

中国北方蒙古莠群落的分布、特征和分类

于笑 纪若璇 任天梦 夏新莉 尹伟伦 刘超*

北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083

摘要 蒙古莠(*Caryopteris mongholica*)是分布在典型草原、荒漠化草原、荒漠的重点保护野生植物, 但对于其群落特征和分类的研究较匮乏, 研究蒙古莠在中国北方的分布、群落特征及其分类, 可为其保护管理提供参考依据。该研究于2018–2021年, 在中国北方共选择40处具有代表性的蒙古莠样地, 利用样地调查法对其群落特征进行研究。主要结果有: (1)蒙古莠在中国集中分布于内蒙古高原东、中部及西部, 黄土高原北部, 河西走廊, 祁连山等西北温带荒漠区及草原区, 常为群落中的优势种或伴生种。(2)40个样地中共记录种子植物149种, 隶属于37科107属。其中以蒙古莠为优势种的群落共31个, 记录种子植物140种, 群落中以菊科、豆科和禾本科植物为主; 其中灌木、小半灌木39种, 多年生草本76种, 一/二年生草本24种; 物种存在度等级划分中, I级(0–20%)植物占总物种数的87.94%, 多为群落中的偶见种; 水分生态类型中, 广幅旱生植物占优势(63.12%); 区系地理成分以亚洲中部植物为主(26.24%)。(3)根据生活型和优势度, 将31个蒙古莠群落划分为3个群丛组, 分别为蒙古莠-草本群丛组、蒙古莠+灌木-草本群丛组和蒙古莠+灌木群丛组, 进一步细分为19个群丛。(4)经度及年降水量显著影响蒙古莠群落的分布及物种多样性。

关键词 蒙古莠; 种群分布; 群落特征; 物种多样性

于笑, 纪若璇, 任天梦, 夏新莉, 尹伟伦, 刘超 (2023). 中国北方蒙古莠群落的分布、特征和分类. 植物生态学报, 47, 1182-1192. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0239

Distribution, characteristics and classification of *Caryopteris mongholica* communities in northern China

YU Xiao, JI Ruo-Xuan, REN Tian-Meng, XIA Xin-Li, YIN Wei-Lun, and LIU Chao*

College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract

Caryopteris mongholica is a key protected wildflower plant distributed in typical steppe, desertified steppe and desert areas. But there is a lack of research on its community characteristics and classification. This paper aims to study the distribution, characteristics and classification of *C. mongholica* in northern China and provide a reference for further protection and management. From 2018 to 2021, a total of 40 representative *C. mongholica* sites were selected in northern China, and their community characteristics were studied using the sample plot survey method. Results showed: (1) *Caryopteris mongholica* is concentrated in the eastern, central and western of Nei Mongol Plateau, the northern Loess Plateau, Hexi Corridor, Qilian Mountains and other northwest temperate desert or steppe areas in China, and is often the dominant or associated species in the communities. (2) According to the survey of 40 sample sites, a total of 149 species of seed plants were recorded, belonging to 107 genera of 37 families, among which 31 communities with *C. mongholica* as construction or dominant species and 140 species of seed plants were recorded, mainly Compositae, Leguminosae and Gramineae. Among them, 39 species were shrubs, dwarf- and semi-shrubs, 76 species were perennial herbs and 24 species were annuals and biennials. In the classification of species presence, 87.94% were occasional species with frequency distribution less than 20%. Wide-range xerophytes occupied the advantage (63.12%) in the water ecological types. Middle Asia elements (26.24%) were the major floristic geographic elements. (3) Based on the life form and dominance of species, the 31 *C. mongholica* communities were divided into 3 association groups, *C. mongholica* - herb association group, *C. mongholica* + shrub - herb association group and *C. mongholica* + shrub association group, which were further subdivided into 19 associations. (4) Longitude and annual precipitation significantly influence the distribution of *C. mongholica* communities and species diversity.

收稿日期Received: 2022-06-08 接受日期Accepted: 2023-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(31600484和31770649)。Supported by the National Natural Science Foundation of China (31600484 and 31770649).

* 通信作者Corresponding author (liuchao1306@bjfu.edu.cn)

Key words *Caryopteris mongholica*; population distribution; community characteristic; species diversity

Yu X, Ji RX, Ren TM, Xia XL, Yin WL, Liu C (2023). Distribution, characteristics and classification of *Caryopteris mongholica* communities in northern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 47, 1182–1192. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0239

植物群落是植物种群与环境因子共同构成的一个有机整体, 群落中不同的物种组成取决于物种的生物学特性、生境条件及其交互作用(Klanderud *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2019)。探究植物群落物种组成、结构特征和物种多样性, 是了解植物群落生物资源丰富程度的基础, 也一直是诸多生态学者所关注的热点问题。

蒙古莠(*Caryopteris mongholica*)为落叶小灌木, 原属马鞭草科莠属(中国植物志编辑委员会, 1982), 现属唇形科筋骨草亚科(Group TAP, 2016; Liu *et al.*, 2018), 为内蒙古重点保护草原野生植物。该物种的花、叶、枝均可入药, 有较高的药用及观赏价值(王焱宁, 2018), 且具有适应干旱环境的独特生理生态特征, 是干旱、半干旱、盐碱等地区的极佳固沙绿化灌木(沈超等, 2019)。但受自然和人类活动等因素影响, 蒙古莠的分布范围逐渐缩减, 个体也逐渐减少, 亟待保护。

目前, 国内外有关蒙古莠的研究主要集中于生物生态学特性(李玉俊等, 1991; 王晓江等, 2006)、化学成分(张永红和程东亮, 2001)、组培繁殖(李相儒和袁勤, 2016; 王雷等, 2022)、解剖结构(纪若璇等, 2020)及生理和光合特性(白雪卡等, 2018)等方面, 关于蒙古莠群落特征方面的研究则少见报道, 仅有贺一鸣(2018)对呼和浩特、赛罕塔拉、乌海和大柳塔4地的蒙古莠进行过种群生态适应及繁殖更新策略研究。

详尽的植物群落调查可以为定量或定性描述群落特征提供依据, 并且为植被类专著编研提供基础性资料(乔鲜果等, 2017)。本研究采用样地调查法对蒙古莠群落的群落结构、群落特征、群系分类及其主要影响因子进行研究, 拟解决蒙古莠群落样方数据缺乏的问题, 并为植被生态学研究及生物多样性保护进一步提供参考依据, 为《中国植物志》的编研提供基础数据和样方资料。

1 材料和方法

1.1 研究区域

研究区域基本涵盖了蒙古莠在我国北方最主要的自然地理分布区域, 从东向西分别包括内蒙古、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃等省和自治区(表1)。研

究区域内气候属温带大陆性气候, 昼夜温差较大, 日照时间较长, 年平均气温1.03–9.59 °C, 年降水量67–475 mm, 气候干燥, 降水主要集中在7、8月份, 区域内地形复杂多样, 包括高原、山地、沟谷、草原等。

1.2 样地及样方调查

野外调查于2018–2021年的6–8月进行, 根据国家标本资源共享平台(<http://www.nsii.org.cn>)提供的蒙古莠天然种群分布点, 选择了40处具有代表性的样地(表1), 相邻样地间隔大于25 km。在样地内随机布设3个10 m × 10 m的灌木样方, 群落结构和生境相对均匀。按照植物群落清查方法和技术规范(方精云等, 2009), 记录样地的地理位置、群落类型、生境特征(包括海拔、土壤类型等)、蒙古莠及其他灌木物种信息(包括每种灌木名称、高度、株数、盖度等), 在样地内随机选取3个1 m × 1 m的小样方进行草本样方调查(高趁光等, 2018), 记录小样方内物种名称、盖度、平均高度、多度及草本样方总盖度等信息(附录)。

