



内蒙古西鄂尔多斯地区半日花荒漠群落特征及其分类

李紫晶 莎娜 史亚博 佟旭泽 董雷 张小青 孙 蓓 梁存柱*

内蒙古大学生态与环境学院, 蒙古高原生态学与资源利用教育部重点实验室, 呼和浩特 010021

摘 要 半日花(*Helianthemum songaricum*)为亚洲中部特有种和古地中海残遗植物, 其群落为内蒙古西鄂尔多斯地区的特有荒漠植物群落。该文以2016–2017年野外调查数据为基础, 结合相关文献资料, 对半日花荒漠群落的分布、群落特征及其分类进行了总结。结果表明: (1)半日花荒漠群落集中分布于黄河以东内蒙古西鄂尔多斯的阿尔巴斯山麓南北部、千里沟; 少量分布于黄河以西贺兰山北端内蒙古乌海市与阿拉善盟交界处及贺兰山最南端的内蒙古阿拉善盟与宁夏交界处明长城沿线的石质残丘。(2)根据样地调查, 半日花荒漠群落记录到种子植物58种, 隶属于17科39属, 其中灌木、半灌木18种, 多年生草本27种, 一年生草本植物13种; 水分生态类型中强旱生植物(15种)和旱生植物(29种)占绝对优势; 区系地理成分以中亚东部成分为主, 其次为古地中海成分和戈壁成分。(3)根据生活型和优势度, 半日花荒漠群落可分为半日花-草本荒漠群丛组、半日花-灌木-草本荒漠群丛组和半日花-半灌木荒漠群丛组, 进一步分为10个群丛。

关键词 半日花; 荒漠; 群落特征; 生活型; 群落分类

李紫晶, 莎娜, 史亚博, 佟旭泽, 董雷, 张小青, 孙蓓, 梁存柱 (2019). 内蒙古西鄂尔多斯地区半日花荒漠群落特征及其分类. 植物生态学报, 43, 806–816. DOI: 10.17521/cjpe.2018.0215

Classification and characteristics of *Helianthemum songaricum* communities in western Erdos region, Nei Mongol, China

LI Zi-Jing, SHA Na, SHI Ya-Bo, TONG Xu-Ze, DONG Lei, ZHANG Xiao-Qing, SUN Qiang, and LIANG Cun-Zhu*

College of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Key Laboratory of Ecology and Resource Utilization of the Mongolian Plateau, Ministry of Education, Hohhot 010021, China

Abstract

Aims *Helianthemum songaricum* is an ancient Mediterranean remnant plant species endemic to central Asia, and it is a dominant species of a unique desert community in west Erdos, Nei Mongol, China. We studied the distributions, classification and characteristics of the *H. songaricum* communities.

Methods We collected species composition for 18 plots from literatures and field investigation during the growing seasons of 2016 and 2017. We then applied TWINSpan to classify community types.

Important findings (1) The *H. songaricum* communities were primarily distributed in the north and south of the Arbas Mountains and Qianli Ravine in west Erdos, with some in the southern and northern Helan Mountain. (2) In total, 58 seed plant species belonging to 39 genera from 17 families were recorded, including 18 shrub and subshrub, 27 perennial and 13 annual herbaceous species. Super-xerophytes and xerophytes were the two major ecological types, accounting for 26% and 50%, respectively. The Central Asia-Eastern Asia was the major floristic elements, followed by the Palaeo-Mediterranean and the Gobi elements. (3) Based on the life forms and species composition, the *H. songaricum* communities was divided into three major association groups, i.e., *H. songaricum*-herbs desert group, *H. songaricum*-shrubs-herbs desert group and *H. songaricum*-subshrub desert group, which were further divided into 10 associations.

Key words *Helianthemum songaricum*; desert; community characteristic; life form; community classification

Li ZJ, Sha N, Shi YB, Tong XZ, Dong L, Zhang XQ, Sun Q, Liang CZ (2019). Classification and characteristics of *Helianthemum songaricum* communities in western Erdos region, Nei Mongol, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 43, 806–816. DOI: 10.17521/cjpe.2018.0215

收稿日期Received: 2018-08-29 接受日期Accepted: 2018-10-31

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2011FY110300和2015FY210200)。Supported by the National Basic Work of Science and Technology of China (2011FY110300 and 2015FY210200).

* 通信作者Corresponding author (bilcz@imu.edu.cn)

超旱生小灌木半日花(*Helianthemum songaricum*)是我国唯一一种半日花科植物, 属古老残遗种(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1990), 已列入中国保护植物红皮书(Fu, 1992)。就物种而言, 半日花物种的分布区很小, 除中亚有少量分布外, 在我国仅间断分布于新疆天山南麓和内蒙古西鄂尔多斯地区。虽然《中国植物志》(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1990)等一些文献记录甘肃河西走廊有野生半日花, 但我们多年调查均未发现, 目前也尚无发现该物种的文献报道(赵一之等, 2000)。就群落而言, 半日花群落分布区更小, 集中分布在内蒙古西鄂尔多斯的阿尔巴斯山山麓及其邻近地区石质低山丘陵, 新疆及中亚地区未见形成群落的报道, 仅作为草原群落的亚优势种或伴生种存在(吴征镒, 1980; 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队, 1985)。2017年发现在贺兰山最南端的内蒙古阿拉善盟与宁夏交界处明长城附近有小面积的群落分布, 为该物种及群落的新分布区。因此, 就群落而言, 目前可看作是内蒙古西鄂尔多斯荒漠的特有群落。一些学者认为鄂尔多斯地区半日花与新疆地区半日花的花粉形态(莫日根等, 1997)、生理生态特征(曹瑞等, 2001)及分布区等方面存在显著差异, 将其独立为一新种“鄂尔多斯半日花(*Helianthemum ordosicum* Y. Z. Zhao, Zong Y. Zhu & R. Cao)”(赵一之等, 2000)。

半日花科植物约170种(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1990), 主要分布在地中海地区。我国的半日花被认为是第三纪古地中海植物区系的残遗种(曹瑞等, 2001)。半日花作为珍稀濒危物种及我国半日花科仅有的物种, 受到了学者的广泛关注。近年来在水分利用(陈婕等, 2016)、蒸腾速率(高永等, 2014)、种群的遗传结构(魏磊等, 2014; 苏志豪等, 2017)、种群动态(李清河等, 2009, 2012; 陈育等, 2014)及生物多样性保护(Wang, 2005)等方面有较多的研究报道。在其群落特征及群落分类方面, 也有一些研究工作, 如李清河等(2012)运用双项轨迹方差法(TTLV)对西鄂尔多斯自然保护区的半日花群落进行分类, 将半日花群落分为6个群丛; 陈育(2014)运用TWINSpan数量分类方法将西鄂尔多斯地区半日花群落分为2个群丛组8个群丛。但上述研究均未发表样方数据, 研究区也相对较小, 未包括该群落目前发现的全部分布区, 并且缺乏统一的群丛划分标准。西鄂尔多斯作为半日花群落最集中的

