

齐丹卉,杨洪晓,卢琦,等.浑善达克沙地植物群落主要类型与特征[J].中国沙漠,2021,41(4):23-33.

## 浑善达克沙地植物群落主要类型与特征

齐丹卉<sup>1a,2</sup>, 杨洪晓<sup>3</sup>, 卢琦<sup>1ab</sup>, 甘红豪<sup>1c</sup>, 褚建民<sup>1c</sup>

(1.中国林业科学研究院 a.荒漠化研究所, b.沙漠林业实验中心, c.林业研究所, 北京 100091; 2.西南林业大学 生态与环境学院, 云南 昆明 650224; 3.青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**浑善达克沙地植被在维护草原与沙地生态系统稳定、保护京津冀地区生态安全方面发挥着重要作用。因水分条件的不同,浑善达克沙地植被从东到西具有明显的地带性,物种组成和群落结构差异明显。本研究在野外样方调查的基础上,对浑善达克沙地不同降水条件下的植被类型进行了划分,分析了不同水分条件下群落的物种组成和多样性特征。结果表明:(1)浑善达克沙地植被类型丰富,可划分为5个植被型组、12个植被(亚)型、27个群系。(2)物种组成多样,共有维管植物46科149属256种,草本植物占75%以上。(3)东西部空间差异明显,由东部的疏林草原、中部的典型草原向西部的荒漠草原过渡。中东部优势科为菊科、禾本科、豆科等,西部的优势科为苋科和禾本科。

**关键词:**浑善达克沙地; 群落类型; 物种组成; 群落特征

**文章编号:** 1000-694X(2021)04-023-11

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00029

**中图分类号:** Q948.15

**文献标志码:** A

### 0 引言

受全球变化及人类活动影响,干旱与半干旱区正遭受严峻的干旱和频繁的极端降水事件的威胁<sup>[1]</sup>,如何维持与保护干旱区生态系统的安全,受到越来越多的关注。中国荒漠生态系统(含沙漠、沙地和戈壁)主要分布在北方干旱和半干旱区,是重要的生态系统类型,陆表过程脆弱,但蕴藏着大量珍稀野生动植物基因资源,具有独特的结构和功能<sup>[2]</sup>。植被作为土壤-植被-大气连续体(Soil-Plant-Atmosphere-Continuum, SPAC)中的纽带,是生态系统物质循环和能量流动的重要通道,植被的物种组成、分布格局等对自然环境中的大气、水、土壤等成分的变化非常敏感<sup>[3]</sup>。充分了解沙地现存植被的物种组成及分布格局的基本特征,对在变化环境中维持整个生态系统结构与功能的稳定至关重要<sup>[4-6]</sup>。

浑善达克沙地位于内蒙古高原中东部,从大兴安岭南端山地西麓的克什克腾旗向西一直延伸到苏尼特右旗,面积约5.2万km<sup>2</sup>,是中国四大沙地之

一<sup>[7-9]</sup>,也是中国距首都北京最近的沙地,直线距离仅180 km。浑善达克沙地处于温带半干旱大陆性气候区,冬春季寒冷、干旱、多风,是全国风速最大的沙区之一<sup>[10]</sup>。20世纪50—60年代,由于自然和人为因素影响,原本脆弱的生态环境急剧恶化,浮尘、扬沙和沙尘暴天气频发,成为了直接影响京津冀地区生态安全的风沙源。且该区域为农牧交错地带,生态环境脆弱,易破坏难恢复,开展植被调查、掌握植物种类及特征是开展浑善达克沙地生态保护的前提。研究浑善达克沙地植被种类及特征,对恢复沙地植被、稳定生态系统功能具有重要意义。

近年来研究人员已对浑善达克沙地植被特征及演替规律<sup>[11-14]</sup>、草原生态系统稳定性的维持机制<sup>[15-16]</sup>、草原生态系统初级生产力的维持与调控机制<sup>[17-18]</sup>、生物多样性与生态系统功能的维持机制<sup>[19-23]</sup>、放牧对草原生态系统功能和服务的影响<sup>[24-26]</sup>、退化草原生态修复<sup>[27-29]</sup>等方面进行了大量研究。对于荒漠-草原生态系统而言,降水是主要控制因子<sup>[30-32]</sup>,是决定干旱与半干旱地区植被生长的主要因素<sup>[33]</sup>,

收稿日期:2020-12-21; 改回日期:2021-03-09

资助项目:科技部科技基础资源调查专项(2017FY100205,2019FY100801); 中国林业科学研究院基本科研业务费专项(CAFYBB2020ZB001)

作者简介:齐丹卉(1979—),女,山东昌邑人,博士研究生,主要从事荒漠生态学研究。E-mail: 7942965@qq.com

通信作者:褚建民(E-mail: cjmcaf@163.com)