1.3 数据处理

根据样方调查表的数据对蒙古莠种群所处群落的特征进行分析。群落中所有物种的名称及科、属以《中国植物志》(中国植物志编辑委员会, 2004)为依据来确定, 物种生活型、水分生态类型和区系地理成分的确定参考相关文献(赵一之, 2012; 陈灵芝等, 2014)。以每个群落为一个独立单元, 分别计算灌木层、草本层物种的相对盖度、相对密度、相对高度和重要值(IV)。

相对盖度 = (样方内某种植物的盖度/所有种的盖度之和) × 100% (1)

相对密度 = (样方内某种植物的株数/所有种的株数之和) × 100% (2)

相对高度 = (样方内某种植物的高度/所有种的高度之和) × 100% (3)

IV = (相对盖度 + 相对密度 + 相对高度)/3 (4)

以重要值为测度依据, 计算群落的物种丰富度(*S*)、Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)、Simpson多样性指数(*D*)及Pielou均匀度指数(*J*), 公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (5)$$

表1 蒙古莠天然群落调查样地信息

Table 1 Plots information of *Caryopteris mongholica* natural communities

编号 No.	调查地点 Survey site	纬度 Latitude (° N)	经度 Longitude (° E)	海拔 Altitude (m)	年降水量 Mean annual precipitation (mm)	年平均气温 Mean annual air temperature (°C)	调查时间 Survey time
1	内蒙古呼和浩特市土默特左旗 Tumd Left Banner, Hohhot, Nei Mongol	40.77	111.22	1 123	291	5.92	2018-08-02
2	内蒙古呼和浩特市武川县 Wuchuan County, Hohhot, Nei Mongol	41.10	111.77	1 625	291	2.89	2018-08-12
3	内蒙古呼和浩特市清水河县 Qingshuihe County, Hohhot, Nei Mongol	39.65	111.44	1 210	397	6.55	2018-08-10
4	内蒙古呼和浩特市和林格尔县 Horinger County, Hohhot, Nei Mongol	40.41	111.93	1 299	341	5.11	2018-08-11
5	内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗 Dalad Banner, Ordos, Nei Mongol	39.94	109.58	1 349	325	6.37	2018-08-03
6	内蒙古鄂尔多斯市鄂托克旗乌兰镇 Ulan Town, Otog Banner, Ordos, Nei Mongol	39.25	108.04	1 396	288	7.02	2018-08-03
7	内蒙古鄂尔多斯市鄂托克旗蒙西镇 Mengxi Town, Otog Banner, Ordos, Nei Mongol	40.08	106.92	1 196	152	8.02	2018-08-04
8	内蒙古鄂尔多斯市鄂托克前旗 Otog Front Banner, Ordos, Nei Mongol	38.41	107.61	1 326	304	7.75	2018-08-07
9	内蒙古鄂尔多斯市乌审旗 Uxin Banner, Ordos, Nei Mongol	37.72	108.55	1 321	371	8.44	2018-08-07
10	内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗 Jungar Banner, Ordos, Nei Mongol	39.84	110.98	1 271	382	6.32	2018-08-10
11	内蒙古乌兰察布市凉城县 Liangcheng County, Ulan Qab, Nei Mongol	40.68	112.22	1 336	317	4.75	2018-08-11
12	内蒙古锡林郭勒盟苏尼特右旗 Sonid Right Banner, Xilin Gol, Nei Mongol	42.57	112.43	1 269	223	4.60	2018-08-12
13	内蒙古锡林郭勒盟二连浩特市 Erenhot, Xilin Gol, Nei Mongol	43.58	112.02	971	175	4.13	2018-08-13
14	内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗 Abag Banner, Xilin Gol, Nei Mongol	43.90	115.35	1 190	246	1.83	2018-08-13
15	内蒙古锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗 Dong Ujimqin Banner, Xilin Gol, Nei Mongol	45.66	116.76	1 018	247	1.03	2018-08-14
16	内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市 Xilinhot City, Xilin Gol, Nei Mongol	43.58	116.14	1 295	302	1.72	2018-08-15
17	内蒙古锡林郭勒盟正镶白旗 Zhengxiangbai Banner, Xilin Gol, Nei Mongol	42.26	114.97	1 421	319	2.96	2018-08-15
18	内蒙古阿拉善盟阿拉善右旗 Alxa Right Banner, Alxa, Nei Mongol	39.79	103.41	1 382	88	8.67	2021-08-01
19	内蒙古阿拉善盟阿拉善左旗 Alxa Left Banner, Alxa, Nei Mongol	38.88	105.73	1 654	202	6.95	2018-08-05
20	宁夏中卫市沙坡头区 Shapotou District, Zhongwei, Ningxia	37.66	105.37	1 332	194	9.59	2018-08-05
21	宁夏银川市贺兰县 Helan County, Yinchuan, Ningxia	38.69	105.98	1 329	193	8.38	2018-08-06
22	河北省张家口市康保县 Kangbao County, Zhangjiakou, Hebei	41.99	114.85	1 621	362	2.73	2018-08-16
23	陕西省榆林市神木市大柳塔乡 Daliuta Town, Shenmu County, Yulin, Shaanxi	39.29	110.33	1 206	399	7.19	2018-08-09
24	陕西省榆林市神木市西沟街 Xigou Street, Shenmu County, Yulin, Shaanxi	38.81	110.48	978	422	8.53	2020-08-25
25	陕西省榆林市榆阳区红石桥乡 Hongshiqiao Town, Yuyang District, Yulin, Shaanxi	38.10	109.12	1 123	366	8.80	2020-08-18
26	陕西省榆林市榆阳区镇川镇 Zhenchuan Town, Yuyang District, Yulin, Shaanxi	37.86	110.11	911	446	9.43	2020-08-20
27	陕西省榆林市横山区 Hengshan District, Yulin, Shaanxi	38.02	109.68	1 064	425	8.98	2020-08-18
28	陕西省榆林市靖边县 Jingbian County, Yulin, Shaanxi	37.50	108.98	1 556	405	7.60	2020-08-19
29	山西省吕梁市兴县 Xing County, Luliang, Shanxi	38.48	111.06	975	475	8.38	2020-08-22
30	山西省忻州市保德县 Baode County, Xinzhou, Shanxi	39.01	111.10	997	434	8.11	2020-08-24
31	山西省忻州市河曲县 Hequ County, Xinzhou, Shanxi	39.28	111.25	931	405	8.00	2020-08-24
32	甘肃省兰州市安宁区 Anning District, Lanzhou, Gansu	36.11	103.74	1 624	345	9.24	2019-08-22
33	甘肃省白银市景泰县 Jingtai County, Baiyin, Gansu	37.05	104.04	1 735	209	7.45	2021-07-30
34	甘肃省武威市凉州区 Liangzhou District, Wuwei, Gansu	37.69	102.56	2 532	272	4.07	2021-07-31
35	甘肃省张掖市甘州区 Ganzhou District, Zhangye, Gansu	39.10	100.52	1 565	190	7.49	2021-08-04
36	甘肃省张掖市肃南裕固族自治县 Sunan Yugurzu Autonomous County, Zhangye, Gansu	39.11	99.48	2 165	278	1.61	2021-08-05
37	甘肃省嘉峪关市文殊镇 Wenshu Town, Jiayuguan, Gansu	39.69	97.95	2 016	124	4.85	2021-08-06
38	甘肃省酒泉市瓜州县 Guazhou County, Jiuquan, Gansu	41.12	95.51	1 784	67	6.22	2021-08-08
39	甘肃省酒泉市肃北蒙古族自治县鹰嘴山 Yingzui Mountain, Subei Mongolzu Autonomous County, Jiuquan, Gansu	39.75	96.35	2 805	131	1.43	2021-08-07
40	甘肃省酒泉市肃北蒙古族自治县马鬃山 Mazong Mountain, Subei Mongolzu Autonomous County, Jiuquan, Gansu	41.55	96.97	2 036	88	4.06	2021-08-09

