

DOI: 10.5846/stxb201809172026

朱雅娟, 叶学华, 初玉, 高树琴, 董鸣. 降水对鄂尔多斯高原克隆植物分布的影响. 生态学报, 2020, 40(3): 952-963.

Zhu Y J, Ye X H, Chu Y, Gao S Q, Dong M. Effects of precipitation on clonal plant distribution on Ordos Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3): 952-963.

降水对鄂尔多斯高原克隆植物分布的影响

朱雅娟¹, 叶学华², 初玉³, 高树琴², 董鸣^{2,4,5,*}

1 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091

2 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

3 中国科学院北京分院, 北京 100190

4 杭州师范大学生命与环境科学学院, 生态系统保护与恢复杭州市重点实验室, 杭州 310036

5 绵阳师范学院, 生态安全与保护四川省重点实验室, 绵阳 621000

摘要: 鄂尔多斯高原地处半干旱区到干旱区的过渡带。通过沿鄂尔多斯高原从东到西的天然降水梯度的样带调查, 分析了克隆植物的分布特征与降水的关系。结果表明: 克隆植物的物种数量、占物种总数的比例和重要值以及根状茎型克隆植物的物种数量均与降水量呈显著正相关。5 种优势植物克氏针茅、本氏针茅、黑沙蒿、赖草和短花针茅均为克隆植物, 它们的分布也受降水影响。克氏针茅的密度、本氏针茅的盖度和密度、黑沙蒿的高度、盖度和密度以及赖草的高度均与降水量呈显著正相关。然而, 赖草的盖度以及短花针茅的高度、盖度和密度均与降水量成负相关。因此, 克隆植物在鄂尔多斯高原植被中具有重要作用, 而且其作用随着降水量的增加而加强。

关键词: 降水; 克隆植物; 根状茎型克隆植物; 克氏针茅; 本氏针茅; 黑沙蒿; 赖草

Effects of precipitation on clonal plant distribution on Ordos Plateau

ZHU Yajuan¹, YE Xuehua², CHU Yu³, GAO Shuqin², DONG Ming^{2,4,5,*}

1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

3 Beijing Branch, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

4 Key Laboratory of Hangzhou City for Ecosystem Protection and Restoration, College of Life and Environment Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China

5 Key Laboratory of Sichuan Province for Ecological Security and Protection, Mianyang Teacher's College, Mianyang 621000, China

Abstract: Ordos Plateau is located in an ecotone in a semi-arid to arid region. The distribution of clonal plants on Ordos Plateau was analyzed in relation to precipitation based on a dataset from plot and line transect sampling along a natural precipitation gradient from East to West. The results showed that clonal species number, ratio of clonal to total species number, importance value of clonal species, and the species number of rhizomatous clonal plants were significantly positively related to precipitation ($P < 0.05$). Five dominant plants were all clonal, including *Stipa krylovii*, *S. bungeana*, *Artemisia ordosica*, *Leymus secalinus*, and *S. breviflora*. Their distribution was also affected by precipitation. The density of *S. krylovii*; coverage and density of *S. bungeana*; height, coverage, and density of *A. ordosica*; and height of *L. secalinus* were all significantly positively related to precipitation ($P < 0.05$). However, the coverage of *L. secalinus* and height, coverage, and density of *S. breviflora* were negatively related to precipitation ($P < 0.05$). Therefore, in the vegetation on Ordos Plateau, clonal plants had a relatively high importance value, which increased with increasing precipitation.

基金项目: 国家重点研发计划项目专题(2017YFC050450202)

收稿日期: 2018-09-17; 网络出版日期: 2019-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongming@hznu.edu.cn

Key Words: precipitation; clonal plant; rhizomatous clonal plant; *Stipa krylovii*; *Stipa bungeana*; *Artemisia ordosica*; *Leymus secalinus*

在干旱区和半干旱区,降水是影响植物生长与分布的主要限制因子之一。草原是半干旱区分布最广泛的生态系统。降水对草原生态系统的结构与功能都有重要影响。(1) 降水影响草原的生物多样性。例如,内蒙古东北—西南草地样带的植物多样性随着水分的增加而增加。物种数量和丰富度与降水呈显著正相关^[1]。乌兰巴托—锡林浩特草地样带的植物物种数量与夏季降水总量呈正相关^[2]。(2) 降水影响草原的生物量及其分配。例如,青藏高原东西样带上草地地下生物量与降水量有显著正相关^[3]。内蒙古的草甸草原、典型草原和荒漠草原的地上生物量和地下生物量差异显著,然而地下生物量/地上生物量没有显著差异。年均降水量是地上生物量和地下生物量的主要驱动因子^[4]。乌兰巴托—锡林浩特草地样带的地上生物量与夏季降水总量呈正相关^[2]。我国北方温带草原和青藏高原高寒草原的根冠比与降水没有显著相关关系^[5]。然而,我国草原生态系统的地下生物量/地上生物量随着年降水量的增加显著降低^[6]。(3) 降水也会改变草原生态系统中植物的元素含量。例如,随着年均降水量的增加,中国草地样带植物叶片的氮、磷含量均略呈增加趋势^[7],而根系氮含量则有降低趋势^[8]。其中,随年降水量增加,杂类草植物叶片 N 元素含量增加。青藏高原区域植物叶片 N 元素含量随年降水量增加而增加,仅豆科植物和杂类草叶片 N 含量随年降水量增加而增加^[9]。然而,目前关于降水对草原生态系统结构与功能影响的研究大部分关注的是不同功能型之间的差异,例如 C₃ 或 C₄ 植物,豆科、禾本科或莎草科以及早生或中生植物等,很少关注克隆植物与非克隆植物的差异。

克隆植物分布在不同类型的植物群落中,并且是许多群落中的优势种。它在植物群落中具有重要作用,影响群落的物种组成和植物多样性等^[10-11]。例如,东北样带克隆植物的物种数量在典型草原最多,为 32 种;草甸草原最少,仅 3 种。从东到西,克隆植物的重要值趋于上升,克隆植物占物种总数的比例也增加,从森林的 48.4% 增加到荒漠草原的 66.5%^[12]。生产力较高的温带典型草原的植物多样性与密集型克隆植物的重要性呈负相关,而与游击型克隆植物的重要性呈正相关。生产力较低的温带荒漠草原的植物多样性则与密集型和游击型克隆植物的重要性都呈正相关^[13]。鄂尔多斯高原风蚀沙化梁地上的克隆植物的物种丰富度在梁顶的草原和梁底的滩地盐生植物群落中较高,而梁坡的沙生植物群落中较少。梁底的克隆植物的重要值高于其他两个群落。梁坡和梁底的群落物种多样性均与克隆植物的重要值呈负相关^[14]。青藏高原高寒草地的克隆植物有 42 种,占植物总数的 52.5%。克隆植物的相对重要值在帕米尔苔草草甸最大,其次为藏嵩草草甸,鼯鼠土丘次生演替群落最小^[15]。