分布区, 对其深入研究可为该物种的系统演化、生态适应及区域环境演变研究提供参考。

翔实的植物群落数据是群落分类、群落动态及生物多样性保护研究的基础, 也是植被专著编纂的基础数据(张维康等, 2013), 半日花群落的基础研究目前仍较薄弱。本研究在2016–2017年对西鄂尔多斯地区、贺兰山南端阿拉善与宁夏交界处半日花群落野外调查的18个样地数据基础上, 依照新的《中国植被志》编写规范及群落划分规则, 运用TWINSpan数量分类方法, 对西鄂尔多斯地区的半日花群落组成、结构及群落特征进行了系统的描述, 并对群落分类进行了全面的总结, 拟解决半日花群丛划分标准不规范及样方数据缺乏等问题, 以期为相关研究者及该地区生物多样性保护提供参考, 并为《中国植被志》的编研提供基础数据和样方资料。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古鄂尔多斯市鄂托克旗棋盘井镇、乌海市东部(地理位置39.28°–39.90° N, 106.93°–107.08° E, 海拔1 300–1 600 m)及贺兰山南端的内蒙古阿拉善盟与宁夏交界处(地理位置38.22° N, 105.82° E, 海拔1 350–1 450 m)。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6.17–8.56 °C, 最暖季平均气温和最冷季平均气温分别为21.00 °C和–6.84 °C; 年降水量160–202 mm, 气候干燥, 降水主要集中在7、8月份。土壤类型主要为棕钙土和灰漠土。

1.2 样地及样方调查

植被调查时间为2016年9–10月及2017年8月, 在研究区内选择18处有代表性的半日花群落进行调查, 调查点分别位于鄂尔多斯棋盘井镇、蒙西镇、千里山镇、贺兰山北段阿拉善左旗乌斯太镇及贺兰山南端的内蒙古阿拉善盟与宁夏交界处明长城两侧(图1)。

植被调查以沿途植被类型定位记录和典型地段样地调查相结合的方法进行, 其中西鄂尔多斯地区12个样点, 阿拉善与宁夏交界处6个样点。每个样点调查的样方面积为100 m² (10 m × 10 m, 并划分为4个5 m × 5 m的样格), 记录每个5 m × 5 m样格内所有灌木层植物的种名、高度、冠幅。在每个5 m × 5 m

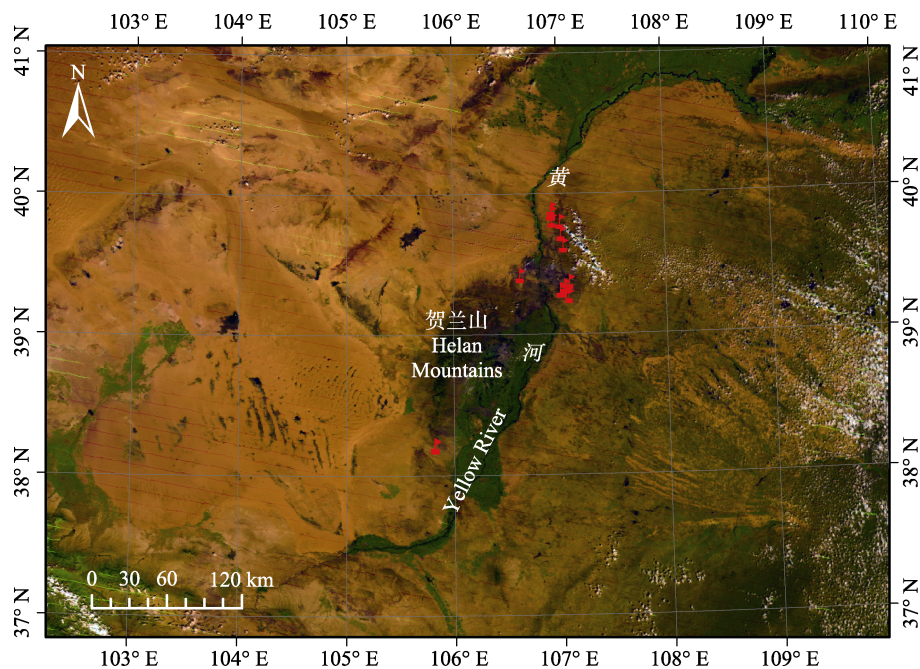


图1 半日花群落研究区样点分布图。

Fig. 1 Location of the studied sites of *Helianthemum songaricum* communities.

的样格内, 各选1个1 m × 1 m的小样方进行草本层调查, 记录所有维管植物的种名、高度、多度、丛幅; 在整个10 m × 10 m样方内搜寻在4个1 m × 1 m小样方中未出现的物种, 记录种名。样方编号为S1–S18。同时记录样点的环境因子, 利用GPS测定样点的地理坐标和海拔, 记录坡度、坡向、坡位、地形等信息。

气象数据从WorldClim (<http://www.worldclim.org>) 下载获得, 该数据基于1950–2000年50年间的全球气象站监测记录月平均值插值得到, 分辨率为30", 将该数据用ArcGIS 10.2提取至各采样点, 得到每个样点的年平均气温、年降水量及最暖季和最冷季平均气温。

1.3 数据处理

通过查阅相关资料并结合野外观察确定各个物种的生活型、水分生态类型和区系地理成分; 计算物种分盖度、灌木层(草本层)重要值(IV)公式如下:

$$\text{重要值(IV)} = (\text{相对盖度} + \text{相对多度} + \text{相对高度})/3; \quad (1)$$

$$\text{相对盖度} = (\text{样方内某种植物的盖度} / \text{所有种的盖度之和}) \times 100; \quad (2)$$

$$\text{相对多度} = (\text{样方内某种植物的株数} / \text{所有种的株数之和}) \times 100; \quad (3)$$

$$\text{相对高度} = (\text{样方内某种植物的高度} / \text{所有种的高度之和}) \times 100; \quad (4)$$

物种丰富度(R)是在10 m × 10 m样方(灌木)或4个1 m × 1 m小样方(草本)中发现的植物物种的总数。

1.4 群落分类方法

群落分类方法采用数量分类和人为分类相结合的方法。群落层片类型根据生活型特征进行划分, 同层片内特征种利用双向指示种分析方法(TWINSPAN)将群落归为不同等级的群丛组(association group)和群丛(association), 其结果进行专家评估, 确定最终群落分类方案。TWINSPAN数量分类在软件R 3.5.1中运用twinspanR程序包实现。

半日花群系(Alliance)是以半日花为优势种或共优势种的荒漠群落。根据群落优势层片和次优势层片的生活型特征将调查的半日花群落进一步划分群丛组(association group); 将群落内所有层片特征种相同、生境相对一致的群落划分为群丛(association)。群丛组的命名是优势种(半日花)-灌木-半灌木-草本; 群丛的命名是在群丛组的基础上, 将不同层的优势层片生活型换成相应的物种, 以“-” (连接号)连接, 如果某层有一个以上的优势种, 则在列举它们时用“+”连接。^①