$$D = 1 - \sum_i^S p_i^2 \quad (6)$$

$$J = \left(-\sum_i^S p_i \ln p_i \right) / \ln S \quad (7)$$

式中, p_i 为样地内物种*i*的重要值, S 是样地内总物种数。

最后采用双向指示种分析(TWINSPAN)和人为分类相结合的方法进行群落分类, 根据生活型特征进行层片划分, 同层片内特征种利用TWINSPAN确定, 将群落归为不同等级的群丛组(association group)和群丛(association), 根据《中国植被分类系统修订方案》(郭柯等, 2020)及《<中国植被志>研编内容与规范》(王国宏等, 2020)对群丛进行命名, TWINSPAN数量分类在软件R 3.6.2中运用“twinspan”包实现。

依据WorldClim (<http://www.worldclim.org>)提供的分辨率为30"的全球生物气候因子数据集, 利用ArcGIS 10.6软件, 根据样地所在的经纬度提取获得群落的气候特征, 以30年的平均值作为样地的生物气候数据。本研究选取海拔、年降水量、年平均气温及年平均太阳辐射量4个指标反映群落分布的生态特征, 并运用R 3.6.2 “vegan”包对物种多样性指数与气候特征进行冗余分析(RDA)。

2 结果

2.1 蒙古菰的分布与环境特征

根据40个样地的调查数据和现有文献资料(国家标本资源共享平台(<http://www.nsii.org.cn/2017/home.php>); 赵一之, 2012; 张天汉等, 2016; 朱媛君等, 2018), 按中国自然区划(全国农业区划委员会, 1984)对蒙古菰群落分布区进行划分。蒙古菰在我国主要分布于: 1)西北干旱区域的干旱中温带, 包括内蒙古高原东部(内蒙古呼伦贝尔市、乌兰察布市、锡林郭勒盟东部、河北省张家口市等)、内蒙古高原中部(锡林郭勒盟西部、鄂尔多斯市)、河套灌区、内蒙古高原西部(内蒙古阿拉善盟)、准噶尔盆地(新疆吐鲁番市); 2)西北干旱区域的干旱暖温带, 包括河西走廊(甘肃省西北部)、塔里木盆地(新疆巴音郭楞蒙古自治州)、昆仑山-祁连山东部(甘肃省白银市); 3)东部季风区域的暖温带, 包括华北平原区域(河北省唐山市、承德市, 山东省济南市、东营市)和黄土高原(陕西省北部、山西省西北部、宁夏固原市、甘

肃省中部部分地区); 4)东部季风区域的寒温带, 包括云南省迪庆藏族自治州; (5)青藏高原区域的高寒温带, 包括柴达木盆地(青海省海南藏族自治州)、青海省东部区域(青海省海东市)、藏东-川西区(西藏自治区林芝市, 四川省凉山彝族自治州、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州)。除我国外, 在蒙古国也有分布。

根据样地环境数据显示, 蒙古菰生长的环境为温带荒漠及温带干旱草原的石质山坡、沙地、干河床、沟谷等地, 主要发育在典型的沙土及沙壤土上。40个样地的平均海拔为1 416 m, 最高海拔位于甘肃省鹰嘴山(2 805 m), 最低海拔位于陕西省镇川镇(911 m); 平均年降水量为287 mm, 最大值为山西省兴县(475 mm), 最小值为甘肃省瓜州县(67 mm), 年平均平均气温为6.08 °C, 最高值位于宁夏自治区的沙坡头(9.59 °C), 最低值位于内蒙古乌里雅斯太山(1.03 °C)。

2.2 蒙古菰群落特征

2.2.1 群落数量特征及结构特征

蒙古菰种群所处群落盖度差异较大。根据40个样地的统计, 以蒙古菰为优势种的群落共31个, 31个蒙古菰群落内灌木层盖度11%–75%, 平均36%; 草本层盖度1%–73%, 平均32%。群落中平均物种丰富度每100 m²有16种, 最少每100 m²有7种, 最多每100 m²有30种。灌木层平均Shannon-Wiener多样性指数为1.02, 草本层为1.94; 灌木层平均Pielou均匀度指数为0.80, 草本层为0.79; 灌木层平均Simpson多样性指数为0.55, 草本层为0.78。群落中蒙古菰平均高度为43.79 cm, 平均株数为每100 m²有24株。

群落的垂直结构可大致分为3层: 第1层由灌木、小灌木等构成, 高度>40 cm, 主要有蒙古菰、锦鸡儿属(*Caragana*)植物、黄刺玫(*Rosa xanthina*)等; 第2层由低矮灌木或半灌木及多年生草本构成, 高10–40 cm, 主要有丛生隐子草(*Cleistogenes caespitosa*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、黄囊薹草(*Carex korshinskyi*)、细叶石头花(*Gypsophila licentiana*)、草木樨状黄耆(*Astragalus melilotoides*)等; 第3层由半灌木、低矮杂类草构成, 高度<10 cm, 主要有百里香(*Thymus mongolicus*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)等。

2.2.2 物种组成

40个样地共记录149种植物,以蒙古莜为优势种的31个群落中共记录种子植物140种,蕨类植物1种,隶属于35科104属,其中,单子叶植物有3科16属20种,双子叶植物有29科86属117种,裸子植物3种。物种较多的科有禾本科、菊科、苋科、豆科,其次是唇形科、蔷薇科、蒺藜科、石竹科、毛茛科、夹竹桃科、麻黄科、柽柳科、鼠李科、瑞香科、伞形科、百合科、列当科、旋花科,其余17科各含1个物种。含种数较多的属有蒿属(*Artemisia*, 9种)、委陵菜属(*Potentilla*, 4种)、锦鸡儿属(4种)、黄耆属(*Astragalus*, 3种)、猪毛菜属(*Salsola*, 3种)等。

按照存在度等级(宋永昌, 2001)可以将物种划分为5级: $0 < I \leq 20\%$ 、 $20\% < II \leq 40\%$ 、 $40\% < III \leq 60\%$ 、 $60\% < IV \leq 80\%$ 、 $80\% < V \leq 100\%$ (图1A)。31个蒙古莜群落中,除蒙古莜外无V级植物和IV级植物;III级物种有7种,包括黄囊薹草(58.06%)、蒙古韭(*Allium mongolicum*) (58.06%)、狗尾草(*Setaria viridis*) (51.61%)、糙隐子草(48.39%)、冷蒿(*Artemisia frigida*) (45.16%)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*) (45.16%)及兴安胡枝子(*Lespedeza davurica*) (45.16%),皆为群落中常见伴生种;II级植物有9种,包括黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、灌木铁线莲(*Clematis fruticosa*)、牛枝子3种灌木或小半灌木及黄花蒿(*Artemisia annua*)、虫实属(*Corispermum*)、芨芨草(*Neotrinia splendens*)等常见草本植物;I级植物最多,占总物种数的87.94%,多为群落中的偶见种。