沙地的物种多样性与降水量正相关<sup>[34]</sup>。调查发现,因水分条件的不同,浑善达克沙地植被从东到西具有明显的地带性特征。现有的研究大都针对整个沙地的植被进行的,未考虑不同降水条件下植被的差异。因此,在对浑善达克沙地植物群落调查的基础上,本文对浑善达克沙地不同降水条件下的植被特征进行了分区研究,分析了不同水分条件下群落的物种组成、数量特征的异同。研究揭示了自然植被的区域特征及植被演替的生物学基础与生态学机理,其结果可为浑善达克沙地植被保护与利用提供基础资料、为京津冀沙尘源保护与治理提供理论基础。

## 1 研究区概况

浑善达克沙地位于内蒙古高原中东部(41°56′—44°26′N、112°22′—117°57′E<sup>[35]</sup>,海拔1 000—1 400 m),东部以固定半固定沙地为主,沙丘高度10—15 m,西部以半固定、流动沙地为主<sup>[10]</sup>。多年平均气温0—3℃,年降水量东部为350—400 mm、西部为100—200 mm,年蒸发量2 000—2 900 mm<sup>[36]</sup>。土壤以栗钙土为主,其次为棕钙土。植被具有明显的地带性,从东到西依次分布着草甸草原、典型草原和荒漠草原<sup>[13]</sup>,建群种主要有榆树(*Ulmus pumila*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)和盐蒿(*Artemisia halodendron*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

本次植被调查基于“中国荒漠主要植物群落调查——浑善达克沙地植物群落调查”中规定的调查区域和方法,每10 km布设一个样点,共调查了74个点(图1)。用GPS仪对每一个样点精确定位,记录地理位置、海拔、坡向坡度、土壤类型、群落类型、干扰情况等信息,并在样点周围设置1个100 m×100 m的样方进行群落物种组成调查。在样方中布设5个10 m×10 m的灌木样方,逐一测定灌木的高度和冠幅;布设9个1 m×1 m的草本样方,对每种植物的个体数和盖度逐一统计,并选择3个标准株测量其高度。野外调查时间为2018—2020年夏季。

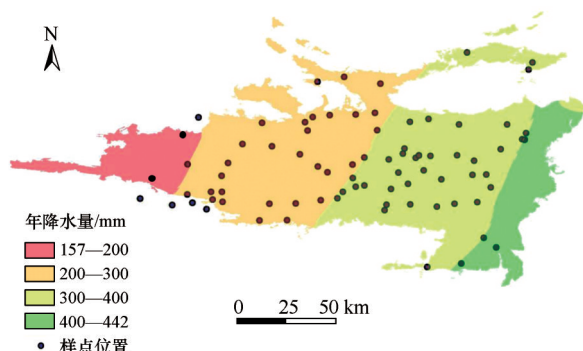


图1 浑善达克沙地植物群落调查样点位置

Fig.1 Survey sites distribution map in the Otindag Sandy Land

### 2.2 区域划分方法

降水量数据来源中国区域地面气象要素数据集(CMFD)。该数据为nc格式,时间分辨率为3 h,水平空间分辨率0.1°,覆盖范围为全国。用Matlab将3 h分辨率的数据处理为年数据,利用栅格计算器逐像元统计1980—2010年的多年平均降水量,进行地理配准后提取浑善达克沙地的多年平均降水量,并根据多年平均降水量的差异把研究区域划分为4个区(图1),自西向东分别为1区(<200 mm)、2区(200—300 mm)、3区(300—400 mm)、4区(>400 mm)。

### 2.3 数据分析

参照《中国植被》和《中国植被及其地理格局——中华人民共和国植被图集1:100万说明书》及补充材料<sup>[37]</sup>中的植物生活型分类系统,在乔木样方中,将树高≥2 m且有明显主干的木本植物界定为乔木,没有明显主干或树高<2 m的木本植物界定为灌木;在灌木样方中,将胸径≥1 cm的木本植物界定为灌木,胸径小于1 cm的界定为幼苗,分别计算各层每个物种的高度、胸径、冠幅面积和株数(多度)、频度,并以重要值表示植物在群落中的地位。乔木层重要值=(相对密度+相对郁闭度+相对高度)/3;灌木重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度+相对高度)/4;草本植物重要值=(相对盖度+相对频度+相对高度)/3。其中,相对密度为某种植物的个体数目与样方中全部植物的个体数目的比值;相对频度为某种植物出现的样方数与总样方数的比值;相对盖度为某一物种的分盖度与所有分盖度之和的比值;相对高度为某种植物的平均高度与本层中各种植物平均高度的比值。

参照《中国生物物种名录(2017)》和《中国荒漠

植物图鉴》<sup>[38]</sup>整理沙地天然维管植物名录,确定科属组成。中国特有种的确定依据《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》,国家重点保护野生植物的确定依据《国家重点保护野生植物名录(第一批)》、《国家重点保护野生植物名录(第二批讨论稿)》,内蒙古重点保护草原野生植物的确定依据内蒙古自治区政府 2009 年颁布的《内蒙古重点保护草原野生植物名录》。