克隆植物的分布受多种环境因素的影响。例如,中国东北样带上克隆植物占物种总数的比例与海拔呈正相关,与土壤全氮含量呈负相关,但是与年均气温和年均降水量都没有相关关系^[12]。该样带克隆植物的丰富度、重要值和相对物种数均与海拔呈显著正相关。荒漠草原和典型草原克隆植物的物种丰富度与土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均有显著正相关^[16]。青藏高原 6 种高寒草地的克隆植物的地上生物量、相对重要性与土壤含水量呈显著正相关^[15]。

鄂尔多斯高原地处半干旱区向干旱区的过渡带,年平均降水量从东南部的 400 mm 逐渐降低到西北部的 200 mm。当地的地带性植被分为典型草原、荒漠草原和草原化荒漠。草原以本氏针茅(*Stipa bungeana*) 群落为主,荒漠草原以冷蒿(*Artemisia frigida*) 和狭叶锦鸡儿(*Caragana stephylla*) 群落为主,草原化荒漠以红砂(*Reaumuria soogorica*) 群落为主^[17]。本文通过样带调查的方法,分析降水对克隆植物分布的影响。研究结果有助于我们在较大的空间尺度上理解克隆植物的分布如何适应降水变化,并且为当地的荒漠化防治和水土保持工程提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区简介

植被调查范围涉及到鄂尔多斯市的准格尔旗、东胜区、杭锦旗和鄂托克旗。鄂尔多斯高原具有中温带大

陆性季风气候,年均气温6—8℃。东部的降水较多,准格尔旗的年降水量一般不低于400 mm;中部的年降水量一般有300 mm;西部的年降水量逐渐下降到200—250 mm。降水大多集中在夏秋季节,即7—9月,占全年降水的80%—90%。年潜在蒸发量大约相当于年降水量的3—5倍,荒漠地区可达15—20倍以上。大部分地区的年潜在蒸发量在2000—3000 mm之间。多风是本区气候的重要特点。冬春季节在蒙古高压控制下,大风尤为频繁。冬季盛行西北风,夏季多偏南风 and 东南风。大部分地区的年平均风速在3 m/s以上。本次调查范围内的植被从东到西依次可以分为草原、沙地和荒漠3种类型。其中,草原的优势植物包括本氏针茅、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、赖草(*Leymus secalinus*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)和狭叶锦鸡儿。沙地的优势植物主要是黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)和白沙蒿(*Artemisia sphaerocephalla*)。荒漠的优势植物是黑沙蒿、绵刺(*Potaninia mongolica*)和红砂。其中,分布比较广泛的5种优势植物是克氏针茅、本氏针茅、赖草、黑沙蒿和短花针茅。

1.2 植被调查方法

2006年9月,从准格尔旗薛家湾镇黄河岸边开始,沿G109国道从东向西每10 km选择一个样点。在国道两侧200 m外的代表性植物群落内设置3个样方。每个样点的样方间距为20 m,样方随机选择。草本植物样方面积为1 m × 1 m,灌木样方面积为2 m × 2 m。从第6个样点开始,每5个样点的样方数量增加到9个,包括6、11、16、21、26、31、36和41号样点。植被调查从东向西依次经过准格尔旗、东胜区、杭锦旗和鄂托克旗,共调查41个样点,到鄂托克旗棋盘井镇结束。样点的位置如图1所示。用GPS测量每个样点的经度、纬度和海拔高度。样点的海拔范围是1139—1505 m。记录每个样方内的植物种类。植物的中文名、拉丁名、生活型参考《内蒙古植物志》和《中国植物志》,生态型参考《内蒙古植被》。植物的克隆构型参考已发表的相关文章^[12],并且根据根或茎的形态判断,例如根状茎、匍匐茎、块根、块茎、鳞茎和分蘖等。用卷尺测量一个物种的最大高度作为植物的高度,根据样方内一种植物的总投影面积估计盖度,统计植物个体数量并计算密度。其中,丛生植物按照能够分辨的单丛统计个体数量,克隆植物按照分株统计个体数量。计算克隆植物占总物种数量的比例。计算每个物种的频度。频度=(出现一个物种的样方数量)/样方总数量。计算克隆植物与根状茎型克隆植物的重要值。重要值=(相对盖度+相对密度+相对频度)/3。其中,相对盖度=(一个物种的盖度/所有物种的总盖度)×100%,相对密度=(一个物种的个体数/所有物种的个体数)×100%,相对频度=(一个物种的频度/群落的总频度)×100%^[18]。

1.3 数据分析

通过R语言的Raster程序包^[19],根据样点的经纬度坐标,在World Climate网站(www.worldclimate.com)上通过插值获得每个样点的年均降水量^[20]。先对原始数据进行对数转化,使之满足正态性,然后用SPSS 19.0的Pearson相关分析法和一般线性回归分析克隆植物和根状茎型克隆植物的物种数量、占总物种数量的比例、重要值与降水量的关系,分析5种优势植物的高度、盖度、密度与降水量的关系。

2 结果

2.1 植物种类、生活型和生态型

此次植被调查共调查到植物21科54属82种,含5个变种(表1)。其中,禾本科(15种)、豆科(14种)、菊科(12种)和藜科(10种)的植物较多。这4个科的植物占物种总数的49.37%。蒿属(*Artemisia*)植物最多,有6种;其次是藜属(*Chenopodium*)、虫实属(*Corispermum*)、大戟属(*Euphorbia*)、岩黄耆属(*Hedysarum*)和针茅属(*Stipa*),各有3种植物。葱属(*Allium*)等13个属有2种植物。另外,还有35个含有1个物种的属。

从植物的生活型来看,草本植物有67种。其中,多年生草本植物最多,有44种;其次是一年生草本植物,有21种。木本植物共15种,包括9种半灌木和6种灌木。从水分生态型来看,旱生植物最多,有41种;旱中生植物有9种;中旱生植物有15种,中生植物有17种(表1,图2)。从土壤生态型来看,沙生植物有8种,耐盐植物有4种。