2.2.3 生活型及水分生态类型

31个群落中的141种植物可划分为小半乔木、灌木和小/半灌木、单子叶多年生草本、双子叶多年生杂类草、一/二年生草本植物及蕨类植物6类生活型(图1B)。其中,双子叶多年生杂类草最多,主要由菊科、豆科、唇形科、蔷薇科及苋科植物组成,占总种数的42.55%;其次是灌木和小/半灌木,主要有蒙古莜、黑沙蒿、锦鸡儿属植物、胡枝子属植物等,占总种数的27.66%;一/二年生草本占总种数的17.02%,以黄花蒿、狗尾草、蒺藜等植物为主;单子叶多年生草本占总种数的11.35%,以隐子草属、黄囊薹草及短花针茅等植物为主;小半乔木为梭梭(*Haloxylon ammodendron*);蕨类植物仅卷柏(*Selaginella tamariscina*)。

通过查阅相关资料(赵一之, 2012)将31个群落中141种植物细化为超旱生植物、强旱生植物、典型旱生植物、中旱生植物、旱中生植物、中生植物和湿生植物共7种水分生态类型(图1C)。典型旱生植物最多,占35.46%,且多数是群落的优势种和常见种,如蒙古莜、锦鸡儿属植物、隐子草属植物、黑沙蒿、百里香等;其次是典型中生植物,占23.40%,主要有狗尾草、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、黄花蒿等;中旱生和旱中生植物分别占14.18%和12.77%,主要有委陵菜属植物、阿尔泰狗娃花、羊草(*Leymus chinensis*)等;强旱生植物占10.64%,基本为灌木和小半灌木,主要有沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、四合木(*Tetraena mongolica*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)等;超旱生植物有4种,占2.84%,为红砂(*Reaumuria soongarica*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)和合头藜(*Sympegma regelii*);湿生植物1种,为芦苇(*Phragmites australis*)。

2.2.4 物种区系地理成分

通过对物种分布区的分析和相关资料(赵一之, 2012),确定31个蒙古莜群落中物种的植物区系地理成分组成,可将它们归为10类(图1D),分别为世界分布种(5种)、泛温带分布种(2种)、泛北极分布种(9种)、古北极分布种(9种)、东古北极分布种(36种)、东亚分布种(28种)、古地中海分布种(12种)、中亚-亚洲中部分布种(2种)、亚洲中部分布种(37种)及外来入侵种(1种)。

其中,亚洲中部分布种最多,占26.24%,主要有黑沙蒿、柠条(*Caragana korshinskii*)、糙隐子草等;其次为东古北极(亚洲温带)成分,有蒙古莜、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、委陵菜属植物、百里香、羊草、阿尔泰狗娃花等常见植物,占25.53%;东亚成分有绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、黄刺玫、光药大黄花(*Cymbaria mongolica*)、丛生隐子草等,占19.86%;古地中海分布种占8.51%,有芨芨草、驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*)等;古北极分布种和泛北极分布种各占6.38%,古北极成分包括猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)和白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等,泛北极成分包括冷蒿、黄花蒿等;世界分布种为狗尾草及菟丝子等,占3.55%;中亚-亚洲中部分布种包括北芸香(*Haplophyllum dauricum*)和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*) 2种,占

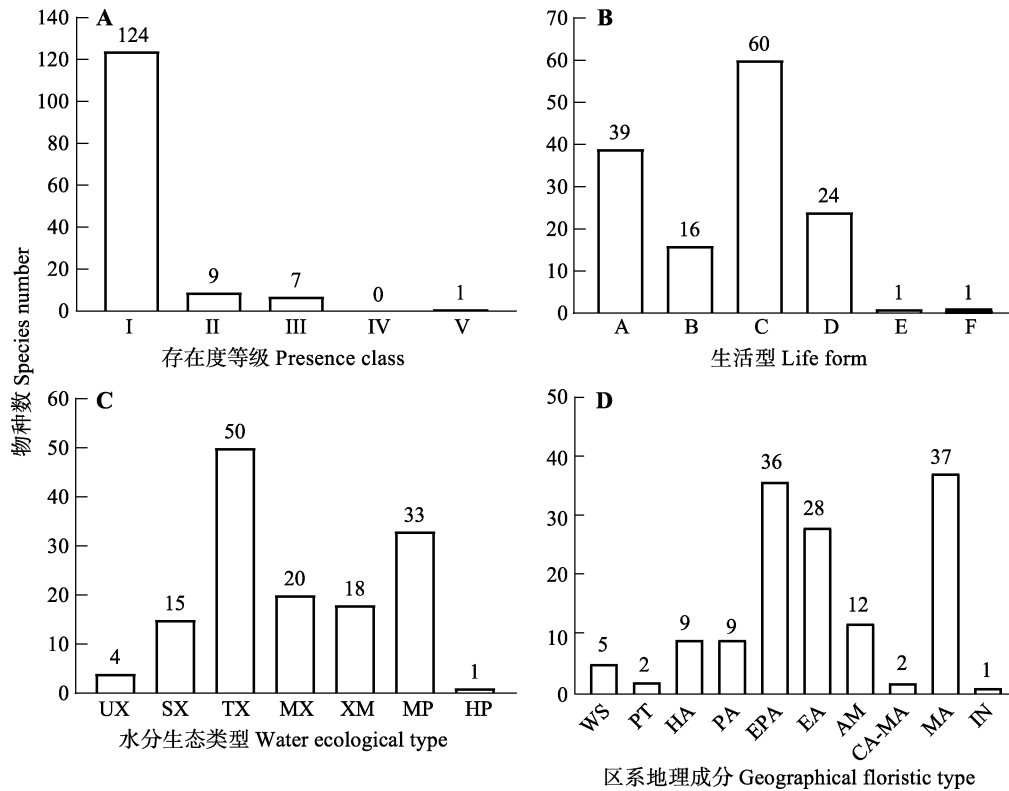


图1 蒙古蕹群落的物种存在度等级分布(A)、生活型(B)、水分生态类型(C)和区系地理成分组成(D)。I, (0–20%]; II, (20%–40%]; III, (40%–60%]; IV, (60%–80%]; V, (80%–100%]。A, 灌木和小/半灌木; B, 单子叶多年生草本; C, 双子叶多年生杂类草; D, 一/二年生草本; E, 蕨类植物; F, 小半乔木。HP, 湿生; MP, 中生; MX, 中旱生; SX, 强旱生; TX, 旱生; XM, 旱中生; UX, 超旱生。AM, 古地中海; CA-MA, 中亚-亚洲中部; EA, 东亚; EPA, 东古北极; HA, 泛北极; IN, 外来入侵种; MA, 亚洲中部; PA, 古北极; PT, 泛温带; WS, 世界。

Fig. 1 Presence (A), life forms (B), water ecological types (C) and geographical floristic types (D) of the species in *Caryopteris mongholica* community. I, (0–20%]; II, (20%–40%]; III, (40%–60%]; IV, (60%–80%]; V, (80%–100%]. A, shrubs and dwarf/semi-shrubs; B, monocotyledonous perennial herbs; C, dicotyledonous perennial herbs; D, annuals and biennials; E, fern; F, dwarf/semi-arbor. HP, hygrophytes; MP, mesophytes; MX, meso-xerophytes; SX, strong xerophytes; TX, typical xerophytes; XM, xero-mesophytes; UX, super-xerophytes. AM, Ancient Mediterranean; CA-MA, Central Asia-Middle Asia; EA, East Asia; EPA, East Palearctic; HA, Holarctic; IN, invasive; MA, Middle Asia; PA, Palearctic; PT, pan-temperate; WS, world spread.