优势科根据科内物种的数量组成确定<sup>[39]</sup>:优势科物种数>该沙地总物种数/科数。

3 结果分析

3.1 主要植被类型

浑善达克沙地属于典型的半湿润半干旱气候区,过渡性气候孕育了具有显著过渡性的植被。从表 1 可见,浑善达克沙地的植被类型整体可划分为 5 个植被型组(荒漠、草原、灌丛、针叶林、阔叶林)、12 个植被(亚)型、27 个植被群系。4 个降水区差异较大。沙地西部的 1 区和 2 区半固定沙地居多,其间

表 1 浑善达克沙地典型植被类型及所在分区  
Table 1 Typical vegetation types in the Otingdag Sandy Land

植被型组	植被型	植被亚型	群系	降水分区		
针叶林	I温带针叶林	(一)温带山地针叶林	1.白扦( <i>Picea meyeri</i> )林	3		
		(二)温带针叶林	2.杜松( <i>Juniperus rigida</i> )林	3、4		
阔叶林	II温带阔叶林	(三)温带落叶阔叶林	3.白桦( <i>Betula platyphylla</i> )林	3		
			4.五蕊柳( <i>Salix pentandra</i> )林	3		
		(四)温带落叶小叶疏林	5.榆树( <i>Ulmus pumila</i> )疏林	2、3、4		
灌丛	III温带阔叶灌丛	(五)温带落叶阔叶灌丛	6.黄柳( <i>Salix gordejewii</i> )灌丛	2、3		
			7.乌柳( <i>Salix cheilophila</i> )灌丛	2		
			8.山杏( <i>Prunus sibirica</i> )灌丛	4		
			9.小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )灌丛	1、2		
			10.中间锦鸡儿( <i>Caragana davazamcii</i> )灌丛	2		
			11.柠条锦鸡儿( <i>Caragana korshinskii</i> )灌丛	3		
			12.长柄扁桃( <i>Prunus pedunculata</i> )灌丛	2		
			13.柴桦( <i>Betula fruticosa</i> )灌丛	3		
		(六)亚高山常绿针叶灌丛	14.叉子圆柏( <i>Juniperus sabina</i> )灌丛	2		
		荒漠	IV温带荒漠	(七)温带灌木荒漠	15.小果白刺( <i>Nitraria sibirica</i> )荒漠	1、2
(八)温带半灌木、矮半灌木荒漠	16.红砂( <i>Reaumuria soongarica</i> )荒漠			2		
	17.华北驼绒藜( <i>Krascheninnikovia arborescens</i> )荒漠			2		
	18.沙蒿( <i>Artemisia desertorum</i> )荒漠			2		
	19.盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )荒漠			3		
(九)温带多汁盐生矮半灌木荒漠	20.盐爪爪( <i>Kalidium foliatum</i> )+红砂( <i>Reaumuria soongarica</i> )荒漠			1		
草原	V温带草原			(十)温带丛生禾草典型草原	21.羊草( <i>Leymus chinensis</i> )+大针茅( <i>Stipa grandis</i> )草原	3
					22.冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )草原	3
		(十一)温带丛生矮禾草、矮半灌木荒漠草原	23.石生针茅( <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>klemenzii</i> )荒漠草原	2		
			24.短花针茅( <i>Stipa breviflora</i> )荒漠草原	1、2		
			25.沙生针茅( <i>Stipa caucasica</i> subsp. <i>glareosa</i> )荒漠草原	1、2		
			26.戈壁针茅( <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> )荒漠草原	1		
	(十二)温带荒漠草原	27.骆驼蒿( <i>Peganum nigellastrum</i> )荒漠草原	2			

降水分区: 1, <200 mm; 2, 200—300 mm; 3, 300—400 mm; 4, >400 mm。



呈斑点状分布了一定的流动沙丘。1区最为干旱,以温带丛生禾草、矮半灌木荒漠草原为主,分布着小果白刺荒漠、骆驼蒿荒漠草原、石生针茅荒漠草原等;在非地带性土壤上分布有温带多汁盐生矮半灌木荒漠,如盐爪爪+红砂荒漠。2区主要草原类型为温带灌木荒漠和半灌木荒漠,植被以小叶锦鸡儿灌丛为主,其次为乌柳灌丛、黄柳灌丛和长柄扁桃灌丛,此外还有华北驼绒藜荒漠等;位于沙地东侧的3区和4区以固定沙丘为主,分布面积最大的是榆树疏林,其次为黄柳灌丛;其间零星分布有白扦林、白桦林、杜松林和五蕊柳林等,主要草原类型为温带丛生禾草典型草原,植被常以疏林和灌丛为主。