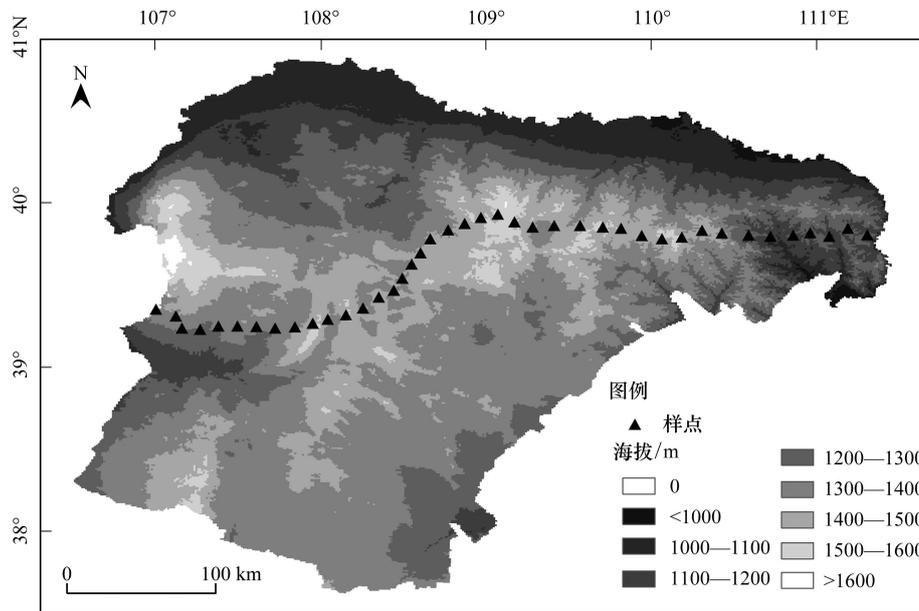


图 1 鄂尔多斯高原植被调查的样点分布

Fig.1 Distribution of sample plot for vegetation investigation on Ordos Plateau

表 1 鄂尔多斯高原植物的生活型、生态型和克隆构型

Table 1 Species, life form, ecological form and clonal form of plants on Ordos Plateau

物种 Species	生活型 Life form	生态型 Ecological form	克隆构型 Clonal form
藜科 Chenopodiaceae			
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	一年生 A	早中生 X-M	非克隆植物 N
刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	一年生 A	早中生 X-M	非克隆植物 N
沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	一年生 A	早生/沙生 X/P	非克隆植物 N
兴安虫实 <i>Corispermum chinganicum</i>	一年生 A	早生/沙生 X/P	非克隆植物 N
绳虫实 <i>Corispermum declinatum</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
碟果虫实 <i>Corispermum patelliforme</i>	一年生 A	早生/沙生 X/P	非克隆植物 N
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	一年生 A	早生 X	非克隆植物 N
尖头叶藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
刺藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	一年生 A	早中生 X-M	非克隆植物 N
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	一年生 A	盐生/中生 H/M	非克隆植物 N
石竹科 Caryophyllaceae			
细叶石头花 <i>Gypsophila licentiana</i>	多年生 P	早生 X	根状茎型克隆植物 RC
十字花科 Crucifera			
四棱芥 <i>Goldbachia laevigata</i>	一年生 A	早生 X	非克隆植物 N
蔷薇科 Rosaceae			
绵刺 <i>Potaninia mongolica</i>	灌木 S	早生 X	非克隆植物 N
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	多年生 P	早生 X	匍匐茎型克隆植物 SC
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	多年生 P	中早生 M-X	匍匐茎型克隆植物 SC
豆科 Leguminosae			
披针叶野决明 <i>Thermopsis lanceolata</i>	多年生 P	中早生/盐生 M-X/H	根状茎型克隆植物 RC
天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	二年生 B	中生/盐生 M/H	非克隆植物 N
中间锦鸡儿 <i>Caragana intermedia</i>	灌木 S	早生/沙生 X/P	非克隆植物 N
狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>	灌木 S	早生 X	非克隆植物 N

续表

物种 Species	生活型 Life form	生态型 Ecological form	克隆构型 Clonal form
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
米口袋 <i>Gueldenstaedtia verna</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
斜茎黄耆 <i>Astragalus adsurgens</i>	多年生 P	中旱生 M-X	非克隆植物 N
草木樨状黄耆 <i>Astragalus melilotoides</i>	多年生 P	中旱生 M-X	非克隆植物 N
砂珍棘豆 <i>Oxytropis racemosa</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
短翼岩黄耆 <i>Hedysarum brachypterum</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
塔洛岩黄耆 <i>Hedysarum fruticosum</i> var. <i>laeve</i>	半灌木 SS	中旱生 M-X	根状茎型克隆植物 RC
细枝岩黄耆 <i>Hedysarum scoparium</i>	半灌木 SS	中旱生 M-X	非克隆植物 N
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	灌木 S	中旱生 M-X	非克隆植物 N
牛枝子 <i>Lespedeza potaninii</i>	半灌木 SS	旱生 X	非克隆植物 N
牻牛儿苗科 Geraniaceae			
鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i>	多年生 P	旱中生 X-M	其它型克隆植物 OC
蒺藜科 Zygophyllaceae			
多裂骆驼蓬 <i>Peganum multisetum</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
远志科 Polygalaceae			
远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	多年生 P	旱生 X	块根型克隆植物 RSC
大戟科 Euphorbiaceae			
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	多年生 P	中旱生 M-X	非克隆植物 N
沙生大戟 <i>Euphorbia kozlovi</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
柽柳科 Tamaricaceae			
红砂 <i>Reaumuria soongorica</i>	灌木 S	旱生/盐生 X/H	非克隆植物 N
瑞香科 Thymelaeaceae			
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	多年生 P	中旱生 M-X	根状茎型克隆植物 RC
伞形科 Umbelliferae			
北柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>	多年生 P	旱生 X	块根型克隆植物 RSC
硬阿魏 <i>Ferula bungeana</i>	多年生 P	旱生 X	根状茎型克隆植物 RC
萝藦科 Asclepiadaceae			
华北白前 <i>Cynanchum hancockianum</i>	多年生 P	旱生 X	块茎型克隆植物 TC
地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	半灌木 SS	中旱生 M-X	其它型克隆植物 OC
旋花科 Convolvulaceae			
银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	多年生 P	旱中生 X-M	非克隆植物 N
菟丝子 <i>Cuscuta chinensis</i>	一年生 A	中生 M	其它型克隆植物 OC
马鞭草科 Verbenaceae			
荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	灌木 S	中生 M	非克隆植物 N
唇形科 Labiatae			
粘毛黄芩 <i>Scutellaria viscidula</i>	多年生 P	中旱生 M-X	根状茎型克隆植物 RC
香青兰 <i>Dracocephalum moldavica</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
百里香 <i>Thymus serpyllum</i>	半灌木 SS	旱生 X	匍匐茎型克隆植物 SC
菊科 Compositae			
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
白莲蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	半灌木 SS	中旱生 M-X	根状茎型克隆植物 RC
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	半灌木 SS	旱生 X	根状茎型克隆植物 RC