1.42%; 泛温带分布种有蒺藜和藜(*Chenopodium album*) 2种, 占1.42%; 外来入侵种仅续随子(*Euphorbia lathyris*) 1种。

2.3 蒙古蕹群落分类

根据样方调查结果, 计算群落中各植物种的重要值, 根据重要值的大小确定群落内的优势种。依照《中国植被分类系统修订方案》(郭柯等, 2020)及《<中国植被志>研编内容与规范》(王国宏等, 2020)中的植被分类原则和植物群落命名原则对群落进行分类和命名。依据生活型层片及物种优势度, 将40个样地划分为31个以蒙古蕹为优势种的群落及9个其他优势种所组成的群落, 其中31个蒙古蕹群落根据TWINSPAN数量分类和人为分类相结合的方法, 划分为以下3个群丛组: 蒙古蕹-草本群丛组、蒙古蕹+灌木-草本群丛组、蒙古蕹+灌木群丛组, 并进一

步划分为19个群丛类型(表2)。

蒙古蕹-草本群丛组由蒙古蕹和根茎禾草、丛生禾草及杂类草组成, 共包括8个群丛类型。蒙古蕹-黄囊薹草群丛分布最为广泛, 主要见于内蒙古的土默特左旗、清水河县、达拉特旗、阿拉善左旗及河北康保县、陕西大柳塔乡的草原带石质山坡, 地表多砾石。丛生禾草的主要优势种为糙隐子草、短花针茅和丛生隐子草。蒙古蕹-糙隐子草群丛主要分布于内蒙古鄂托克旗蒙西镇、锡林郭勒盟东部, 宁夏沙坡头区域的山地草原。蒙古蕹-短花针茅群丛位于内蒙古阿巴嘎旗的荒漠化草原, 分布于栗钙土或棕钙土上, 是偏干旱的类型。蒙古蕹-丛生隐子草群丛位于草原带的山坡灌丛。杂类草优势种包括白莲蒿(*Artemisia stechmanniana*)、冷蒿、细叶石头花和蒺藜, 蒙古蕹-白莲蒿群丛分布于内蒙古的武川

表2 蒙古莠群落分类
Table 2 Classification of *Caryopteris mongholica* communities

群丛组 Association group	群丛 Association	样地编号 Plot number
蒙古莠-草本 <i>Caryopteris mongholica</i> - herb	蒙古莠-黄囊薹草 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Carex korshinskyi</i>	P1, P3, P5, P19, P22, P23
	蒙古莠-糙隐子草 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Cleistogenes squarrosa</i>	P7, P15, P16, P20
	蒙古莠-短花针茅 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Stipa breviflora</i>	P17
	蒙古莠-丛生隐子草 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Cleistogenes caespitosa</i>	P11, P14
	蒙古莠-白莲蒿 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Artemisia stechmanniana</i>	P2
	蒙古莠-冷蒿 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Artemisia frigida</i>	P4, P8
	蒙古莠-细叶石头花 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Gypsophila licentiana</i>	P6, P24
	蒙古莠-蒺藜 <i>Caryopteris mongholica</i> - <i>Tribulus terrestris</i>	P31
蒙古莠+灌木-草本 <i>Caryopteris mongholica</i> + shrub - herb	蒙古莠+醉鱼草-狗尾草 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Buddleja lindleyana</i> - <i>Setaria viridis</i>	P21
	蒙古莠+黑沙蒿-糙隐子草 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Artemisia ordosica</i> - <i>Cleistogenes squarrosa</i>	P25
	蒙古莠+黑沙蒿-兴安胡枝子 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Artemisia ordosica</i> - <i>Lespedeza daurica</i>	P27
	蒙古莠+黑沙蒿-白羊草 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Artemisia ordosica</i> - <i>Bothriochloa ischaemum</i>	P29
	蒙古莠+黑沙蒿-狗尾草 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Artemisia ordosica</i> - <i>Setaria viridis</i>	P30
	蒙古莠+灌木铁线莲-白羊草 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Clematis fruticosa</i> - <i>Bothriochloa ischaemum</i>	P26
	蒙古莠+灌木铁线莲-菊蒿 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Clematis fruticosa</i> - <i>Tanacetum vulgare</i>	P32
蒙古莠+灌木 <i>Caryopteris mongholica</i> + shrub	蒙古莠+霸王 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Zygophyllum xanthoxylon</i>	P18, P36
	蒙古莠+狭叶锦鸡儿 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Caragana stenophylla</i>	P33
	蒙古莠+荒漠锦鸡儿 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Caragana roborovskiyi</i>	P34
	蒙古莠+灌木亚菊 <i>Caryopteris mongholica</i> + <i>Ajania fruticulosa</i>	P39

县; 蒙古莠-冷蒿群丛位于和林格尔县和鄂托克前旗; 蒙古莠-细叶石头花群丛分布于内蒙古鄂尔多斯市乌兰镇和陕西神木市; 蒙古莠-蒺藜群丛位于山西河曲县, 多位于高原地带中部, 群丛周围坡度较缓, 受到放牧及人类活动的干扰。

蒙古莠+灌木-草本群丛组包括7个群丛。以蒙古莠+黑沙蒿-草本群丛最为常见, 主要位于陕西榆林市、山西兴县和保德县, 分布于毛乌素沙地腹部及其边缘地区的沙地和覆沙土壤上; 蒙古莠+醉鱼草(*Buddleja lindleyana*)-狗尾草群丛位于宁夏贺兰山景区内, 人为干扰较严重; 蒙古莠+灌木铁线莲-草本群丛位于陕西镇川镇及甘肃兰州市, 灌木铁线莲为早生小灌木, 广泛分布于草原和草原化荒漠带的石质山坡。

蒙古莠+灌木群丛组包括4个群丛类型, 主要分布于河西走廊及附近区域的山地荒漠或荒漠带的石质山坡。蒙古莠+霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)群丛位于内蒙古阿拉善右旗和甘肃省张掖市; 蒙古莠+狭叶锦鸡儿群丛(*Caragana roborovskiyi*)丛和蒙古莠+荒漠锦鸡儿群丛分别位于白银市和武威市; 蒙古莠+灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)群丛位于甘肃酒泉市。该群丛类型具有一定程度的荒漠化, 早生/强早生

灌木为群落中的优势种, 常见草本物种为戈壁针茅(*Stipa tianschanica* var. *gobica*)。

2.4 蒙古莠群落物种多样性与地理及气候因子的关系

根据物种多样性指数与地理和气候因子的相关性分析结果, 31个蒙古莠群落灌木层及草本层的物种多样性与地理及气候因子有一定的相关性, 包括纬度、经度、降水和太阳辐射量等因素(表3)。

进一步将地理因子、气候因子及物种多样性指数进行RDA分析, 结果显示, 灌木、草本层物种多样性指数与地理及气候因子在前两轴的解释率分别为51.42%和3.73%, 第一轴占可解释变异的90.57%, 其相关性主要由第一排序轴决定。图2的箭头在第一轴的长度显示出环境因子和各项物种多样性指数的相关性大小: 经度>年降水量>太阳辐射量>纬度>海拔>年平均气温, 年降水量和经度对群落中各项多样性指数影响最大。由表3和图2可知, 年降水量与灌木层的物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数显著负相关, 与草本层的多项物种多样性指数显著正相关。经度主要与草本层物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数及Simpson多样性指数极显著正相关, 与灌木层多项物种多样性指数显著

表3 蒙古莠群落的物种多样性指数与经纬度及气候因子相关性
Table 3 Correlation between species diversity index and environmental, climatic factors of *Caryopteris mongholica* communities

指标 Index	生活型 Life form	相关系数 Correlation coefficient					
		纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	年降水量 Mean annual precipitation	太阳辐射量 Solar radiation	年平均气温 Mean annual air temperature
物种丰富度 Species richness	灌木 Shrub	-0.288	-0.434*	0.181	-0.564**	0.315	0.310
	草本 Herb	0.426*	0.641**	-0.337	0.418*	-0.414*	-0.248
Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	灌木 Shrub	-0.368*	-0.465**	0.218	-0.413*	0.245	0.327
	草本 Herb	0.310	0.587**	-0.281	0.532**	-0.406*	-0.233
Simpson多样性指数 Simpson diversity index	灌木 Shrub	-0.401*	-0.465**	0.218	-0.261	0.179	0.322
	草本 Herb	0.207	0.470**	-0.175	0.525**	-0.373*	-0.239
Pielou均匀度指数 Pielou evenness index	灌木 Shrub	-0.193	-0.170	0.024	0.092	-0.026	0.184
	草本 Herb	0.061	0.238	0.016	0.453**	-0.292	-0.261

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$.