① 此群落命名方案参考即将出台的《中国植被志》命名方案。

2 结果和分析

2.1 半日花荒漠群落的特征

2.1.1 半日花群落结构特征

西鄂尔多斯地区半日花群落垂直结构可分为以下几种。优势层片为小灌木层片,以半日花为优势种;在部分群落中有灌木层片,如四合木(*Tetraena mongolica*)、霸王(*Sarcozygium xanthoxylon*)等;半灌木层片主要有猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、蓍状亚菊(*Ajania achilleoides*)和刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)等物种。多年生禾草层片有短花针茅(*Stipa breviflora*)、石生针茅(*S. tianschanica* var. *klemenizii*)、沙生针茅(*S. glareosa*)和中亚细柄茅(*Ptilagrostis pelliotii*)等;杂类草有草苞菊(*Tugarinovia mongolica*)、棉毛鸦葱(*Scorzonera capito*)等;还有九顶草(*Enneapogon borealis*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等一年生草本植物层片。

2.1.2 物种组成

此次调查共记录到58种种子植物,分属17科39属(表1)。其中灌木、半灌木18种,占调查物种数的31.03%,多年生草本和一、二年生草本分别为27种和13种,占调查物种数的46.55%和22.41%。禾本科为第一大科(9属13种),主要有短花针茅、石生针茅、沙生针茅、戈壁针茅(*S. tianschanica* var. *gobica*)、中亚细柄茅等多年生丛生禾草,以及狗尾草、九顶草、三芒草(*Aristida adscensionis*)、锋芒草(*Tragus mongolorum*)、小画眉草(*Eragrostis minor*)等一年生草本。第二大科为菊科(7属9种),除蓍状亚菊和星毛短舌菊(*Brachanthemum pulvinatum*)外均为草本植物,主要包括草苞菊、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)等多年生草本植物及栉叶蒿(*Neopallasia pectinata*)、黄蒿(*Artemisia annua*)等一、二年生草本植物。藜科(4属6种)为第三大科,除松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)

表1 半日花群落物种组成

Table 1 Species composition of *Helianthemum songaricum* community

科 Family	属 Genera	种 Species	生活型 Life form	生长型 Growth form	水分生态型 Ecological type of water	区系成分 Floristic geographic distribution
禾本科 Gramineae	针茅属 <i>Stipa</i>	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	H	C	X	1
		石生针茅 <i>S. tianschanica</i> var. <i>klemenizii</i>	H	C	X	9
		戈壁针茅 <i>S. tianschanica</i> var. <i>gobica</i>	H	C	X	1
		沙生针茅 <i>S. glareosa</i>	H	C	X	1
	隐子草属 <i>Cleistogenes</i>	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	H	C	M	8
		无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	H	C	X	4
	冰草属 <i>Agropyron</i>	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	H	C	X	6
	细柄茅属 <i>Ptilagrostis</i>	中亚细柄茅 <i>Ptilagrostis pelliotii</i>	H	C	SX	1
	狗尾草属 <i>Setaria</i>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	T	D	M	10
	九顶草属 <i>Enneapogon</i>	九顶草 <i>Enneapogon borealis</i>	T	D	M	1
	三芒草属 <i>Aristida</i>	三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	T	D	XM	Undetermined
	锋芒草属 <i>Tragus</i>	锋芒草 <i>Tragus mongolorum</i>	T	D	X	Undetermined
	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	小画眉草 <i>Eragrostis minor</i>	T	D	M	Undetermined
菊科 Compositae	亚菊属 <i>Ajania</i>	蓍状亚菊 <i>Ajania achilleoides</i>	C	B	SX	4
		细裂亚菊 <i>A. przewalskii</i>	H	C	X	9
	短舌菊属 <i>Brachanthemum</i>	星毛短舌菊 <i>Brachanthemum pulvinatum</i>	C	B	SX	3
	栉叶蒿属 <i>Neopallasia</i>	栉叶蒿 <i>Neopallasia pectinata</i>	T	D	XM	1
	草苞菊属 <i>Tugarinovia</i>	草苞菊 <i>Tugarinovia mongolica</i>	H	C	SX	11
	蒿属 <i>Artemisia</i>	黄蒿 <i>Artemisia annua</i>	T	D	M	13
	鸦葱属 <i>Scorzonera</i>	桃叶鸦葱 <i>Scorzonera sinensis</i>	H	C	MX	15
		棉毛鸦葱 <i>S. capito</i>	H	C	X	Undetermined
	紫菀属 <i>Aster</i>	阿尔泰狗娃花 <i>Aster altaicus</i>	H	C	MX	6

表1 (续) Table 1 (continued)

科 Family	属 Genera	种 Species	生活型 Life form	生长型 Growth form	水分生态型 Ecological type of water	区系成分 Floristic geographic distribution
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	松叶猪毛菜 <i>Salsola laricifolia</i>	C	A	SX	3
		珍珠猪毛菜 <i>S. passerina</i>	C	B	SX	3
		猪毛菜 <i>S. collina</i>	T	D	XM	14
	藜属 <i>Chenopodium</i>	藜 <i>Chenopodium album</i>	T	D	M	10
	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	T	D	X	Undetermined
	盐生草属 <i>Halogeton</i>	盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	T	D	SX	2
	锦鸡儿属 <i>Caragana</i>	荒漠锦鸡儿 <i>Caragana roborovskiyi</i>	P	A	SX	1
豆科 Leguminosae		狭叶锦鸡儿 <i>C. stenophylla</i>	P	A	X	1
		藏锦鸡儿 <i>C. tibetica</i>	P	A	X	2
		棘豆属 <i>Oxytropis</i>	C	B	X	4
	黄耆属 <i>Astragalus</i>	乳白黄耆 <i>Astragalus galactites</i>	H	C	X	5
		灰叶黄耆 <i>A. discolor</i>	H	C	X	4
	霸王属 <i>Sarcozygium</i>	霸王 <i>Sarcozygium xanthoxylon</i>	P	A	SX	3
		蝎虎霸王 <i>S. mucronatum</i>	C	C	SX	3
蒺藜科 Zygophyllaceae	四合木属 <i>Tetraena</i>	四合木 <i>Tetraena mongolica</i>	P	A	SX	16
	骆驼蓬属 <i>Peganum</i>	骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>	C	C	X	2
	蒺藜属 <i>Tribulus</i>	蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	T	D	M	Undetermined
百合科 Liliaceae	葱属 <i>Allium</i>	砂韭 <i>Allium bidentatum</i>	Cr	C	X	5
		碱韭 <i>A. polyrhizum</i>	Cr	C	SX	1
		蒙古韭 <i>A. mongolicum</i>	Cr	C	X	4
		细叶韭 <i>A. tenuissimum</i>	Cr	C	X	12
		红砂属 <i>Reaumuria</i>	P	A	SX	2
怪柳科 Tamaricaceae		黄花红砂 <i>R. trigyna</i>	P	A	X	11
		庭荠属 <i>Alyssum</i>	C	B	X	7
十字花科 Cruciferae		西伯利亚庭荠 <i>A. sibiricum</i>	H	C	X	Undetermined
		刺旋花 <i>Convolvulus tragacanthoides</i>	P	B	X	2
旋花科 Convolvulaceae	旋花属 <i>Convolvulus</i>	银灰旋花 <i>C. ammannii</i>	H	C	X	7
		卵叶远志 <i>Polygala sibirica</i>	H	C	MX	6
远志科 Polygalaceae	远志属 <i>Polygala</i>	远志 <i>P. tenuifolia</i>	H	C	X	Undetermined
		半日花属 <i>Helianthemum</i>	P	A	SX	2
半日花科 Cistaceae	半日花属 <i>Helianthemum</i>	半日花 <i>Helianthemum songaricum</i>	P	A	SX	2
白花丹科 Plumbaginaceae	补血草属 <i>Limonium</i>	细枝补血草 <i>Limonium tenellum</i>	H	C	X	Undetermined
亚麻科 Linaceae	亚麻属 <i>Linum</i>	野亚麻 <i>Linum stelleroides</i>	H	D	M	5
蔷薇科 Rosaceae	桃属 <i>Amygdalus</i>	蒙古扁桃 <i>Amygdalus mongolica</i>	P	A	X	17
茜草科 Rubiaceae	野丁香属 <i>Leptodermis</i>	薄皮木 <i>Leptodermis oblonga</i>	P	A	X	18
麻黄科 Ephedraceae	麻黄属 <i>Ephedra</i>	斑子麻黄 <i>Ephedra rhytidospema</i>	P	A	SX	19
蓼科 Polygonaceae	木蓼属 <i>Atraphaxis</i>	锐枝木蓼 <i>Atraphaxis pungens</i>	P	A	X	8