续表

物种 Species	生活型 Life form	生态型 Ecological form	克隆构型 Clonal form
黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	半灌木 SS	旱生/沙生 X/P	其它型克隆植物 OC
细裂叶莲蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	半灌木状草本 SSH	中旱生 M-X	根状茎型克隆植物 RC
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	多年生 P	旱中生 X-M	根状茎型克隆植物 RC
白沙蒿 <i>Artemisia sphaerocephalla</i>	半灌木 SS	旱生/沙生 X/P	其它型克隆植物 OC
砂蓝刺头 <i>Echinops gmelinii</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
裂叶风毛菊 <i>Saussurea laciniata</i>	多年生 P	旱中生 X-M	非克隆植物 N
山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i>	多年生 P	中旱生 M-X	非克隆植物 N
丝叶山苦荬 <i>Ixeris chinensis</i> var. <i>graminifolia</i>	多年生 P	中旱生 M-X	非克隆植物 N
禾本科 Gramineae			
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	多年生 P	中生 M	根状茎型克隆植物 RC
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	多年生 P	旱生 X	根状茎型克隆植物 RC
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	多年生 P	旱中生 X-M	根状茎型克隆植物 RC
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	多年生 P	旱生 X	分蘖型克隆植物 TLC
本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i>	多年生 P	旱生 X	分蘖型克隆植物 TLC
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	多年生 P	旱生 X	分蘖型克隆植物 TLC
沙鞭 <i>Psammochloa villosa</i>	多年生 P	旱生/沙生 X/P	根状茎型克隆植物 RC
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
小画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
无芒隐子草 <i>Cleistogenes songarica</i>	多年生 P	旱生 X	分蘖型克隆植物 TLC
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	多年生 P	旱生 X	分蘖型克隆植物 TLC
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
锋芒草 <i>Tragus racemosus</i>	一年生 A	中生 M	分蘖型克隆植物 TLC
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	一年生 A	中生 M	非克隆植物 N
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	多年生 P	旱中生 X-M	根状茎型克隆植物 RC
莎草科 Cyperaceae			
寸草 <i>Carex duriuscula</i>	多年生 P	旱生 X	根状茎型克隆植物 RC
百合科 Liliaceae			
蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	多年生 P	旱生 X	鳞茎型克隆植物 BC
细叶韭 <i>Allium tenuissimum</i>	多年生 P	旱生 X	鳞茎型克隆植物 BC
戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>	多年生 P	旱生 X	非克隆植物 N
鸢尾科 Iridaceae			
细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>	多年生 P	旱生 X	根状茎型克隆植物 RC
马蔺 <i>Iris lacteal</i> var. <i>chinensis</i>	多年生 P	中生 M	根状茎型克隆植物 RC

A 一年生 (Annual), B 二年生 (biennial), P 多年生 (perennial), S 灌木 (shrub), SS 半灌木 (semi-shrub), SSH 半灌木状草本 (semi-shrub herb); ecological form, X 旱生 (xerophyte), X-M 旱中生 (xerophyte-mesophyte), M-X 中旱生 (mesophyte-xerophyte), M 中生 (mesophyte), P 多年生 (psammophyte), H 盐生 (halophyte); clonal form, N 非克隆植物 (Non-clonal plant), RC 根状茎型克隆植物 (rhizomatous clonal plant), SC 匍匐茎型克隆植物 (stoloniferous clonal plant), OC 其它型克隆植物 (others clonal plant), RSC 块根型克隆植物 (root splitting clonal plant), TC 块茎型克隆植物 (tuberous clonal plant), TLC 分蘖型克隆植物 (tillering clonal plant), BC 鳞茎型克隆植物 (bulbous clonal plant)

2.2 降水对克隆植物分布的影响

鄂尔多斯样带共有克隆植物 37 种, 占总植物种数的 45.12%, 包括 6 种克隆构型(表 1)。其中, 根状茎型克隆植物有 18 种, 占克隆植物种数的 48.65%; 分蘖型克隆植物有 6 种, 占 16.22%。

克隆植物种数量与降水量呈极显著正相关($P < 0.001$), 相关系数为 0.371(表 2, 图 3)。克隆植物占总物种数量的比例与降水量呈显著正相关($P < 0.01$), 相关系数为 0.217(表 2, 图 3)。克隆植物的重要值与降水量呈极显著正相关($P < 0.001$), 相关系数为 0.613(表 2, 图 3)。根状茎型克隆植物的数量与降水量呈显著正相

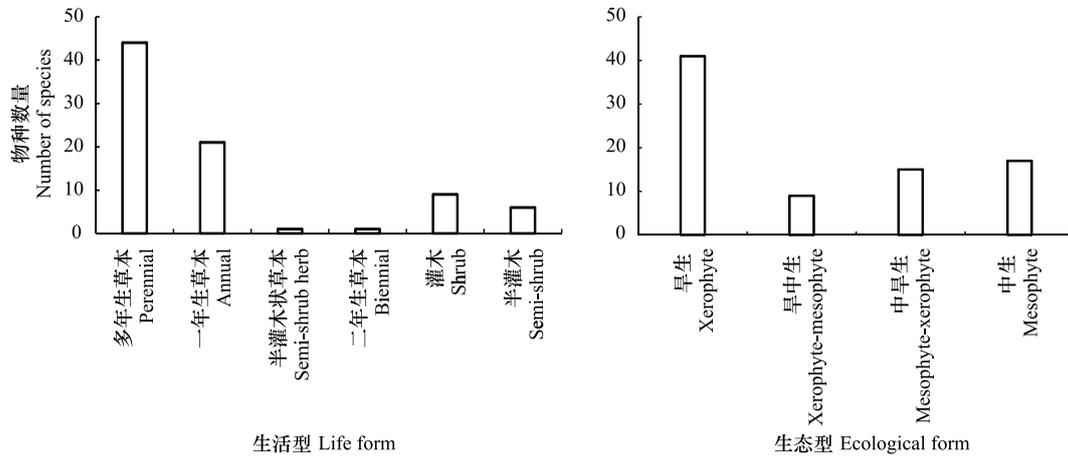


图 2 植物的生活型和生态型

Fig.2 Life form and ecological form of plant species

关($P < 0.05$), 相关系数为 0.182 (表 2, 图 3)。然而, 根状茎型克隆植物占总物种数量的比例及其重要值与降水量的相关性均不显著($P > 0.05$) (表 2, 图 3)。