### 3.2 物种组成

#### 3.2.1 科属组成

本次调查共发现维管植物256种(表2),属于46科149属,包括蕨类植物1种(1科1属),裸子植物5种(3科4属),被子植物250种(42科144属)。

在记录到的46个科中,科内属、种数量相比较多,依次为菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、豆科(Papilionaceae)、苋科(Amaranthaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、唇形科(Lamiaceae)等,这6个大科物种属与种分别占浑善达克沙地调查记录的物种53.6%和55.2%。其中,1区优势科为苋科和禾本科2个,包含17属20种,占本区总数的58.62%和60.61%;2区的优势科依次为菊科、禾本科、豆科等6个科,包含55属87种,分别占本区总数的59.78%和64.44%;3区的优势科为菊科、禾本科、蔷薇科等11个科,包含76属118种,分别占本区总数的67.26%和69.82%;4区的优势科有禾本科、豆科、菊科等8个科,包含34属53种,分别占本区总数的61.82%和70.67%。根据群落调查统计,浑善达克沙地植物群落建群种也主要由这几个大科植物组成,如小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、耧斗菜叶绣线菊(*Spiraea aquilegifolia*)、盐蒿(*Artemisia halodendron*)、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)等。

#### 3.2.2 生活型组成

本次调查共发现植物256种。乔木13种,占5.1%;灌木39种,占15.2%;半灌木10种(半灌木8种、小半灌木2种),占3.9%;一/二年生草本59种,占23%;多年生草本135种,占52.7%。草本植物占比超过75%,且以多年生草本为主。这既表现出草

原区的基本性质,也突出了沙地植被的特殊性。

浑善达克沙地的植被生活型随降水梯度的变化有明显的差异,越是水分条件好的区域,多年生草本植物和乔木的比例越高,一年生草本植物的占比越小。对4个区样方内植物的生活型统计数据显示(图2):1区样地中共有33种植物,其中草本植物占84.9%(一年生草本48.5%,多年生草本36.4%),灌木、半灌木占比分别为9.1%和6.1%,没有乔木;2区样地中共有111种植物,其中多年生草本占46%,一年生草本占30.6%,灌木占18%,半灌木占3.6%,乔木仅占1.8%;3区共发现146种植物,其中乔木和多年生草本的比例明显增高,分别为7.5%和56.2%,灌木、半灌木和一年生草本占13.7%、1.4%和21.2%;4区共62种植物,其中草本植物共占80.6%(其中多年生草本植物占到62.9%,为各区最高占比;一年生草本仅17.7%,为各区最低),乔木占6.5%,灌木和半灌木各占9.7%和3.2%。总的看来,样地中的草本植物占到73.6%(其中多年生草本占到51.2%,一/二年生草本22.4%),乔木、灌木、半灌木分别占5.9%、16.6%和3.9%。可见,浑善达克沙地的植物以草本和灌木为主,这些植物的生长和繁殖主要是依赖环境的异质性所形成的特殊环境来维持。

#### 3.2.3 受保护植物

本研究调查到的植物中,有特有或重点保护植物17科21属21种(表3)。其中,中国特有种8科8属8种,占16.7%、5.3%和3.1%;国家Ⅱ级重点保护野生植物3科3属3种,占6.3%、2%和1.2%;内蒙古重点保护草原野生植物11科13属13种,占22.9%、8.7%和5%(表3)。沙芥同属于中国特有种和内蒙古重点保护草原野生植物,草麻黄、甘草同属于国家重点保护野生植物和内蒙古重点保护草原野生植物。其中,1区有7种,草麻黄和马蔺仅在1区有记录;2区有8种,沙芥和长冬草仅在2区有记录;3区有11种,问荆、细叶益母草、长柱沙参、白扦、北柴胡仅发现在3区;4区有6种,甘草、百里香、虎榛子仅在该区有记录。防风分布在2、3、4区,沙木蓼分布在1、3、4区,还有7个种分布在2个区。

### 3.3 典型群落优势种组成

受气候,特别是水分条件的影响,浑善达克沙地东部主要为温带落叶小叶疏林,向西逐渐过渡为温带阔叶灌丛、温带草原和温带荒漠。主要植物群

表 2 浑善达克沙地植物优势科组成  
Table 2 The plant dominant families in the Otingdag Sandy Land