生活型: C, 地上芽植物; Cr, 隐芽植物; H, 地面芽植物; P, 高位芽植物; T, 一年生植物。生长型: A, 灌木; B, 半灌木; C, 多年生草本; D, 一年生草本。水分生态类型: M, 中生植物; MX, 中旱生植物; SX, 强旱生植物; X, 旱生植物; XM, 旱中生植物。地理区系成分: 1, 中亚东部成分; 2, 古地中海成分; 3, 戈壁成分; 4, 戈壁-蒙古成分; 5, 达乌里-蒙古成分; 6, 温带亚洲成分; 7, 哈萨克斯坦-蒙古成分; 8, 黑海-哈萨克斯坦-蒙古成分; 9, 蒙古成分; 10, 世界分布; 11, 东阿拉善-西鄂尔多斯特有; 12, 东古北成分; 13, 泛北成分; 14, 古北成分; 15, 旧大陆温带成分; 16, 西鄂尔多斯特有; 17, 阿拉善-西鄂尔多斯-乌兰察布北部特有; 18, 贺兰山-阿尔巴斯山特有; 19, 贺兰山山麓及其南部余脉特有。Undetermined, 未确定。

Life form: C, chamaephytes; Cr, cryptophytes; H, hemicyrptophytes; P, phanerophytes; T, therophytes. Growth form: A, shrub; B, sub-shrub; C, perennial herbs; D, annual herbs. Ecological type of water: M, mesophytes; MX, meso-xerophytes; SX, super-xerophytes; X, xerophytes; XM, xero-mesophytes. Floristic geographic distribution: 1, Central Asia-Eastern Asia element; 2, Palaeo-Mediterranean element; 3, gobi element; 4, gobi-mongolian element; 5, Dawuli-Mongolian element; 6, temperate Asian element; 7, Kazakhstan-Mongolia element; 8, Black Sea-Kazakhstan-Mongolia element; 9, Mongolia element; 10, world distribution; 11, East Alashan-West Ordos endemic species; 12, East Palaeo-North element; 13, Pan-North element; 14, Palaeo-North element; 15, old continent temperate element; 16, west Ordos endemic species; 17, Alashan-Western Ordos-Ulanqab North endemic species; 18, Helan Mountain-Arbaas Mountain endemic species; 19, Helan Mountain and South-Helan Mountain endemic species.

和珍珠猪毛菜(*S. passerina*)外均为一年生草本植物。其他物种较多的科还包括豆科(3属6种)、蒺藜科(4属5种)、百合科(1属4种)、怪柳科(1属2种)、十字花科(2属2种)、旋花科(1属2种)和远志科(1属2种)。以下7科均为单属单种,包括半日花科、白花丹科、亚麻科、蔷薇科、茜草科、麻黄科和蓼科。

根据所有物种在样地中出现的百分比,将物种划分为5个存在度等级(图2)。其中存在度等级为I级(0–20%)的物种38种,占物种总数的65.52%,多为偶见种,如阿尔泰狗娃花、栉叶蒿、乳白黄耆(*Astragalus galactites*)、葱属(*Allium* spp.)植物、藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、荒漠锦鸡儿(*C. roborovskyi*)等;存在度等级为II级(20%–40%)的物种10种,占物种总数的17.24%,为常见伴生种,有戈壁针茅、沙生针茅、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、珍珠猪毛菜、星毛短舌菊等;存在度等级为III级(40%–60%)的物种7种,占物种总数的12.07%,亦为群落常见伴生种,有短花针茅、无芒隐子草(*C. songorica*)、九顶草、松叶猪毛菜和猫头刺等;存在度等级为IV级(60%–80%)的物种为红砂(*Reaumuria soongarica*),是群落的次优势种;存在度等级为V级(80%–100%)的物种为刺旋花和半日花,半日花存在度为100%,为群落的优势种。

西鄂尔多斯地区半日花群落58种分属于19个区系地理成分(中国科学院内蒙古宁夏综合考察队,1985)(表1;图3)。中亚东部成分9种,有短花针茅、沙生针茅、戈壁针茅、狭叶锦鸡儿(*C. stenophylla*)、碱韭(*Allium polyrhizum*)等;古地中海成分有6种,包括半日花、红砂、刺旋花等,是本区植物区系与

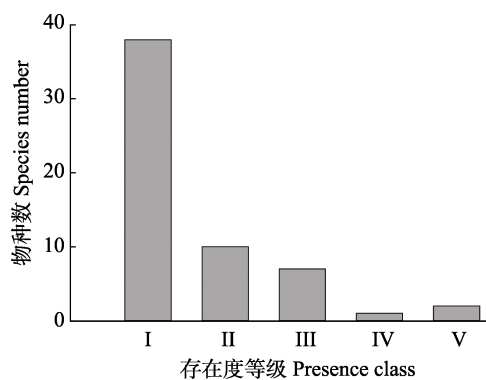


图2 西鄂尔多斯地区半日花群落物种存在度等级分布。I, 0–20%; II, 20%–40%; III, 40%–60%; IV, 60%–80%; V, 80%–100%。

Fig. 2 Frequency distribution of species with different presence classes in *Helianthemum songaricum* desert. I, 0–20%; II, 20%–40%; III, 40%–60%; IV, 60%–80%; V, 80%–100%.