表 2 克隆植物和根状茎型克隆植物的物种数量、占总物种数量的比例、重要值与降水量的相关系数

Table 2 Correlation index between species number, ratio to total species number and importance value of clonal plants and rhizomatous clonal plants and precipitation

植物类型 Plant type	物种数量 Species number	比例 Ratio	重要值 Importance value
克隆植物 Clonal plants	0.371 ***	0.217 **	0.613 ***
根状茎型克隆植物 Rhizomatous clonal plants	0.182 *	0.056	0.295

***, $P < 0.001$; **, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$

2.3 降水对 5 种优势植物分布的影响

克氏针茅主要分布在鄂尔多斯高原东部, 分布区降水量范围是 395—444 mm, 调查时正处于花期。它的平均高度为 60.09 cm。从东到西, 克氏针茅的高度呈现降低趋势(图 4)。克氏针茅的平均盖度为 5.67%。从东到西, 克氏针茅的盖度先增加后降低(图 4)。克氏针茅的平均密度为 16.33 株/m²。从东到西, 克氏针茅的密度呈现降低趋势(图 4), 而且与降水量呈显著正相关($P < 0.05$) (表 3)。

表 3 优势植物的高度、盖度、密度与降水量的相关系数

Table 3 Correlation index between height, coverage, density of dominant species and precipitation

物种 Species	高度 Height	盖度 Coverage	密度 Density
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	0.239	0.190	0.542 *
本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i>	0.292 **	0.508 **	0.496 **
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	-0.273 *	-0.347	-0.326 **
黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	0.284 *	0.362 **	0.380 **
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	0.414 **	-0.339 **	-0.228 *

**, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$

本氏针茅主要分布在鄂尔多斯高原东部和中部, 分布区降水量范围是 347—435 mm。它的平均高度为 25.18 cm, 平均盖度为 4.20%, 平均密度为 13.14 株/m²。从东到西, 它的高度、盖度和密度均表现出先降低后略有增加(图 4)。而且, 高度、盖度和密度均与降水量成极显著正相关($P < 0.01$) (表 3)。

短花针茅主要分布在鄂尔多斯高原中部和西部, 分布区降水量范围是 211—304 mm。它的平均高度为

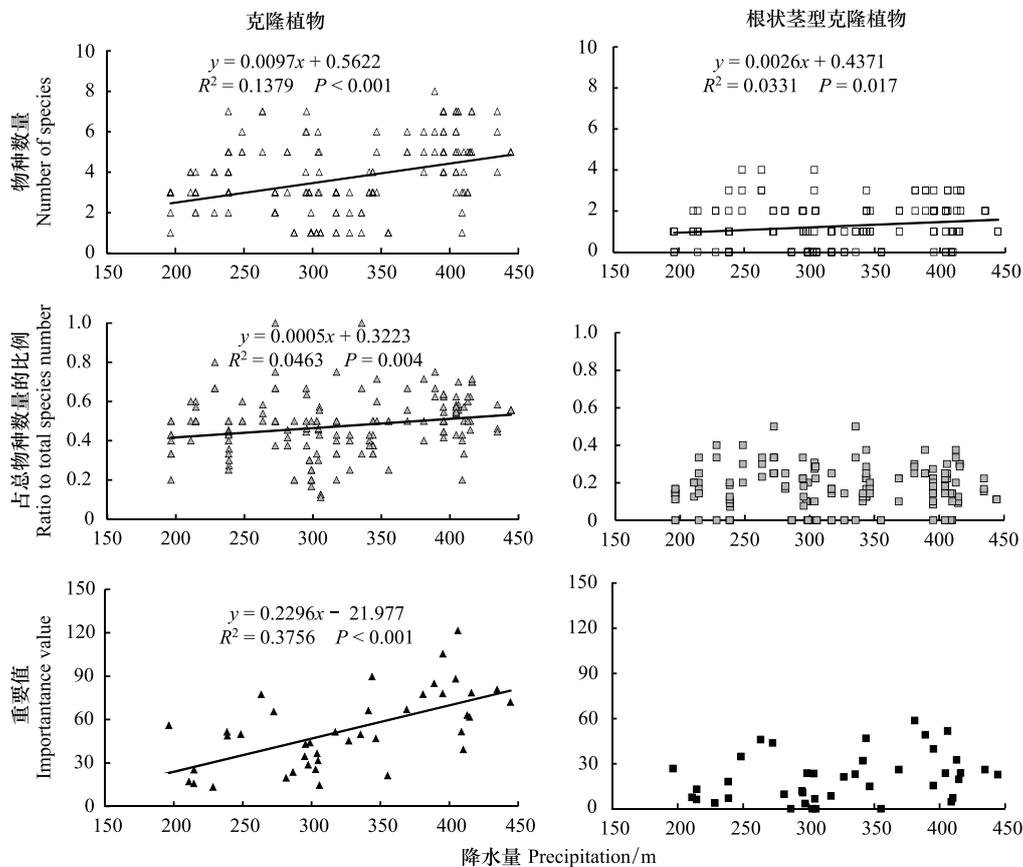


图3 克隆植物和根状茎型克隆植物的物种数量、占总物种数的比例、重要值与降水的关系

Fig.3 Relationship between species number, the ratio to total species number and importance value of clonal plants and rhizomatous clonal plants and precipitation

15.91 cm, 平均盖度为 2.39%, 平均密度为 3.56 株/m²。从东到西, 它的高度、盖度和密度均表现增加趋势 (图 4)。高度与降水量呈显著负相关 ($P < 0.05$), 密度与降水量呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 3)。

黑沙蒿主要分布在鄂尔多斯高原中部和西部, 分布区降水量范围是 196—369 mm。黑沙蒿的最大高度为 65 cm, 平均盖度为 13.81%, 平均密度为 2.78 株/m²。随着降水量的增加, 黑沙蒿的高度、盖度和密度均表现出增加趋势 (图 5)。它的高度与降水量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 盖度和密度均与降水量呈极显著正相关 ($P < 0.01$) (表 3)。

赖草主要分布在鄂尔多斯高原东部和中部, 分布区降水量范围是 249—444 mm。赖草的平均高度是 32.31 cm。随着降水量的增加, 它的高度逐渐增加, 而且与降水量呈极显著正相关 ($P < 0.01$) (表 3)。赖草的平均盖度是 1.43%。随着降水量的增加, 它的盖度逐渐降低, 而且与降水量呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (表 3)。赖草的平均密度是 14.43 株/m²。随着降水量的增加, 它的密度逐渐降低, 而且与降水量呈显著负相关 ($P < 0.05$) (图 6)。