降水分区	科	属数	占总属数的比例/%	种数	占总种数的比例/%
<200 mm	苋科(Amaranthaceae)	9	31.03	12	36.36
	禾本科(Poaceae)	8	27.59	8	24.24
优势合计	2	17	58.62	20	60.61
总计	11	29	100.00	33	100.00
200—300 mm	菊科(Asteraceae)	11	11.96	21	15.56
	禾本科(Poaceae)	15	16.30	18	13.33
	豆科(Fabaceae)	8	8.70	17	12.59
	苋科(Amaranthaceae)	11	11.96	15	11.11
	石蒜科(Amaryllidaceae)	1	1.09	6	4.44
	唇形科Lamiaceae	5	5.43	5	3.70
	蔷薇科(Rosaceae)	4	4.35	5	3.70
优势合计	6	55	59.78	87	64.44
总计	37	92	100.00	135	100.00
300—400 mm	菊科(Asteraceae)	15	13.27	26	15.38
	禾本科(Poaceae)	15	13.27	19	11.24
	蔷薇科(Rosaceae)	9	7.96	18	10.65
	豆科(Fabaceae)	10	8.85	16	9.47
	苋科(Amaranthaceae)	7	6.19	8	4.73
	毛茛科(Ranunculaceae)	4	3.54	6	3.55
	唇形科(Lamiaceae)	5	4.42	5	2.96
	伞形科(Apiaceae)	5	4.42	5	2.96
	石竹科(Caryophyllaceae)	3	2.65	5	2.96
	天门冬科(Asparagaceae)	2	1.77	5	2.96
	石蒜科(Amaryllidaceae)	1	0.88	5	2.96
优势合计	11	76	67.26	118	69.82
总计	40	113	100.00	169	100.00
>400 mm	禾本科(Poaceae)	10	18.18	12	16.00
	豆科(Fabaceae)	6	10.91	10	13.33
	菊科(Asteraceae)	4	7.27	10	13.33
	苋科(Amaranthaceae)	5	9.09	7	9.33
	蔷薇科(Rosaceae)	4	7.27	5	6.67
	毛茛科(Ranunculaceae)	2	3.64	3	4.00
	天门冬科(Asparagaceae)	2	3.64	3	4.00
	石蒜科(Amaryllidaceae)	1	1.82	3	4.00
优势合计	8	34	61.82	53	70.67
总计	27	55	100.00	75	100.00

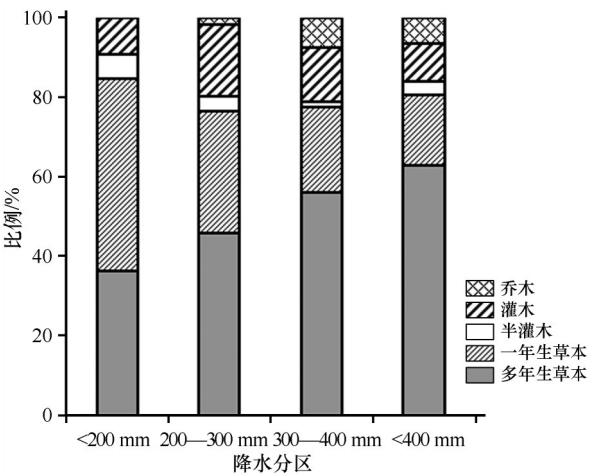


图2 浑善达克沙地各区生活型谱对比  
Fig.2 Comparison of life form spectrums in each area of the Otingdag Sandy Land

落优势物种见表4。3区最为常见的沙地榆稀树草

原上,灌木层优势种有黄柳(*Salix gordejievii*)、稷斗叶绣线菊(*Spiraea aquilegiifolia*)、乌柳(*Salix cheilophila*)、柴桦(*Betula fruticosa*)等,在群落中的地位和作用仅次于乔木层的榆树(*Ulmus pumila*);草本层优势种为冰草(*Agropyron cristatum*)、盐蒿(*Artemisia halodendron*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等。2区常见的为小叶锦鸡儿灌丛,优势种为小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*),伴生种有狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)、盐蒿(*Artemisia halodendron*)、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)等。

从表4可以看出,2—4区均有榆树疏林分布,但榆树在群落中的重要性有着明显的差异:4区榆树重要值仅为0.36,3区为0.39,2区为0.64。这说明越是水分条件差的地方,榆树在群落中的地位越重要。