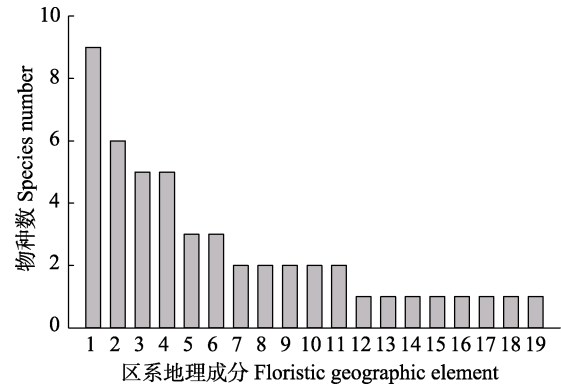


图3 西鄂尔多斯地区半日花群落物种的区系地理成分分布。1, 中亚东部成分; 2古地中海成分; 3, 戈壁成分; 4, 戈壁-蒙古成分; 5, 达乌里-蒙古成分; 6, 温带亚洲成分; 7, 哈萨克斯坦-蒙古成分; 8, 黑海-哈萨克斯坦-蒙古成分; 9, 蒙古成分; 10, 世界分布; 11, 东阿拉善-西鄂尔多斯特有种; 12东古北极成分; 13, 泛北极成分; 14, 古北极成分; 15, 旧大陆温带成分; 16, 西鄂尔多斯特有种; 17, 阿拉善-西鄂尔多斯-乌兰察布北部特有种; 18, 贺兰山-阿尔巴斯山特有种; 19, 贺兰山山麓及其南部余脉特有种。

Fig. 3 Floristic geographic distribution of the species in *Helianthemum songaricum* desert. 1, Central Asia-Eastern Asia element; 2, Palaeo-Mediterranean element; 3, gobi element; 4, gobi-mongolian element; 5, Dawuli-Mongolian element; 6, temperate Asian element; 7, Kazakhstan-Mongolia element; 8, Black Sea-Kazakhstan-Mongolia element; 9, Mongolia element; 10, world distribution; 11, East Alashan-West Ordos endemic species; 12, East Palaeo-North element; 13, Pan-North element; 14, Palaeo-North element; 15, old continent temperate element; 16, west Ordos endemic species; 17, Alashan-Western Ordos-Ulanchabu North endemic species; 18, Helan Mountain-Arbas Mountain endemic species; 19, Helan Mountain and South-Helan Mountain endemic species.

古地中海区系有密切联系的佐证; 戈壁成分有5种, 如星毛短舌菊、松叶猪毛菜、珍珠猪毛菜、霸王等; 特有种较多, 如四合木为西鄂尔多斯特有种, 蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)为阿拉善-西鄂尔多斯-乌兰察布北部特有种等。

2.1.3 物种生活型及水分生态类型

按照Raunkiaer的生活型分类法将鄂尔多斯地区半日花群落中58种植物分为5种生活型(表1; 图4)。其中高位芽植物13种, 占物种数的22.41%, 均为灌木、半灌木植物; 地上芽植物8种, 占物种数的13.79%, 多为小灌木、小半灌木; 地面芽植物有21种, 占物种数36.20%, 主要为多年生丛生禾草和多年生杂类草, 为草本层的优势物种; 一年生草本植物12种, 占物种数的20.69%, 由一年生禾草和一年生杂类草组成; 隐芽植物最少, 均为百合科葱属植物。

根据物种对水分的适应将其划分为5种水分生

态类型(表1; 图5)。其中旱生植物数量最多, 占物种总数的50%, 包括旱生灌木蒙古扁桃、薄皮木(*Leptodermis oblonga*)、狭叶锦鸡儿、藏锦鸡儿、黄花红砂(*R. trigyna*)等, 半灌木猫头刺、刺旋花及针茅属、葱属等多年生草本植物; 其次为强旱生植物, 占物种总数的25.86%, 多为灌木及半灌木, 有红砂、星毛短舌菊、霸王、松叶猪毛菜、四合木及半日花等; 中生植物多为一年生草本。

2.2 半日花群落类型与特征

西鄂尔多斯地区半日花群落平均盖度约13.1%,

最高为30.71%, 最低为3.54%; 平均高度8.8 cm, 平均密度3.4株·m⁻², 灌木层物种平均丰富度为每100 m² 5.5种。

根据样方调查结果, 计算得到半日花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。本文根据半日花群落灌木层片的优势种和生活型及其TWINSPAN结果, 将半日花群落分成以下3个群丛组: 半日花-草本荒漠、半日花-灌木-草本荒漠和半日花-半灌木荒漠。并进一步划分为10个群丛(表2)。

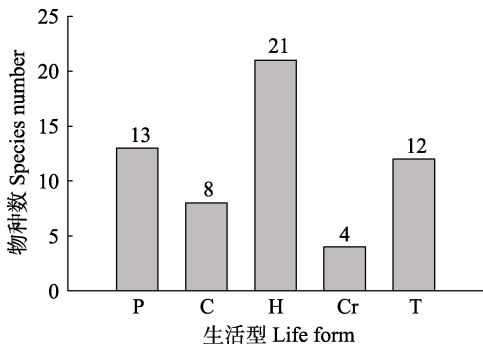


图4 西鄂尔多斯地区半日花群落物种的Raunkiaer生活型谱。C, 地上芽植物; Cr, 隐芽植物; H, 地面芽植物; P, 高位芽植物; T, 一年生植物。
Fig. 4 Raunkiaer's life form spectrum of the species in *Helianthemum songaricum* desert. C, chamaephytes; Cr, cryptophytes; H, hemicyrptophytes; P, phanerophytes; T, therophytes.

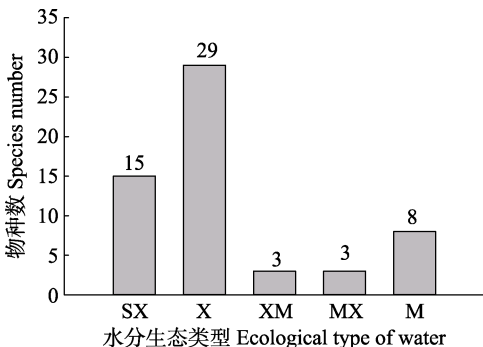


图5 西鄂尔多斯地区半日花群落物种的水分生态类型谱。M, 中生植物; MX, 中旱生植物; SX, 强旱生植物; X, 旱生植物; XM, 旱中生植物。
Fig. 5 Frequency distribution of the species with different ecological type of water in *Helianthemum songaricum* desert. M, mesophytes; MX, meso-xerophytes; SX, super-xerophytes; X, xerophytes; XM, xero-mesophytes.