3 讨论

3.1 植物生活型和生态型

鄂尔多斯高原植物的生活型以草本植物为主, 占总数的 81.71%。其中, 多年生草本植物最多, 占草本植物总数的 65.67%; 其次是一年生草本植物, 占草本植物总数的 31.34%。5 种优势植物中的 4 种 (克氏针茅、本氏针茅、短花针茅和赖草) 是多年生草本植物。木本植物只占总数的 18.29%, 其中半灌木和灌木各占木本植

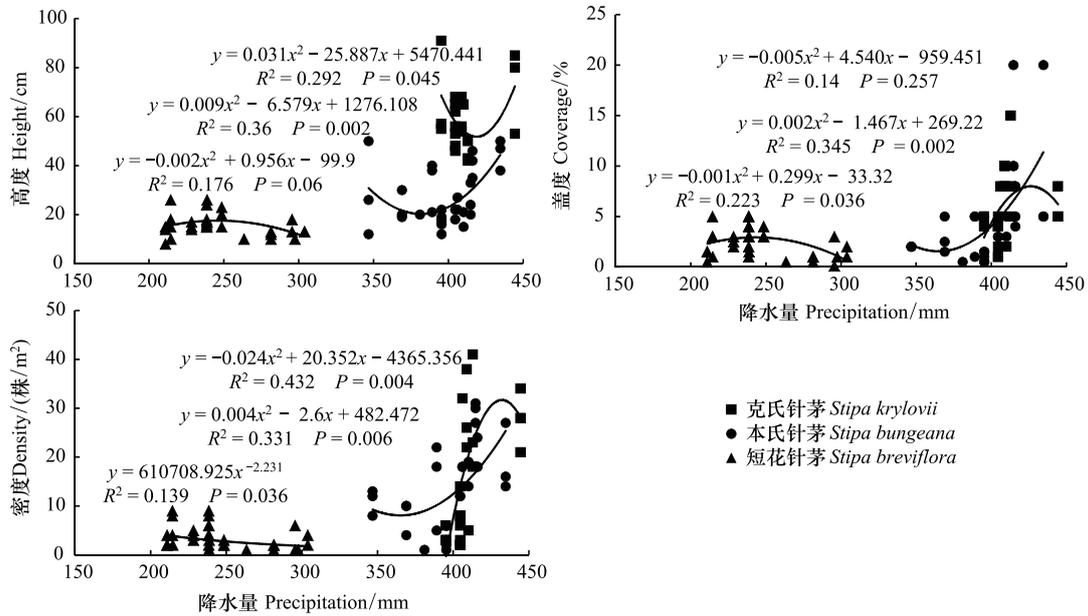


图4 3种针茅的高度、盖度、密度与降水的关系

Fig.4 Relationship between height, coverage, density of three *Stipa* and precipitation

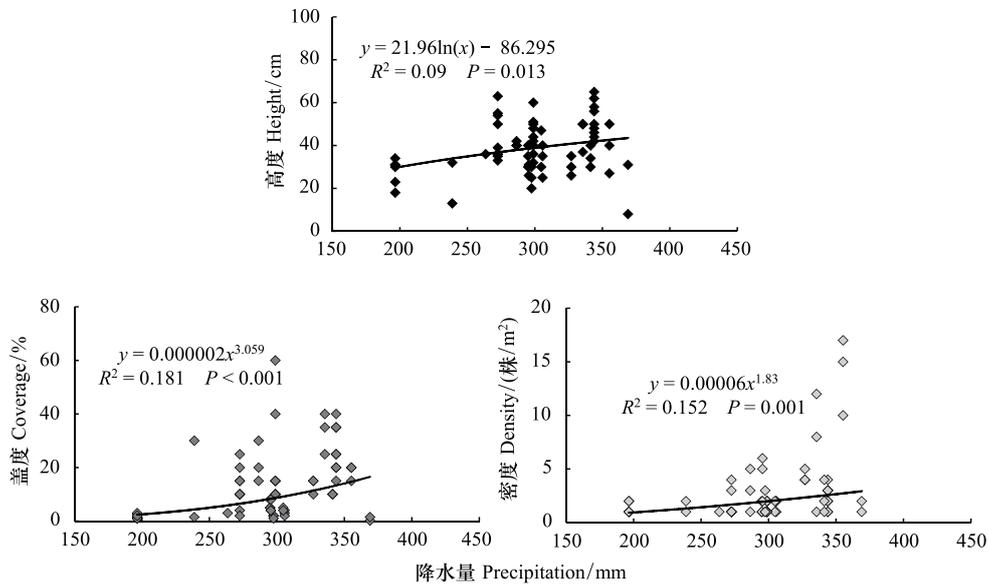


图5 黑沙蒿的高度、盖度、密度与降水的关系

Fig.5 Relationship between height, coverage, density of *Artemisia ordosica* and precipitation

物总数的 60.00%和 40.00%。5 种优势植物中的黑沙蒿是半灌木。鄂尔多斯市成吉思汗陵周边的植物生活型也以草本植物为主,占总数的 86.39% [21]。

鄂尔多斯高原植物的水分生态型以旱生植物为主,占总数的 50%;其次为旱中生和中旱生植物,共占 29.27%;中生植物占 20.73%。5 种优势植物中的 4 种(克氏针茅、本氏针茅、短花针茅和黑沙蒿)是旱生植物,赖草是旱中生植物。然而,成吉思汗陵周边植物的水分生态型则以中生植物(含中旱生植物)为主,占总数的 62.38%;其次是旱生植物,占总数的 26.84%。这是由于当地植被以草甸和沙生植被为主[21]。这些特征体现了植物对当地干旱和半干旱气候的响应。