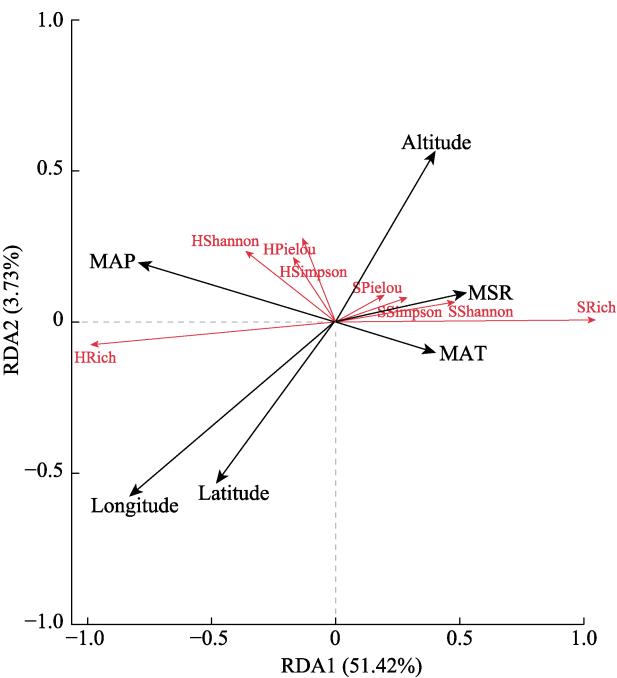


图2 蒙古莠群落物种多样性指数与环境因子的冗余分析(RDA)排序。HPIelou, 草本层Pielou均匀度指数; HRich, 草本层物种丰富度; HShannon, 草本层Shannon-Wiener多样性指数; HSimpson, 草本层Simpson多样性指数; SPIelou, 灌木层Pielou均匀度指数; SRich, 灌木层物种丰富度; SSHannon, 灌木层Shannon-Wiener多样性指数; SSimpson, 灌木层Simpson多样性指数。Altitude, 海拔; Latitude, 纬度; Longitude, 经度; MAP, 年降水量; MAT, 年平均气温; MSR, 太阳辐射量。
Fig. 2 Redundancy analysis (RDA) ordinations between species diversity indices of *Caryopteris mongholica* communities and environmental factors. HPIelou, Pielou evenness index of herb; HRich, species richness of herb layer; HShannon, Shannon-Wiener diversity index of herb layer; HSimpson, Simpson diversity index of herb layer; SPIelou, Pielou evenness index of shrub layer; SRich, species richness of shrub layer; SSHannon, Shannon-Wiener diversity index of shrub layer; SSimpson, Simpson diversity index of shrub layer. MAP, mean annual precipitation; MAT, mean annual air temperature; MSR, solar radiation.

负相关。其次影响较大的为纬度和太阳辐射量, 纬度和灌木层Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数显著负相关; 太阳辐射量和草本层物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数及Simpson多样性指数显著负相关, 但与灌木层的物种多样性指数无显著相关性。同时, 海拔和年平均气温对群落中各项物种多样性指数无显著影响。

3 讨论

本研究中, 31个蒙古莠群落中维管植物科的数目占全国维管植物的10.00%, 属数占3.30%, 而种数仅占0.44% (金孝峰等, 2022), 物种数量偏少是由于蒙古莠种群主要分布于干旱和半干旱区, 区域内降水量较少, 生态环境较为恶劣。

蒙古莠群落盖度差异较大, 基本无乔木物种, 灌木平均盖度略高于草本盖度。菊科、豆科、禾本科和苋科4大科物种数占总物种数的50.35%, 可见此4科植物在干旱区域的重要性, 此研究与申旭芳等(2021)的研究结果大致相同。菊科植物中, 蒿属植物占41.67%, 蒿属植物对生物或非生物胁迫有良好的抗性(李真等, 2011), 是我国干旱、半干旱区的优势物种, 部分研究结果(王长如等, 2007; 史超逸等, 2021)也表明, 黄土高原地区菊科植物中蒿属植物占主导地位。

黄囊薹草、冷蒿、狗尾草等为群落中常见的伴生种, 黄囊薹草、冷蒿多生于荒漠草原带及荒漠带, 而狗尾草的分布则较为广泛。群落中双子叶多年生杂类草占42.55%, 多年生草本在水分条件适宜的环境中具备更高的水分利用效率和更强的适应能力

(王姣月等, 2020); 广幅旱生(包括强旱生、超旱生、典型旱生、中旱生)植物占63.12%, 反映了研究区域内干旱生态环境的严酷。物种的区系地理成分中, 东古北极(亚洲温带)成分居多, 与李登武(2008)对黄土高原区域种子植物区系的研究结果大致相同, 说明研究区域内种子植物地理成分符合该区所处地理位置为温带的特征, 广布的温带性质物种更能适应蒙古莠种群分布区的干旱、半干旱的环境, 是植物长期适应进化的结果。

对蒙古莠群落进行数量分类研究有助于了解其在空间、时间上的变化。TWINSpan数量分类是以二歧式分割法同时进行样方和物种分类, 以此来划分植物群落类型, 其根据“指示种”将群落与物种组成依次划分为各个等级的生态类群, 具有较好的分类效果(刘博等, 2019)。本研究中, 蒙古莠既可成为群落中的优势种, 也能够成为狭叶锦鸡儿、灌木亚菊等旱生灌木群落的亚优势种或者伴生种。物种在群落中的功能或者角色受到生境地生物和非生物因素的综合影响。利用TWINSpan将研究区内的31个蒙古莠群落划分3个群丛组, 19个群丛类型。其中蒙古莠-多年生草本群丛组包含了19个样地, 占据了蒙古莠群落样地数的61.29%, 其中草本植物多为多年生旱生禾草, 如黄囊薹草、糙隐子草、短花针茅、丛生隐子草等, 多为荒漠化草原、沙质草原的常见物种。蒙古莠+灌木-草本群丛组主要位于陕西、山西等地, 黑沙蒿、狗尾草是群落中常见的优势种, 此区域受水分胁迫较小, 高艳等(2016)的研究结果也表明, 狗尾草适宜在轻度水分胁迫条件下生长。蒙古莠+灌木群丛组共包含5个样地, 5个区域平均年降水量195 mm, 受到严重的干旱影响, 因此群落中常见的灌木植物多为超旱生或强旱生灌木, 灌木植物能以其较深的根系来固定土壤, 从而维持群落环境的稳定性(司建华等, 2011), 这与干旱、半干旱区域日照充足、降水较少、蒸发强烈、降水蒸发比例严重失衡的自然环境极其相关。