表2 半日花荒漠群系分类
Table 2 Classification of *Helianthemum songaricum* desert at alliance level

群丛组 Association group	群丛 Association	样地编号 Plot number
半日花-草本荒漠群丛组 <i>Helianthemum songaricum</i> - Herbs desert	半日花-石生针茅+短花针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> - <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>klemenzii</i> + <i>Stipa breviflora</i> desert	S7
半日花-灌木-草本荒漠群丛组 <i>Helianthemum songaricum</i> - Shrubs - Herbs desert	半日花+锐枝木蓼-短花针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Atraphaxis pungens</i> - <i>Stipa breviflora</i> desert	S1
	半日花+红砂-沙生针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Reaumuria soongarica</i> - <i>Stipa glareosa</i> desert	S2, S5, S10
	半日花+红砂-戈壁针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Reaumuria soongarica</i> - <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> desert	
	半日花+红砂-短花针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Reaumuria soongarica</i> - <i>Stipa breviflora</i> desert	
	半日花+松叶猪毛菜-沙生针茅+短花针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Salsola laricifolia</i> - <i>Stipa glareosa</i> + <i>Stipa breviflora</i> desert	S3
	半日花+黄花红砂-戈壁针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Reaumuria trigyna</i> - <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> desert	S4
	半日花+蒙古扁桃-中亚细柄茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Amygdalus mongolica</i> - <i>Ptilagrostis pelliotii</i> desert	S12
	半日花+斑叶麻黄-短花针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Ephedra rhytidosperra</i> - <i>Stipa breviflora</i> desert	S13, S14, S15
	半日花+四合木+红砂-中亚细柄茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Tetraena mongolica</i> + <i>Reaumuria soongarica</i> - <i>Ptilagrostis pelliotii</i> desert	S18
半日花-半灌木荒漠群丛组 <i>Helianthemum songaricum</i> - Subshrubs desert	半日花+刺旋花-石生针茅+戈壁针茅荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Convolvulus tragacanthoides</i> - <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>klemenzii</i> + <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> desert	S6
	半日花+珍珠猪毛菜荒漠 <i>Helianthemum songaricum</i> + <i>Salsola passerine</i> desert	S17

2.2.1 半日花-草本荒漠群丛组(*Helianthemum songaricum* - Herbs desert)

该群丛组即为半日花纯群落, 包含样地S7。灌木层物种丰富度为每100 m² 2种。以半日花为主的灌木层片, 平均高度为5.6 cm, 盖度4%–5%, 重要值为83.80。在小半灌木层片, 偶有刺旋花出现, 其平均高度为5.0 cm, 盖度不足0.1%, 重要值为16.20。草本层物种丰富度为11, 常见的多年生草本有石生针茅、戈壁针茅和短花针茅。该群丛多分布于石质丘陵中下部, 地表有裸露的大石块, 基本无覆沙。主要群丛有: 半日花-石生针茅+短花针茅荒漠群丛组(*Helianthemum songaricum* - *Stipa tianschanica* var. *klemenzii* + *Stipa breviflora* desert)

2.2.2 半日花-灌木-草本荒漠群丛组(*Helianthemum songaricum* - Shrubs - Herbs desert)

该群丛组包括7个群丛, 每个群丛具体特征如下:

1) 半日花+锐枝木蓼-短花针茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Atraphaxis pungens* - *Stipa breviflora* desert)

该群丛包含样地S1。灌木层物种丰富度为每100 m² 6种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 平均高度为12.0 cm, 盖度29%, 重要值为66.13。常见种还有锐枝木蓼、狭叶锦鸡儿和荒漠锦鸡儿等, 其重要值分别为11.22、7.00和6.23。半灌木层片在该群丛中作用较小, 优势种主要为刺旋花和猫头刺, 重要值分别为6.61和2.81。草本层物种丰富度为6, 其中常见的多年生草本植物主要有沙生针茅、短花针茅和糙隐子草。该群落多分布于丘陵中上部, 地表多为碎砾石, 石块大小较均匀, 不平整, 沟壑纵横。

2) 半日花+红砂-草本荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Reaumuria soongarica* - Herbs desert)

该群丛包含样地S2、S5和S10。灌木层物种丰富度为每100 m² 5–7种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 平均高度为6.9 cm, 盖度为6%–14%, 重要值为55.14。红砂为亚优势种, 重要值为17.12, 其他伴生种有松叶猪毛菜、荒漠锦鸡儿和黄花红砂等。半灌木层片作用微弱, 主要为刺旋花和猫头刺, 其盖度很低。草本层物种丰富度为8–9, 沙生针茅、戈壁针茅和短花针茅为该层片优势种, 还有猪毛菜、狗尾草等较多的一年生草本。该群落

主要分布于丘陵的中上部, 地表有大量碎石并覆沙, 与周围藏锦鸡儿群落形成复合分布。

3) 半日花+松叶猪毛菜-沙生针茅+短花针茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Salsola laricifolia* - *Stipa glareosa* + *Stipa breviflora* desert)

该群丛包含样地S3。灌木层物种丰富度为每100 m² 5种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 数量占绝对优势, 平均高度为6.4 cm, 盖度14%, 重要值为60.07。松叶猪毛菜和红砂为伴生种, 重要值分别为15.03和12.83, 总盖度2.5%。半灌木层片优势种为刺旋花和猫头刺, 总盖度为0.8%, 重要值分别为8.27和3.78。草本层物种丰富度为11, 其中沙生针茅、短花针茅为主要优势种, 其次为糙隐子草和蝎虎霸王等多年生草本, 还有较多的狗尾草、猪毛菜等一年生草本。该群落主要分布于丘陵的上部, 地表为碎石-砾石覆盖, 与周围的红砂+合头草(*Sympegma regelii*)群落形成了复合分布的格局。

4) 半日花+黄花红砂-戈壁针茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Reaumuria trigyna* - *Stipa tianschanica* var. *gobica* desert)

该群丛包含样地S4。灌木层物种丰富度为每100 m² 6种。半日花为优势种, 平均高度为9.0 cm, 盖度4%–5%, 重要值为37.01。黄花红砂为亚优势种, 总盖度为9%, 重要值为33.71, 其他伴生种还有红砂和松叶猪毛菜, 重要值分别为15.43和7.41。小半灌木层片盖度为0.2%, 主要为刺旋花和猫头刺, 重要值分别为3.76和2.62。草本层物种丰富度为7, 戈壁针茅为该层片优势种, 一年生草本猪毛菜和狗尾草丰富。该群落多分布于石质山坡的中部, 坡度陡峭, 地表多为大石块。

5) 半日花+蒙古扁桃-中亚细柄茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Amygdalus mongolica* - *Ptilagrostis pelliotii* desert)

该群丛包含样地S12。灌木层物种丰富度为每100 m² 6种。半日花为优势种, 平均高度为8.0 cm, 盖度3.7%, 重要值为36.76。蒙古扁桃为亚优势种, 盖度10%, 重要值为23.72, 松叶猪毛菜和四合木为常见种, 重要值分别为18.03和15.98。小半灌木层片作用较小, 总盖度为0.16%, 刺旋花和蓍状亚菊为优势种, 重要值为2.19和3.31。草本层物种丰富度为5, 中亚细柄茅为草本层优势种。该群落多分布于石