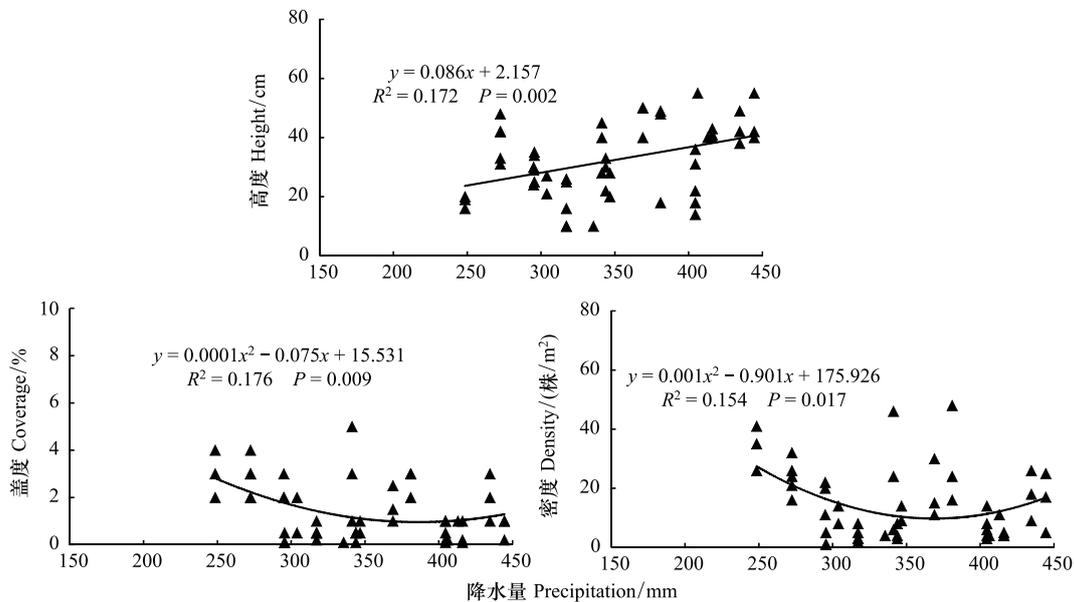


图 6 赖草的高度、盖度和密度与降水的关系

Fig.6 Relationship between height, coverage, density of *Leymus secalinus* and precipitation

3.2 克隆植物随降水梯度的变化

鄂尔多斯高原的克隆植物共有 37 种,占物种总数的 45.12%。在 6 个克隆植物生长型中,根状茎型克隆植物最多,有 17 种,占克隆植物总数的 45.95%。5 种优势植物均为克隆植物。这个结果与东北样带的调查结果类似。东北样带的克隆植物占总数的 49.2%。克隆植物数量在典型草原最多,达到 32 种。根状茎型克隆植物在不同植被类型中的数量都最多。根状茎能够在地表以下有效贮藏越冬芽,是克隆植物对寒冷气候的适应^[12]。在黄土高原植被演替的不同阶段,克隆植物的比例从第 3 年的 0%,增加到第 26 年的 25%,以及第 46 年和第 149 年的 100%^[22]。科尔沁沙地植被恢复过程中,克隆植物的物种丰富度随着恢复时间延长而增加,在固定沙地阶段最高;其重要值在 12 年的半固定沙地达到顶峰^[23]。因此,克隆植物在草原生态系统中具有重要作用。

降水增加促进鄂尔多斯高原克隆植物的分布。随着降水量的增加,鄂尔多斯高原克隆植物的物种数量、占物种总数的比例及其重要值均增加。而且,根状茎型的物种数量也随着降水量的增加而增加。这可能是由于克隆植物对 CO₂、光能和水分等资源的利用能力优于非克隆植物。例如,东北样带的 115 种克隆植物的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用效率分别比 103 种非克隆植物高 22%、15%、23%和 14%^[24]。但是,东北样带克隆植物的相对数量和重要值与降水量没有相关性^[12]。这种差异可能是由于两个地区的植被类型与气候不同造成的。鄂尔多斯高原的植被包括典型草原、沙地、荒漠草原和草原化荒漠,降水量为 196.45—444.44 mm。东北样带的植被包括森林草原、农田、草甸草原、典型草原和荒漠草原,降水量为 200.3—569.2 mm。其中,降水量最高的森林草原的植被以乔木为主,克隆植物数量较少。

3.3 优势植物随降水梯度的变化

克氏针茅、本氏针茅和短花针茅分别主要分布在鄂尔多斯高原东部的半湿润区、中东部的半干旱区以及中西部的半干旱-干旱区,分别是草原和荒漠草原的优势种。3 种针茅的分布特征与降水的关系不同。其中,降水量增加后,克氏针茅的密度显著增加。内蒙古多伦的克氏针茅在降水丰沛、土壤含水量较高的生境中光能利用率较高^[25]。随着降水量的增加,本氏针茅的高度、盖度和密度均显著增加。对鄂尔多斯高原的本氏针茅-百里香群落进行连续 7 年的生物量定位观测也表明:降水量在生长季各月都是重要影响因子,重要程度依次是 5 月>6 月>7 月^[26]。然而,降水量增加后,短花针茅的高度和密度都显著降低。四子王旗荒漠草原短花

针茅的相对生物量与降水呈显著负相关^[27]。增温和降水增加会增加短花针茅的总生物量、根和叶生物量^[28]。因此,3种针茅采取不同的生长对策适应鄂尔多斯高原的半干旱或干旱气候。

黑沙蒿广泛分布在鄂尔多斯高原中部和西部的半干旱区和干旱区,是沙地和荒漠的优势植物。随着降水量的增加,黑沙蒿的高度、盖度与密度均显著增加。生长季内,降水量是鄂尔多斯高原和油蒿-本氏针茅群落的地上生物量的重要影响因子^[29]。随着施水量的增加,毛乌素沙地油蒿幼苗的生物量、株高、总枝数和长度、总叶片数、总叶面积等均显著增加^[30]。沙坡头的模拟降雨实验表明:增雨 50%促进新枝生长,而增雨 100%显著促进新枝生长^[31]。因此,降水增加促进油蒿生长,油蒿在沙地的生长优于荒漠。

赖草主要分布在鄂尔多斯高原的中东部的半干旱区,是草原的优势植物以及沙地和荒漠草原的伴生植物。随着降水量的增加,它的高度显著增加,而盖度和密度则显著降低。生长季降水对内蒙古赖草草甸的植物群落初级生产力的形成起至关重要的作用。随着降水量的增加,地上净初级生产力逐渐增大^[32]。宁夏盐池沙地的赖草主要分布在土壤水分条件较好的平沙地,也可以伴生在土壤水分较少的丘顶^[33]。浑善达克沙地土壤含水量高的低湿滩地上赖草的分株数和生物量都低于土壤含水量较低的风沙沉积区和过渡区^[34]。因此,降水增加后赖草趋向于产生数量较少的高大分株。

4 结论

克隆植物在鄂尔多斯高原的植被组成中具有重要作用,而且其重要性随着降水的增加而增强。随着降水量的增加,克隆植物的物种数量、占物种总数的比例和重要值以及根状茎型克隆植物的数量均显著增加。5种优势克隆植物的分布均受降水影响。随着降水量的增加,克氏针茅的密度,本氏针茅的高度、盖度和密度,黑沙蒿的高度、盖度和密度以及赖草的高度均显著增加;然而,赖草的盖度和密度以及短花针茅的高度和密度显著降低。建议今后当地的荒漠化防治和水土保持工程重视克隆植物的应用。

