanica* in the Eastern Eurasian Steppe under Multiple Climate Change Scenarios [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2018, 16:e00501.
- [5] 苏日娜. 放牧对内蒙古草原群落结构和生产力的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2018. [SU Ri-na. The Effects of Grazing on the Community Structure and Productivity of Inner Mongolia Grassland [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.]
- [6] YANG F L, ZHOU G S. Sensitivity of Temperate Desert Steppe Carbon Exchange to Seasonal Droughts and Precipitation Variations in Inner Mongolia, China [J]. *PLoS One*, 2013, 8(2):e55418.
- [7] 陈林, 曹萌豪, 宋乃平, 等. 中国荒漠草原的研究态势与热点分析: 基于文献计量研究 [J]. *生态学报*, 2021, 41(24):9990-10000. [CHEN Lin, CAO Meng-hao, SONG Nai-ping, *et al.* Research Situation and Hot Spot Analysis of Desert Grassland in China: Based on Bibliometric Research [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(24):9990-10000.]
- [8] 史超逸, 朱媛君, 萨拉, 等. 中国三种常见蒿属植物潜在地理分布及其主导气候因子 [J]. *生态学杂志*, 2021, 40(2):512-524. [SHI Chao-yi, ZHU Yuan-jun, SA La, *et al.* Potential Geographical Distribution and the Dominant Climatic Factors of Three Common *Artemisia* Species in China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(2):512-524.]
- [9] TILMAN D, EL HADDI A. Drought and Biodiversity in Grasslands [J]. *Oecologia*, 1992, 89(2):257-264.
- [10] 刘菊红. 放牧与降水对短花针茅荒漠草原植物群落稳定性的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019. [LIU Ju-hong. Effects of Grazing and Precipitation on Plant Community Stability in *Stipa breviflora* Desert Steppe [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.]
- [11] SUTTLE K B, THOMSEN M A, POWER M E. Species Interactions Reverse Grassland Responses to Changing Climate [J]. *Science*, 2007, 315(5812):640-642.
- [12] ZHU Y J, SHAN D, WANG B Z, *et al.* Floristic Features and Vegetation Classification of the Hulun Buir Steppe in North China: Geography and Climate-driven Steppe Diversification [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 20:e00741.
- [13] 刘秀梅. 气候因子和草地不同利用方式对毛乌素草地生产力的影响: 以内蒙古乌审召镇为例 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010. [LIU Xiu-mei. Effect of Climate Factors and Utilizing Modes on the Productivity of Mao-Wusu Grassland [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.]
- [14] 郑晓翮, 靳甜甜, 木丽芬, 等. 呼伦贝尔草原物种多样性与生物量、环境因子的关系 [J]. *中国草地学报*, 2008, 30(6):74-81. [ZHENG Xiao-xuan, JIN Tian-tian, MU Li-fen, *et al.* The Relationship between Plant Species Richness in Hulunbeier Grassland and Biomass and Environmental Factors [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(6):74-81.]
- [15] 许旭, 李晓兵, 梁涵玮, 等. 内蒙古温带草原区植被盖度变化及其与气象因子的关系 [J]. *生态学报*, 2010, 30(14):3733-3743. [XU Xu, LI Xiao-bing, LIANG Han-wei, *et al.* Change in Vegetation Coverage and Its Relationships with Climatic Factors in Temperate Steppe, Inner Mongolia [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14):3733-3743.]
- [16] 徐霞, 成亚薇, 江红蕾, 等. 风速变化对草原生态系统的影响研究进展 [J]. *生态学报*, 2017, 37(12):4289-4298. [XU Xia, CHENG Ya-wei, JIANG Hong-lei, *et al.* Research Progress of the Effects of Wind Speed Change on Grassland Ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(12):4289-4298.]
- [17] 杨阳, 刘秉儒. 宁夏荒漠草原不同群落生物多样性与生物量关系及影响因子分析 [J]. *草业学报*, 2015, 24(10):48-57. [YANG Yang, LIU Bing-ru. Impact Factors and Relationships between Biodiversity and Biomass of Different Communities in the Desert Steppe of Ningxia, China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(10):48-57.]
- [18] 白春利. 荒漠草原优势植物养分利用及化学计量特征研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013. [BAI Chun-li. Study on Nutrient Use and Stoichiometry of Dominant Plants in Desert Steppe [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013.]
- [19] 刘菊红, 张军, 吕世杰, 等. 荒漠草原主要植物种间关系对降水年型变化的响应 [J]. *西北植物学报*, 2019, 39(7):1289-1297. [LIU Ju-hong, ZHANG Jun, LÜ Shi-jie, *et al.* Response of Interspecific Relationships among Main Plant Species to the Change of Precipitation Years in Desert Steppe [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2019, 39(7):1289-1297.]
- [20] 赵一之. 内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布 [M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2012.
- [21] 朱媛君, 乔鲜果, 郭柯, 等. 中国戈壁针茅草原的分布、群落特征和分类 [J]. *植物生态学报*, 2018, 42(7):785-792. [ZHU Yuan-jun, QIAO Xian-guo, GUO Ke, *et al.* Distribution, Community Characteristics and Classification of *Stipa tianschanica* Var. *Gobica* Steppe in China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(7):785-792.]
- [22] 卫智军, 韩国栋, 赵刚, 等. 中国荒漠草原生态系统研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2013:40-41.
- [23] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1985:389-390.
- [24] 《内蒙古草地资源》编委会. 内蒙古草地资源 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1990:199-210.
- [25] 赵学勇, 刘良旭, 王玮, 等. 降水波动对荒漠草原生产力的影响 [J]. *中国沙漠*, 2014, 34(6):1486-1495. [ZHAO Xue-yong, LIU Liang-xu, WANG Wei, *et al.* Impacts of Precipitation Change on Desert-grassland Vegetation Productivity [J]. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(6):1486-1495.]
- [26] 岳喜元, 左小安, 常学礼, 等. 内蒙古典型草原与荒漠草原 NDVI 对气象因子的响应 [J]. *中国沙漠*, 2019, 39(3):25-33. [YUE Xi-yuan, ZUO Xiao-an, CHANG Xue-li, *et al.* NDVI of Typical