质低山的中下部, 坡度陡峭, 地表为裸露的大石块, 基本无覆沙。

6) 半日花+斑茅麻黄-短花针茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Ephedra rhytidosperra* - *Stipa breviflora* desert)

该群丛包含样地S13、S14和S15。灌木层物种丰富度为每100 m² 5–7种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 平均高度为6.77 cm, 盖度3.87%, 重要值为54.96。斑茅麻黄为亚优势种, 总盖度0.36%, 重要值为11.46, 还有少量的珍珠猪毛菜、松叶猪毛菜及薄皮木。小半灌木总盖度为0.37%, 其中星毛短舌菊和刺旋花较多。草本层物种丰富度平均值为9, 多为九顶草、三芒草、雾冰藜等一年生草本植物, 多年生草本植物有短花针茅、无芒隐子草、蝎虎霸王等。该群落多分布于较为陡峭的石质山地或山脊顶部, 地表为裸露的大石块, 与东部珍珠猪毛菜群落形成复合分布。

7) 半日花+四合木+红砂-中亚细柄茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Tetraena mongolica* + *Reaumuria soongarica* - *Ptilagrostis pelliotii* desert)

该群丛包含样地S18。灌木层物种丰富度为每100 m² 6种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 平均高度为10.3 cm, 盖度6.17%, 重要值为37.06。四合木和红砂为亚优势种, 总盖度约9.5%, 重要值分别为21.05和20.07, 还有少量的珍珠与狭叶锦鸡儿。小半灌木总盖度为1%, 主要为蓍状亚菊。草本层物种丰富度平均值为11, 多年生草本有中亚细柄茅、远志、棉毛鸦葱等, 一年生植物九顶草、小画眉草较多。该群落多分布于较为陡峭的石质山地下部。

2.2.3 半日花-半灌木荒漠群丛组(*Helianthemum songaricum* - Subshrubs desert)

该群丛组包括2个群丛, 每个群丛具体特征如下:

1) 半日花+刺旋花-石生针茅+戈壁针茅荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Convolvulus tragacanthoides* - *Stipa tianschanica* var. *klemenzii* + *Stipa tianschanica* var. *gobica* desert)

该群丛即为半日花-刺旋花群丛, 包含样地S6。灌木层物种丰富度为每100 m² 5种。半日花为优势种, 平均高度为5.0 m, 盖度2%–3%, 重要值为46.81。小半灌木层片为次优势层片, 总盖度为0.8%,

刺旋花为该层片优势种, 重要值为19.95, 猫头刺为该层片伴生种, 重要值为6.77。其他灌木总盖度为0.5%, 主要为藏锦鸡儿, 还有少量狭叶锦鸡儿, 其重要值分别为19.09和7.38。草本层与其他群丛相比物种丰富度较高, 为13, 常见多年生草本有戈壁针茅、短花针茅、石生针茅、无芒隐子草和蝎虎霸王等。该群丛主要分布于石质低山中下部, 地表几乎被砾石覆盖, 石块大小比较均匀, 碎石间有土壤发育, 地表基本无覆沙。

2) 半日花+珍珠猪毛菜荒漠(*Helianthemum songaricum* + *Salsola passerine* desert)

该群丛包含样地S17。灌木层物种丰富度为每100 m² 8种。灌木层片为该群丛的优势层片, 半日花为优势种, 但高度不占优势, 平均高度为7.35 cm, 盖度2.56%, 重要值为28.07, 珍珠猪毛菜为亚优势种, 重要值分别为24.35, 红砂和黄花红砂为伴生种。小半灌木层片总盖度为0.75%, 主要为刺旋花、猫头刺和星毛短舌菊。基本无草本。该群落多分布于石质山地的中上部, 坡度陡峭, 地表为碎砾石并覆沙。

3 讨论

本文将半日花群落划分为3个群丛组和10个群丛, 群丛类型更加丰富。半日花-灌木-草本群丛组与前人研究相比更加多样, 新的群丛类型包括半日花+锐枝木蓼, 半日花+蒙古扁桃, 半日花+斑茅麻黄等。部分研究结果与李清河等(2012)、陈育(2014)结果基本一致。

西鄂尔多斯地区所有半日花群落物种组成及生境整体而言属于草原化荒漠性质。半日花-半灌木群丛组与《内蒙古植被》(中国科学院内蒙古宁夏综合考察队, 1985)中典型的半日花荒漠基本一致, 以半日花为优势种, 刺旋花、猫头刺、珍珠猪毛菜等为亚优势种或伴生种; 半日花-草本群丛组与《内蒙古植被》(中国科学院内蒙古宁夏综合考察队, 1985)中石质-沙质化半日花荒漠相符, 伴生种以旱生丛生禾草为主。半日花-灌木-草本群丛组也是明显的荒漠群落。西鄂尔多斯地区及贺兰山南端的半日花群落均生长在1 300–1 600 m的石质残丘, 地表具大小不等的石块, 碎石大小不均, 直径3–10 cm, 地表石块覆盖率在70%以上, 土壤下层多为黏土层或红色黏土层, 土壤干燥, 表现为荒漠生境。因此, 不论是

群落物种组成还是群落生境特征, 该地区的半日花群落属于草原化荒漠植被。

新疆地区的半日花主要分布在天山以西的伊犁河谷的伊宁、巩留和特克斯等地, 在河谷北部的博乐也有分布, 三面环山, 主要生长在海拔1 000–1 400 m左右的石质残丘(苏志豪等, 2017), 根据我们的考察, 分布于新疆的半日花多作为亚优势种或伴生种生长于镰芒针茅(*S. caucasica*)等荒漠草原群落内, 仅在局部石质性较强的生境形成面积很小的群落斑块, 该地区气候和土壤较西鄂尔多斯地区湿润。

在西鄂尔多斯地区, 半日花除单独形成群落外, 还可以成为其他群落的亚优势种。如在灌木-半日花荒漠群落中, 包括霸王+半日花荒漠群落(*Sarcogygium xanthoxylon* + *Helianthemum songaricum* desert)、红砂+半日花荒漠群落(*Reaumuria soongarica* + *Helianthemum soongoricum* desert)和四合木+半日花荒漠群落(*Tetraena mongolica* + *Helianthemum songaricum* desert); 在半灌木-半日花荒漠有珍珠猪毛菜+半日花荒漠群落(*Salsola passerine* + *Helianthemum songaricum* desert), 这些群落也均为荒漠群落。由此可见, 西鄂尔多斯地区的半日花, 不论是作为群落优势种还是亚优势种, 都表现出荒漠植被的特征, 属于超旱生的荒漠植物。