表3 浑善达克沙地保护植物名录  
Table 3 List of protected plants in the Otingdag Sandy Land

中文名	科	中国 特有种	国家重点保护 野生植物	内蒙古重点保护 草原野生植物	降水 分区
沙芥( <i>Pugionium cornutum</i> )	十字花科(Brassicaceae)	√		√	2
草麻黄( <i>Ephedra sinica</i> )	麻黄科(Ephedraceae)		II	√	1
二色补血草( <i>Limonium bicolor</i> )	白花丹科(Plumbaginaceae)			√	3、4
防风( <i>Saposhnikovia divaricata</i> )	伞形科(Apiaceae)			√	2、3、4
甘草( <i>Glycyrrhiza uralensis</i> )	豆科(Fabaceae)		II	√	4
苦参( <i>Sophora flavescens</i> )	豆科(Fabaceae)			√	1、2
沙木蓼( <i>Atraphaxis bracteata</i> )	蓼科(Polygonaceae)			√	1、3、4
问荆( <i>Equisetum arvense</i> )	木贼科(Equisetaceae)			√	3
细叶益母草( <i>Leonurus sibiricus</i> )	唇形科(Lamiaceae)			√	3
野苜蓿( <i>Medicago falcata</i> )	豆科(Fabaceae)			√	1、2
玉竹( <i>Polygonatum odoratum</i> )	百合科(Liliaceae)			√	2、3
长柱沙参( <i>Adenophora stenanthina</i> )	桔梗科(Campanulaceae)			√	3
长柄扁桃( <i>Prunus pedunculata</i> )	蔷薇科(Rosaceae)			√	1、3
白扦( <i>Picea meyeri</i> )	松科(Pinaceae)	√			3
百里香( <i>Thymus mongolicus</i> )	唇形科(Lamiaceae)	√			4
北柴胡( <i>Bupleurum Chinense</i> )	伞形科(Apiaceae)	√			3
虎榛子( <i>Ostryopsis davidiana</i> )	桦木科(Betulaceae)	√			4
乌丹蒿( <i>Artemisia wudanica</i> )	菊科(Asteraceae)	√			2、3
长冬草( <i>Clematis hexapetala</i> var. <i>tchefouensis</i> )	毛茛科(Ranunculaceae)	√			2
中国沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> )	胡颓子科(Elaeagnaceae)	√			1、2
马蔺( <i>Iris lactea</i> )	鸢尾科(Iridaceae)		II		1

降水分区:1,<200 mm; 2,200—300 mm; 3,300—400 mm; 4,>400 mm。

表 4 浑善达克沙地典型群落优势种数量特征

Table 4 Quantitative characteristics of typical communities in the Otingdag Sandy Land

降水 分区	群系	植被层	物种	密度 /(株·hm <sup>-2</sup> )	平均高度 /m	平均冠幅 面积/m <sup>2</sup>	盖度 /%	重要 值
<200 mm	小果白刺荒漠	灌木	小果白刺( <i>Nitraria sibirica</i> )				39.29	0.65
		草本	芨芨草( <i>Achnatherum splendens</i> )				20.00	2.23
		草本	西北针茅( <i>Stipa sareptana</i> var. <i>krylovii</i> )				1.00	1.00
		草本	雾冰藜( <i>Bassia dasyphylla</i> )				23.56	0.70
	小叶锦鸡儿灌丛	灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	460	0.67	4.36	20.04	0.68
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				28.20	1.94
		草本	沙蓬( <i>Agriophyllum squarrosum</i> )				52.22	0.74
		草本	蒙古虫实( <i>Corispermum mongolicum</i> )				6.56	0.51
	盐爪爪+红砂荒漠	草本	盐爪爪( <i>Kalidium foliatum</i> )				20.00	0.97
		草本	红砂( <i>Reaumuria soongarica</i> )				10.00	0.65
		草本	珍珠猪毛菜( <i>Salsola passerina</i> )				6.67	0.70
200— 300 mm	长柄扁桃灌丛	灌木	长柄扁桃( <i>Prunus pedunculata</i> )	1760	0.42	0.75	10.26	0.62
		灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	370	0.28	0.63	1.38	0.39
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				2.67	1.46
		草本	黄香草木樨( <i>Melilotus officinalis</i> )				10.00	1.39
		草本	石生针茅( <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>klemenzii</i> )				3.94	0.76
	小叶锦鸡儿灌丛	灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	753.3	1.65	2.18	13.36	0.66
		灌木	狭叶锦鸡儿( <i>Caragana stenophylla</i> )	410	0.40	0.19	0.70	0.41
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				11.80	1.18
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				11.27	0.71
		草本	蒙古虫实( <i>Corispermum mongolicum</i> )				17.26	0.52
	乌柳灌丛	灌木	乌柳( <i>Salix cheilophila</i> )	230	1.86	4.77	9.85	0.49
		灌木	黄柳( <i>Salix gordejewii</i> )	420	1.25	1.77	7.63	0.45
		灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	355	0.77	2.91	11.69	0.41
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				10.71	0.96
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				27.88	0.73
		草本	蒙古虫实( <i>Corispermum mongolicum</i> )				21.64	0.48
	榆树疏林	乔木	榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	423.5	6.75	20.38	20.66	0.64
		灌木	长柄扁桃( <i>Prunus pedunculata</i> )	700	1.61	1.58	11.07	0.68
		灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	320	0.55	3.23	10.32	0.31
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				4.00	1.03
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				36.00	1.02
		草本	雾冰藜( <i>Bassia dasyphylla</i> )				47.33	0.83
300— 400 mm	白桦林	乔木	白桦( <i>Betula platyphylla</i> )	257.3	8.94	7.33	30.49	0.53
		乔木	蒙古栎( <i>Quercus mongolica</i> )	48.5	5.26	18.04	2.79	0.27
		灌木	繸斗菜叶绣线菊( <i>Spiraea aquilegiifolia</i> )	1293.3	0.71	0.89	2.87	0.35