参考文献 (References):

- [1] 胡云锋, 艳燕, 阿拉腾图雅, 毕力格吉夫. 内蒙古东北-西南草地样带植物多样性变化. 资源科学, 2012, 34(6): 1024-1031.
- [2] 胡云锋, 巴图娜存, 毕力格吉夫, 刘纪远, 甄霖. 乌兰巴托-锡林浩特样带草地植被特征与水热因子的关系. 生态学报, 2015, 35(10): 3258-3266.
- [3] 杨秀静, 黄玫, 王军邦, 刘洪升. 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系. 生态学报, 2013, 33(7): 2032-2042.
- [4] Kang M Y, Dai C, Ji W Y, Jiang Y, Yuan Z, Chen H Y H. Biomass and its allocation in relation to temperature, precipitation, and soil nutrients in Inner Mongolia grasslands, China. PLoS One, 2013, 8(7): e69561.
- [5] Yang Y H, Fang J Y, Ma W H, Guo D L, Mohammad A. Large-scale pattern of biomass partitioning across China's grasslands. Global Ecology and Biogeography, 2010, 19(2): 268-277.
- [6] Wang L M, Li L H, Chen X, Tian X, Wang X K, Luo G P. Biomass allocation patterns across China's terrestrial biomes. PLoS One, 2014, 9(4): e93566.
- [7] 樊江文, 张良侠, 张文彦, 钟华平. 中国草地样带植物氮磷元素空间格局及其与气候因子的关系. 草地学报, 2014, 22(1): 1-6.
- [8] 樊江文, 张良侠, 张文彦, 钟华平. 中国草地样带植物根系 N、P 元素特征及其与地理气候因子的关系. 草业学报, 2014, 23(5): 69-76.
- [9] 于海玲, 李愈哲, 樊江文, 钟华平. 中国草地样带不同功能群植物叶片氮磷含量随水热因子的变化规律. 生态学杂志, 2016, 35(11): 2867-2874.
- [10] 宋明华, 董鸣. 群落中克隆植物的重要性. 生态学报, 2002, 22(11): 1960-1967.
- [11] Dong M, Yu F H, Alpert P. Ecological consequences of plant clonality. Annals of Botany, 2014, 114(2): 367-367.
- [12] 宋明华, 董鸣, 蒋高明, 李凌浩. 东北样带上的克隆植物及其重要性与环境的关系. 生态学报, 2001, 21(7): 1095-1103.
- [13] Song M H, Dong M, Jiang G M. Importance of clonal plants and plant species diversity in the Northeast China Transect. Ecological Research, 2002, 17(6): 705-716.
- [14] 宋明华, 陈玉福, 董鸣. 鄂尔多斯高原风蚀沙化梁地克隆植物的分布及其与物种多样性的关系. 植物生态学报, 2002, 26(4): 396-402.
- [15] 付京晶, 周华坤, 赵新全, 姚步青, 陈哲, 金艳霞, 温军. 青海海北不同类型高寒草地的克隆植物及其重要性. 草地学报, 2013, 21(6): 1065-1072.
- [16] 李仁强. 植被生产力与植物克隆性的样带分析[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2007.

- [17] 陈旭东, 陈仲新, 赵雨兴. 鄂尔多斯高原生态过渡带的判定及生物群区特征. 植物生态学报, 1998, 22(4): 312-318.
- [18] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1997: 15-17.
- [19] Hijmans R J, van Etten J. Raster: Geographic analysis and modeling. R Package Version 1.8-22 (2011-05-13) <http://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>.
- [20] New M, Lister D, Hulme M, Makin I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. Climate Research, 2002, 21(1): 1-25.
- [21] 刘哲荣, 刘果厚, 岳秀贤, 刘冠志, 岳永杰, 高润红, 李红, 赵淑文. 鄂尔多斯成吉思汗陵周边野生种子植物区系研究. 草地学报, 2015, 23(5): 983-989.
- [22] Wang G H. Plant traits and soil chemical variables during a secondary vegetation succession in abandoned fields on the Loess Plateau. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 990-998.
- [23] 张继义, 赵哈林, 崔建垣, 李玉霖, 苏永中. 沙地植被恢复过程中克隆植物分布及其对群落物种多样性的影响. 林业科学, 2005, 41(1): 5-9.
- [24] 蒋高明, 董鸣. 沿中国东北样带(NECT)分布的若干克隆植物与非克隆植物光合速率与水分利用效率的比较(英文). 植物学报, 2000, 42(8): 855-863.
- [25] 孙建, 刘苗, 李胜功, 胡中民, 孙晓敏, 温学发, 张雷明. 内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略. 生态学报, 2011, 31(8): 2148-2158.
- [26] 黄富祥, 高琼, 傅德山, 刘振铎. 内蒙古鄂尔多斯高原典型草原百里香-本氏针茅草地上生物量对气候响应动态回归分析. 生态学报, 2001, 21(8): 1339-1346.
- [27] 秦洁, 韩国栋, 乔江, 武倩. 内蒙古不同草地类型针茅属植物对放牧强度和气候因子的响应. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2066-2073.
- [28] 吕晓敏, 王玉辉, 周广胜, 许振柱, 陈军, 谭丽萍, 刘涛. 温度与降水协同作用对短花针茅生物量及其分配的影响. 生态学报, 2015, 35(3): 752-760.
- [29] 黄富祥, 傅德山, 刘振铎. 鄂尔多斯油蒿-本氏针茅群落生物量对气候的动态影响. 草地学报, 2001, 9(2): 148-153.
- [30] 肖春旺, 周广胜, 赵景柱. 不同水分条件对毛乌素沙地油蒿幼苗生长和形态的影响. 生态学报, 2001, 21(12): 2136-2140.
- [31] 张浩, 王新平, 张亚峰, 虎瑞, 潘颜霞, 陈宁. 干旱荒漠区不同生活型植物生长对降雨量变化的响应. 生态学杂志, 2015, 34(7): 1847-1853.
- [32] 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.
- [33] 高阳, 高甲荣, 温存, 张维江. 宁夏盐池沙地土壤水分条件与植被分布格局. 西北林学院学报, 2006, 21(6): 1-4.
- [34] 朱选伟, 刘海东, 梁士楚, 叶永忠, 董鸣. 浑善达克沙地赖草分株种群与土壤资源异质性分析. 生态学报, 2004, 24(7): 1459-1464.