- Steppe and Desert Steppe in Inner Mongolia in Response to Meteorological Factors[J]. *Journal of Desert Research*, 2019, 39(3): 25-33.]
- [27] 高艺宁,王宏亮,赵萌莉.内蒙古荒漠草原植被 NPP 时空变化及气候因子分析:以四子王旗为例[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(8): 100-107. [GAO Yi-ning, WANG Hong-liang, ZHAO Meng-li. Spatio-temporal Dynamics of Vegetation Net Primary Productivity and Its Response to Climate Change in Desert Steppe, Inner Mongolia: A Case Study in Siziwang Banner [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(8): 100-107.]
- [28] 张煦庭.中国温带地区草地植被动态时空特征及其对气候变化的响应[D].北京:中国农业大学, 2018. [ZHANG Xu-ting. Spatial-temporal Variation of Grassland Vegetation Dynamics and Its Response to Climate Change in China's Temperate Zone [D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.]
- [29] 薛海丽,张钦,唐海萍.近 60 a 内蒙古不同草原类型区极端气温和干旱事件特征分析[J]. *干旱区地理*, 2018, 41(4): 701-711. [XUE Hai-li, ZHANG Qin, TANG Hai-ping. Extreme Temperature and Drought Events in Four Different Grassland Areas of Inner Mongolia in Recent 60 Years [J]. *Arid Land Geography*, 2018, 41(4): 701-711.]
- [30] 张蕊,赵学勇,左小安,等.荒漠草原原生针茅(*Stipa glareosa*)群落物种多样性和地上生物量对降雨量的响应[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(2): 45-52. [ZHANG Rui, ZHAO Xue-yong, ZUO Xiao-an, et al. Responses of the *Stipa glareosa* Community Species Diversity and Above-ground Biomass to Precipitation in the Desert-steppe Region in Northern China [J]. *Journal of Desert Research*, 2019, 39(2): 45-52.]
- [31] 马文红,杨元合,贺金生,等.内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系[J]. *中国科学(C辑:生命科学)*, 2008, 38(1): 84-92. [MA Wen-hong, YANG Yuan-he, HE Jin-sheng, et al. Biomass of Temperate Grassland in Inner Mongolia and Its Relationship with Environmental Factors [J]. *Science in China (Series C: Life Sciences)*, 2008, 38(1): 84-92.]
- [32] 张军.放牧和水热条件对短花针茅荒漠草原植物群落数量特征的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2019. [ZHANG Jun. Effects of Grazing and Hydrothermal Condition on Quantitative Characteristics of Plant Community in *Stipa breviflora* Desert Steppe [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.]
- [33] 王健铭,王文娟,李景文,等.中国西北荒漠区植物物种丰富度分布格局及其环境解释[J]. *生物多样性*, 2017, 25(11): 1192-1201. [WANG Jian-ming, WANG Wen-juan, LI Jing-wen, et al. Biogeographic Patterns and Environmental Interpretation of Plant Species Richness in Desert Regions of Northwest China [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(11): 1192-1201.]
- [34] 王百竹,朱媛君,刘艳书,等.典型草原建群种长芒草(*Stipa bungeana*)在中国的潜在分布范围预测及主要影响因子分析[J]. *草业学报*, 2019, 28(7): 3-13. [WANG Bai-zhu, ZHU Yuan-jun, LIU Yan-shu, et al. Potential Distribution Patterns of *Stipa bungeana* in China and the Major Factors Influencing Distribution [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(7): 3-13.]
- [35] 李晓兵,陈云浩,张云霞,等.气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 254-261. [LI Xiao-bing, CHEN Yun-hao, ZHANG Yun-xia, et al. Impact of Climate Change on Desert Steppe in Northern China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 254-261.]
- [36] 李霞,李晓兵,王宏,等.气候变化对中国北方温带草原植被的影响[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(6): 618-623. [LI Xia, LI Xiao-bing, WANG Hong, et al. Impact of Climate Change on Temperate Grassland in Northern China [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2006, 42(6): 618-623.]
- [37] 韩芳,牛建明,刘朋涛,等.气候变化对内蒙古荒漠草原牧草气候生产力的影响[J]. *中国草地学报*, 2010, 32(5): 57-65. [HAN Fang, NIU Jian-ming, LIU Peng-tao, et al. Impact of Climate Change on Forage Potential Climatic Productivity in Desert Steppe in Inner Mongolia [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2010, 32(5): 57-65.]

作者简介:韩雪娇(1990—),女,内蒙古赤峰人,工程师,主要从事林业与草原生态保护和建设研究。E-mail: xuejiaohan0728@163.com

(责任编辑:王昌群)