续表4

300— 400 mm	白桦林	灌木	山杏( <i>Prunus sibirica</i> )	400	1.37	2.89	11.55	0.67
		草本	拂子茅( <i>Calamagrostis epigeios</i> )				9.00	0.94
		草本	冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )				22.17	0.52
		草本	羽茅( <i>Achnatherum sibiricum</i> )				12.00	0.95
	黄柳灌丛	灌木	黄柳( <i>Salix gordejevii</i> )	160	1.84	14.33	18.57	0.54
		灌木	小叶锦鸡儿( <i>Caragana microphylla</i> )	1350	0.67	0.80	10.84	0.49
		草本	蒙古虫实( <i>Corispermum mongolicum</i> )				27.58	0.53
		草本	沙鞭( <i>Psammochloa villosa</i> )				11.80	1.01
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				20.87	0.90
	盐蒿荒漠	草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				12.12	1.05
		草本	冰草( <i>Agropyron cristatum</i> )				17.31	0.76
		草本	寸草( <i>Carex duriuscula</i> )				54.65	0.73
	榆树疏林	乔木	榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	35.5	6.45	26.78	2.17	0.39
		灌木	黄柳( <i>Salix gordejevii</i> )	176	2.57	6.74	11.02	0.50
		灌木	耧斗菜叶绣线菊( <i>Spiraea aquilegiifolia</i> )	1066.7	0.65	0.56	6.09	0.43
		草本	冰草( <i>Agropyron cristatum</i> )				14.46	0.81
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				31.44	0.81
		草本	冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> )				21.39	0.49
>400 mm	杜松林	乔木	油松( <i>Pinus tabuliformis</i> )	7	7.00	32.99	0.49	0.36
		乔木	杜松( <i>Juniperus rigida</i> )	40	6.00	28.27	2.40	0.32
		灌木	山杏( <i>Prunus sibirica</i> )	2060	1.22	1.71	35.20	0.62
		灌木	黄柳( <i>Salix gordejevii</i> )	20	1.80	7.07	1.41	0.33
		草本	拂子茅( <i>Calamagrostis epigeios</i> )				19.00	0.76
		草本	苦参( <i>Sophora flavescens</i> )				30.00	0.66
		草本	盐蒿( <i>Artemisia halodendron</i> )				10.00	0.64
	山杏灌丛	灌木	山杏( <i>Prunus sibirica</i> )	640	0.90	0.78	5.01	0.53
		灌木	中国沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> )	20	2.30	3.79	0.76	0.42
		草本	防风( <i>Saposhnikovia divaricata</i> )				55.00	0.86
		草本	益母草( <i>Leonurus japonicus</i> )				5.00	0.78
		草本	狼毒( <i>Stellera chamaejasme</i> )				20.00	0.69
	榆树疏林	乔木	榆树( <i>Ulmus pumila</i> )	79	3.47	3.18	2.74	0.36
		灌木	黄柳( <i>Salix gordejevii</i> )	980	0.88	1.89	18.54	0.54
		灌木	中国沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i> )	340	1.30	0.79	2.67	0.39
		草本	赖草( <i>Leymus secalinus</i> )				1.00	0.98
		草本	乌丹蒿( <i>Artemisia wudanica</i> )				20.00	0.69
		草本	华北岩黄芪( <i>Hedysarum gmelinii</i> )				35.00	0.63



## 4 讨论

### 4.1 降水对浑善达克沙地植被的影响

浑善达克沙地降水量东西跨度大,呈现出明显的地带性分布特征。水分条件的差异造就了完全不同的植被景观。东部为稀树草原,西部为荒漠草原,物种也从中生植物向旱生植物逐渐过渡。这是植被对环境适应的结果。

植被分布与诸多环境因子密切相关,水分因子是最直接的因子。常学礼等<sup>[34]</sup>对科尔沁沙地物种多样性与年降水量的变化进行了分析,结果表明植物物种丰富度对降水量变化的反应较强,且生长期降水量对物种多样性的影响大于年降水。李震等<sup>[33]</sup>通过分析西北地区植被变化与温度、降水变化的关系发现,归一化植被指数与降水存在明显的正相关关系,而与温度变化的关系并不明显,表明降水是影响西北地区植被变化最主要的自然因素。刘铁山<sup>[40]</sup>对浑善达克沙地南缘疏林草地植被特征的研究表明,水分是浑善达克沙地植被生长的限制性因子。本研究显示,随着降雨量从西到东逐渐增加,不同分区的植被类型、物种组成及物种多样性等方面存在着差异,相同植被类型的盖度、密度在降水量超过300 mm的区域明显增加,这与张腊梅等<sup>[41]</sup>的研究基本一致,降水量增加对多样性指数影响不显著,但明显提高了植被的种群密度和盖度。