群落的物种多样性不仅直接反映群落的结构特征, 也能指示环境状况。我国西北干旱地区自然环境条件恶劣, 因此样地内生物多样性指数普遍较低, 但是调查区域地理跨度较大, 各样地的物种多样性特征存在空间分异(秦洁等, 2021), 群落生境的温度、水分存在较大的差异(唐丽丽等, 2019), 自东向西, 随降水量的逐渐减少, 旱生灌木物种增多, 灌

木层的物种多样性增加, 草本层的物种多样性减小。

参考文献

- Bai XQ, Liu C, Ji RX, Shen C, Wang XP (2018). Effects of origin climate on light response characteristics of *Caryopteris mongholica*. *Acta Ecologica Sinica*, 38, 8425-8433. [白雪卡, 刘超, 纪若璇, 沈超, 王襄平 (2018). 种源地气候对蒙古莠光响应特性的影响. *生态学报*, 38, 8425-8433.]
- Chen LZ, Sun H, Guo K (2014). *Floristic and Vegetation Geography of China*. Science Press, Beijing. [陈灵芝, 孙航, 郭柯 (2014). 中国植物区系与植被地理. 科学出版社, 北京.]
- Fang JY, Wang XP, Shen ZH, Tang ZY, He JS, Yu D, Jiang Y, Wang ZH, Zheng CY, Zhu JL, Guo ZD (2009). Methods and protocols for plant community inventory. *Biodiversity Science*, 17, 533-548. [方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪 (2009). 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. *生物多样性*, 17, 533-548.]
- Gao CG, Qiao XG, Wang Z, Lu SZ, Hou DJ, Liu CC, Zhao LQ, Guo K (2018). Distribution, community characteristics and classification of *Thymus mongolicus* steppe in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 42, 971-976. [高趁光, 乔鲜果, 王孜, 陆帅志, 侯东杰, 刘长成, 赵利清, 郭柯 (2018). 中国百里香草原的分布、群落特征和分类. *植物生态学报*, 42, 971-976.]
- Gao Y, Du F, Wang YN, Wang Y, Li WW, Shi HJ (2016). Interspecific competition of six succession series species with different soil moisture treatments in loess hilly region. *Research of Soil and Water Conservation*, 23(6), 192-197. [高艳, 杜峰, 王雁南, 王月, 李伟伟, 时慧君 (2016). 土壤水分对黄土丘陵区演替序列种种间竞争的影响. *水土保持研究*, 23(6), 192-197.]
- Group TAP (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1-20.
- Guo K, Fang JY, Wang GH, Tang ZY, Xie ZQ, Shen ZH, Wang RQ, Qiang S, Liang CZ, Da LJ, Yu D (2020). A revised scheme of vegetation classification system of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 111-127. [郭柯, 方精云, 王国宏, 唐志尧, 谢宗强, 沈泽昊, 王仁卿, 强胜, 梁存柱, 达良俊, 于丹 (2020). 中国植被分类系统修订方案. *植物生态学报*, 44, 111-127.]
- He YM (2018). *Studies on Ecological Adaptation and Reproductive Strategy of *Caryopteris mongolica**. PhD dissertation, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot. [贺一鸣 (2018). 蒙古莠种群生态适应及繁殖更新策略. 博士学位论文, 内蒙古农业大学, 呼和浩特.]
- Ji RX, Yu X, Chang Y, Shen C, Bai XQ, Xia XL, Yin WL, Liu C (2020). Geographical provenance variation of leaf anatomical structure of *Caryopteris mongholica* and its

- significance in response to environmental changes. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 277-286. [纪若璇, 于笑, 常远, 沈超, 白雪卡, 夏新莉, 尹伟伦, 刘超 (2020). 蒙古菰叶片解剖结构的地理种源变异及其对环境变化响应的意义. *植物生态学报*, 44, 277-286.]
- Jin XF, Lu YF, Ding BY, Li GY, Chen ZH, Zhang FG (2022). Species cataloging of the seed plants in Zhejiang, East China. *Biodiversity Science*, 30, 31-39. [金孝锋, 鲁益飞, 丁炳扬, 李根有, 陈征海, 张方钢 (2022). 浙江种子植物物种编目. *生物多样性*, 30, 31-39.]
- Klanderud K, Vandvik V, Goldberg D (2015). The importance of biotic vs. abiotic drivers of local plant community composition along regional bioclimatic gradients. *PLoS ONE*, 10, e0130205. DOI: 10.1371/journal.pone.0130205.
- Li DW (2008). *The Floristic Geography of Vascular Plant in the Loess Plateau of Northern Shaanxi Province*. PhD dissertation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi. [李登武 (2008). 陕北黄土高原维管植物区系地理研究. 博士学位论文, 西北农林科技大学, 陕西杨凌.]
- Li XR, Yuan Q (2016). Study on rapid propagation technology of tissue culture of *Caryopteris mongolica* Bunge. *Modern Agricultural Science and Technology*, (21), 116-117. [李相儒, 袁勤 (2016). 蒙古菰组培快繁技术研究. *现代农业科技*, (21), 116-117.]
- Li YJ, Li XR, Yang XL (1991). A study on the character of ecology and physiology of aromatic plant—*Caryopteris mongolica* Bunge. *Journal of Desert Research*, 11(3), 50-56. [李玉俊, 李新荣, 杨喜林 (1991). 芳香植物——蒙古菰的生态生理特性及其栽培技术. *中国沙漠*, 11(3), 50-56.]
- Li Z, Chen SM, Chen FD, Wang HB, Tang FP, Liu ZL, Fang WM (2011). Distribution of 45S rDNA sequence on chromosomes of five species in *Artemisia*. *Acta Horticulturae Sinica*, 38, 353-360. [李真, 陈素梅, 陈发棣, 王海滨, 汤访评, 刘兆磊, 房伟民 (2011). 45S rDNA在蒿属5种植物染色体中的分布. *园艺学报*, 38, 353-360.]
- Liu B, Pan CD, Li GH, Yu GB, Zhang F, Guo K, Zou ZY (2019). Quantitative classification and sequencing of communities in pyrogenic succession of Kanas taiga. *Ecology and Environmental Sciences*, 28, 1961-1973. [刘博, 潘存德, 李贵华, 余戈壁, 张帆, 郭珂, 邹卓颖 (2019). 喀纳斯泰加林火成演替群落数量分类与排序. *生态环境学报*, 28, 1961-1973.]
- Liu LX, Zhang CY, Wang YW, Dong MF, Shang FD, Li P (2018). The complete chloroplast genome of *Caryopteris mongolica* and phylogenetic implications in Lamiaceae. *Conservation Genetics Resources*, 10, 281-285.
- National Committee for Agricultural Regionalization (1984). *Outline of Physical Regionalization in China*. Science Press, Beijing. [全国农业区划委员会 (1984). 中国自然区划概要. 科学出版社, 北京.]
- Qiao XG, Guo K, Zhao LQ, Liu CC, Zhao HW, Hou DJ, Gao CG (2017). Distribution, community characteristics and classification of *Stipa tianschanica* var. *klemenzii* steppe in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 41, 231-237. [乔鲜果, 郭柯, 赵利清, 刘长成, 赵海卫, 侯东杰, 高趁光 (2017). 中国石生针茅草原的分布、群落特征和分类. *植物生态学报*, 41, 231-237.]
- Qin J, Si JH, Jia B, Zhao CY, Li D, Luo H, Ren LX (2021). Study on the relationship between vegetation community characteristics and soil moisture in Badain Jaran Desert. *Arid Zone Research*, 38, 207-222. [秦洁, 司建华, 贾冰, 赵春彦, 李端, 罗欢, 任立新 (2021). 巴丹吉林沙漠植被群落特征与土壤水分关系研究. *干旱区研究*, 38, 207-222.]
- Shen C, Ji RX, Yu X, Bai XQ, Chang Y, Liu C (2019). Changes of non-structural carbohydrates in *Caryopteris mongolica* seedlings during the process of drought-induced mortality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30, 2541-2548. [沈超, 纪若璇, 于笑, 白雪卡, 常远, 刘超 (2019). 蒙古菰幼苗干旱致死过程中非结构性碳水化合物化合物的变化. *应用生态学报*, 30, 2541-2548.]
- Shen XF, Kang YX, Li H, Wu CH, Zhang LL (2021). Interspecific association of dominant herb species in ridge vegetation community in the loess area. *Journal of Northwest Forestry University*, 36(2), 38-45. [申旭芳, 康永祥, 李华, 巫翠华, 张利利 (2021). 黄土区土坎植被群落草本优势种的种间关联性研究. *西北林学院学报*, 36(2), 38-45.]
- Shi CY, Zhu YJ, Sa L, Wang DY, Yang XH (2021). Potential geographical distribution and the dominant climatic factors of three common *Artemisia* species in China. *Chinese Journal of Ecology*, 40, 512-524. [史超逸, 朱媛君, 萨拉, 王丹雨, 杨晓晖 (2021). 中国三种常见蒿属植物潜在地理分布及其主导气候因子. *生态学杂志*, 40, 512-524.]
- Si JH, Feng Q, Chang ZQ, Wang YB, Tian YZ, Xie ZC, Gao LP (2011). Community structure and species diversity of desert plants in the wind-sand area of Yabulai. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 31, 602-608. [司建华, 冯起, 常宗强, 王耀斌, 田永祯, 谢宗才, 高立平 (2011). 阿拉善雅布赖风沙区荒漠植物群落结构和物种多样性研究. *西北植物学报*, 31, 602-608.]
- Song YC (2001). *Vegetation Ecology*. East China Normal University Press, Shanghai. [宋永昌 (2001). 植被生态学. 华东师范大学出版社, 上海.]
- Tang LL, Yang T, Liu HY, Kang MY, Wang RQ, Zhang F, Gao XM, Yue M, Zhang M, Zheng PF, Shi FC (2019). Distribution and species diversity patterns of *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrublands in north China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 43, 825-833. [唐丽丽, 杨彤, 刘鸿雁, 康慕谊, 王仁卿, 张峰, 高贤明, 岳明, 张梅, 郑璞帆, 石福臣 (2019). 华北地区荆条灌丛分布