目前发现半日花群落集中分布在黄河以东内蒙古西鄂尔多斯阿尔巴斯山南北部及东部波状平原, 少量分布于黄河以西贺兰山北端内蒙古乌海市与阿拉善盟交界处及贺兰山南端内蒙古阿拉善盟与宁夏交界处明长城沿线, 分布区非常狭小(图1)。近年来, 随着矿山开发等人类活动的影响加之环境变化, 该地区的半日花群落分布区域日渐缩小、破碎, 其生存受到严重威胁, 亟待进一步加大保护力度。

参考文献

- Cao R, Duan FZ, Ma H, Yong SP, Zhao YZ (2001). Comparative study on physical ecology characters between two relic plants—*Helianthemum songaricum* and *Tetraena mongolica*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 21, 184–187. [曹瑞, 段飞舟, 马虹, 雍世鹏, 赵一之 (2001). 残遗植物半日花与四合木生理生态学特征的比较研究. 西北植物学报, 21, 184–187.]
- Chen J, Xu Q, Gao DQ, Ma YB (2016). Water use of *Helianthemum songaricum* and co-occurring plant species *Sarcogygium xanthoxylum* in Western Ordos. *Scientia Silvae Sinicae*, 52(2), 47–56. [陈婕, 徐庆, 高德强, 马迎宾 (2016). 西鄂尔多斯半日花及霸王的水分利用. 林业科学, 52(2), 47–56.]
- Chen Y (2014). *The Study of Community Ecology on Helianthemum Songaricum Schrenk*. PhD dissertation, Inner Mongolia University, Hohhot. 58–63. [陈育 (2014). 西鄂尔多斯半日花群落生态学研究. 博士学位论文, 内蒙古大学, 呼和浩特. 58–63.]
- Chen Y, Yang J, Zhang PJ, Qing H, Zhao LQ, Zhang L (2014). Population structure and spatial point pattern of *Helianthemum songaricum* in West Ordos, Inner Mongolia, China. *Journal of Desert Research*, 34(1), 75–82. [陈育, 杨劼, 张璞进, 清华, 赵利清, 张雷 (2014). 西鄂尔多斯半日花(*Helianthemum songaricum*)种群结构和点格局分析. 中国沙漠, 34(1), 75–82.]
- Editorial Committee of the Flora of China, Chinese Academy of Sciences (1990). *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*. Science Press, Beijing. 50, 178–179. [中国科学院中国植物志编辑委员会 (1990). 中国植物志. 科学出版社, 北京. 50, 178–179.]
- Fu LG (1992). *China Plant Red Data Book: Rare and Endangered Plants. Vol. 1*. Science Press, Beijing. 218–219.
- Gao Y, Zhang HW, Yu Y, Wang HL, Wang Z, Dong X, Zhang Y (2014). Transpiration rate change in the rare and endangered eremophyte *Helianthemum Songaricum* Schrenk based on the “Three-Temperature Model”. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 5721–5727. [高永, 张瀚文, 虞毅, 王淮亮, 王震, 董雪, 张燕 (2014). 基于“三温模型”的珍稀濒危荒漠植物半日花蒸腾速率研究. 生态学报, 34, 5721–5727.]
- Nei Mongol and Ningxia Scientific Expedition Group, Chinese Academic of Sciences (1985). *Vegetation of Nei Mongol*. Science Press, Beijing. [中国科学院内蒙古宁夏综合考察队 (1985). 内蒙古植被. 科学出版社, 北京.]
- Li QH, Gao TT, Li HQ, Zhao YM, Xin ZM (2009). Spectral analysis of dynamics of rare eremophyte *Helianthemum ordosicum* population. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 27(2), 171–175. [李清河, 高婷婷, 李慧卿, 赵英铭, 辛智鸣 (2009). 荒漠珍稀灌木半日花种群数量动态的谱分析. 武汉植物学研究, 27(2), 171–175.]
- Li QH, Xu J, Xin ZM, Wang SX, Ren WJ (2012). Dominant populations and patterns of *Helianthemum soongoricum* Communities in Western Ordos area, Inner Mongolia. *Journal of Northeast Forestry University*, 40(10), 44–47. [李清河, 徐军, 辛智鸣, 王赛宵, 任文佼 (2012). 西鄂尔多斯地区半日花群落优势种群与群落格局. 东北林业大学学报, 40(10), 44–47.]
- Mo RG, Bai XL, Ma YQ, Cao R (1997). On the intraspecific variations of pollen morphology and pollen geography of a relic species—*Helianthemum songaricum* Schrenk. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 17, 528–532. [莫日根, 白学良, 马毓泉, 曹瑞 (1997). 半日花花粉形态种

- 内变异及其花粉地理研究. 西北植物学报, 17, 528–532.]
- Su ZH, Li WJ, Zhuo L, Jiang XL (2017). Analyses on genetic variation and genetic structure of populations of endangered plant *Helianthemum songaricum* in Xinjiang. *Journal of Plant Resources and Environment*, 26(4), 67–73. [苏志豪, 李文军, 卓立, 姜小龙 (2017). 新疆濒危植物半日花居群的遗传变异及遗传结构分析. 植物资源与环境学报, 26(4), 67–73.]
- Wang GH (2005). The Western Ordos Plateau as a biodiversity center of relic shrubs in arid areas of China. *Biodiversity and Conservation*, 14, 3187–3200.
- Wei L, Baisharula, Pang L, Wulanbater, Bao HG, Shi SD (2014). Genetic diversity and population structure of (*Helianthemum ordosicum*) (Cistaceae) in west Ordos National Nature Reserve revealed by ISSR markers. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 35(1), 30–36. [魏磊, 白沙如拉, 庞磊, 乌兰巴特尔, 包会嘎, 史树德 (2014). 基于ISSR标记的珍稀濒危植物内蒙古半日花 (*Helianthemum ordosicum*)遗传多样性和遗传结构研究. 内蒙古农业大学学报, 35(1), 30–36.]
- Wu ZY (1980). *Vegetation of China*. Science Press, Beijing. [吴征镒 (1980). 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Zhang WK, Li H, Wang GH (2013). Community characteristics of main vegetation types along two altitudinal transects on mountains of northwestern Beijing, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 37, 566–570. [张维康, 李贺, 王国宏 (2013). 北京西北部山地两个垂直样带内主要植被类型的群落特征. 植物生态学报, 37, 566–570.]
- Zhao YZ, Cao R, Zhu ZY (2000). A new species of *Helianthemum* Mill. (Cistaceae). *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 38, 294–296. [赵一之, 曹瑞, 朱宗元 (2000). 半日花属一新种. 植物分类学报, 38, 294–296.]
- 责任编辑: 唐志尧 责任编辑: 李 敏 实习编辑: 赵 航

附录 I 内蒙古西鄂尔多斯地区半日花荒漠群落特征

Supplement I Community characteristics of *Helianthemum songaricum* desert in Western Erdos region, Nei Mongol, China
<http://www.plant-ecology.com/fileup/1005-264X/PDF/cjpe.2018.0215-S1.xlsx>