- 及物种多样性空间分异规律. 植物生态学报, 43, 825-833.]
- The Editorial Committee of Flora of China (1982–2004). *Flora of China*. Science Press, Beijing. [中国植物志编辑委员会 (1982–2004). 中国植物志. 科学出版社, 北京.]
- Wang CR, Li HS, Liang ZS (2007). Preliminary study on the Compositae flora in the Loess Plateau. *Journal of Northwest Forestry University*, 22(3), 32-37. [王长如, 李红生, 梁宗锁 (2007). 黄土高原菊科植物区系初步研究. 西北林学院学报, 22(3), 32-37.]
- Wang GH, Fang JY, Guo K, Xie ZQ, Tang ZY, Shen ZH, Wang RQ, Wang XP, Wang DL, Qiang S, Yu D, Peng SL, Da LY, Liu Q, Liang CZ (2020). Contents and protocols for the classification and description of Vegetation Formations, Alliances and Associations of vegetation of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 128-178. [王国宏, 方精云, 郭柯, 谢宗强, 唐志尧, 沈泽昊, 王仁卿, 王襄平, 王德利, 强胜, 于丹, 彭少麟, 达良俊, 刘庆, 梁存柱 (2020). 《中国植被志》研编内容与规范. 植物生态学报, 44, 128-178.]
- Wang JY, Qin SG, Zhang YQ (2020). Spatial-temporal patterns of vegetation water use efficiency in the Mu Us Desert. *Journal of Desert Research*, 40(5), 120-129. [王皎月, 秦树高, 张宇清 (2020). 毛乌素沙地植被水分利用效率的时空格局. 中国沙漠, 40(5), 120-129.]
- Wang L, Li BH, Zhao PX, Han P (2022). Establishment and optimization of tissue culture and rapid propagation system in *Caryopteris mongholica*. *Molecular Plant Breeding*, 20, 4745-4754. [王雷, 李百和, 赵培霞, 韩鹏 (2022). 蒙古莢(*Caryopteris mongholica*)组培快繁体系的建立和优化. 分子植物育种, 20, 4745-4754.]
- Wang XJ, Li AP, Ning MS, Zhang JG (2006). Study on the biological and ecological characteristics and economic value of the ecological shrub of *Caryopteris mongolica*. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 20, 191-194. [王晓江, 李爱平, 宁明世, 张纪刚 (2006). 生态灌木蒙古莢的生物生态学特性及其经济价值评价. 干旱区资源与环境, 20, 191-194.]
- Wang YN (2018). *The Reproductive Characteristics and Spatial Pattern of *Caryopteris mongholica* Bunge with Different Colors*. Master degree dissertation, Northwest Normal University, Lanzhou. [王焱宁 (2018). 2种花色蒙古莢繁育特性及空间分布格局. 硕士学位论文, 西北师范大学, 兰州.]
- Xu MH, Zhang SX, Wen J, Yang XY (2019). Multiscale spatial patterns of species diversity and biomass together with their correlations along geographical gradients in subalpine meadows. *PLoS ONE*, 14, e0211560. DOI: 10.1371/journal.pone.0211560.
- Zhang TH, Wang JM, Xia YG, Zheng CL, Li JW, Jia XH, Wu B (2016). Composition of seed plant species and flora features in different areas of the Kumtag Desert of China. *Plant Science Journal*, 34, 78-88. [张天汉, 王健铭, 夏延国, 郑昌龙, 李景文, 贾晓红, 吴波 (2016). 库姆塔格沙漠不同区域种子植物物种组成与区系特征研究. 植物科学学报, 34, 78-88.]
- Zhang YH, Cheng DL (2001). Studies on the chemical constituents of *Caryopteris mongholica*. *Journal of Lanzhou University*, 37(5), 69-71. [张永红, 程东亮 (2001). 蒙古莢的化学成分研究. 兰州大学学报, 37(5), 69-71.]
- Zhao YZ (2012). *Classification and Its Floristic Ecological Geographic Distribution of Vascular Plants in Inner Mongolia*. Inner Mongolia University Press, Hohhot. [赵一之 (2012). 内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布. 内蒙古大学出版社, 呼和浩特.]
- Zhu YJ, Qiao XG, Guo K, Xu R, Zhao LQ (2018). Distribution, community characteristics and classification of *Stipa tianschanica* var. *gobica* steppe in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 42, 785-792. [朱媛君, 乔鲜果, 郭柯, 旭日, 赵利清 (2018). 中国戈壁针茅草原的分布、群落特征和分类. 植物生态学报, 42, 785-792.]

责任编辑: 梁存柱 责任编辑: 乔鲜果

附录 蒙古莢植物群落样方数据集

Supplement A plot-based dataset of *Caryopteris mongholica* communities

<https://www.plant-ecology.com/fileup/1005-264X/PDF/cjpe.2022.0239-D1.xlsx>