榆树是浑善达克东部地区最主要的树种。在小尺度的研究表明,榆树疏林在不同的地形因子上的生长状况明显取决于土壤水分及养分条件<sup>[40]</sup>。然而也有研究显示,温度和降水不是影响浑善达克沙地榆树分布格局的主要因素<sup>[42]</sup>。本研究结果表明,浑善达克沙地榆树疏林分布格局同样受降水梯度的影响,水分条件越差的地方,榆树在群落中的地位越重要。

### 4.2 浑善达克沙地的物种组成

植被是一个地区植物群落的总体,是在环境因素和人为因素影响下,长期发展演化的结果<sup>[43]</sup>,与其他要素的联系最为密切,因此植被研究是解释自然环境规律的重要手段<sup>[44]</sup>。浑善达克沙地共发现天然维管植物46科149属256种,其中菊科、禾本科和豆科植物数量最多,这与毛乌素沙地是一致的,但物种丰富度比毛乌素沙地(68科224属401种)略

低<sup>[45]</sup>。这与两个沙地的气候条件有一定的关系。毛乌素沙地多年平均降水量150—450 mm,多年平均气温7—9℃,且东部有明显的森林-草原过渡带<sup>[46]</sup>,而浑善达克沙地多年平均降雨量(100—400 mm)略低于毛乌素沙地,植被类型以草原为主。本项目调查到呼伦贝尔沙地有维管植物32科73属96种,数量上远低于浑善达克沙地和毛乌素沙地。呼伦贝尔沙地同样是以草原为主的植被类型,因其所处纬度高,多年平均气温0—2℃,比浑善达克沙地0—3℃的年均温低。这说明温度和降水一样对沙地植物的种类和数量有着较大影响。

浑善达克沙地的草本植物占全部物种的75.7%,呼伦贝尔沙地的草本植物占84.4%,毛乌素沙地为78.8%,不同沙地的物种生活型谱组成是有明显差别的。本研究表明,群落中物种生活型多样性随降水增加而增加,但乔木及一年生草本占比随降水量增加逐渐降低,多年生草本占比逐渐升高。作为沙地主要适生物种,多年生草本如菊科蒿属和豆科黄芪属的植物,在水分条件适宜的环境中具备更高的水分利用效率<sup>[47]</sup>和更强的适应能力<sup>[48]</sup>。

## 5 结论

浑善达克沙地植被类型丰富,共有5个植被组(荒漠、草原、灌丛、针叶林和阔叶林)、12个植被(亚)型、27个植被群系。分布面积最广的群系是榆树(*Ulmus pumila*)疏林和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)灌丛。

物种组成多样。共计有维管植物46科149属256种,其中中国特有种8科8属8种,国家Ⅱ级重点保护野生植物3科3属3种,内蒙古重点保护草原野生植物11科13属13种。草本植物占到75%以上(其中多年生草本占到52.7%,一年生草本23%),乔木、灌木、半灌木分别占5.1%、15.2%和3.9%。

东西部空间差异性明显。浑善达克沙地东部主要为榆树群落为代表的温带落叶小叶疏林和黄柳、乌柳群落为代表的温带落叶灌丛,向西逐渐过渡为小叶锦鸡儿为代表的温带阔叶灌丛及温带草原和温带荒漠。沙地中东部优势科为菊科、禾本科、豆科等,西部的优势科为苋科和禾本科。

### 参考文献:

- [1] Dai A G. Increasing drought under global warming in observations and models [J]. Nature Climate Change, 2013, 3 (2):

- 52-58.
- [2] 卢琦.荒漠生态系统功能评估与服务价值研究[M].北京:科学出版社,2014.
- [3] 杨雪梅,杨太保,刘海猛,等.气候变暖背景下近30 a北半球植被变化研究综述[J].干旱区研究,2016,33(2):379-391.
- [4] Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. Global surface temperature change[J]. Reviews of Geophysics, 2010, 48(4): 1-29.
- [5] Isaac M H. Climate science: the cause of the pause[J]. Nature, 2013, 501(7467): 318-319.
- [6] Poulter B, Pederson N, Liu H Y, et al. Recent trends in inner Asian forest dynamics to temperature and precipitation indicate high sensitivity to climate change[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2013, 178: 31-45.
- [7] 马世威.沙漠学[M].呼和浩特:内蒙古人民出版社,1998.
- [8] 卢琦.中国沙情[M].北京:开明出版社,2000.
- [9] 丁国栋.沙漠学概论[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [10] 李钢铁,姚云峰,左合君.浑善达克沙地桑根达来地区榆树疏林的分布与立地因子的关系的研究[J].世界林业研究,2008, 21: 82-86.
- [11] 陈静生,郭蓄民.内蒙古自治区小腾格里砂地自然景观[J].地理学报,1960,1: 23-34.
- [12] 刘海江.浑善达克沙地植被的生态适应及植物资源特征[D].北京:中国科学院研究生院,2004.
- [13] 王永利.浑善达克沙地植被空间格局与梯度分布研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2004.
- [14] 曹瑞.浑善达克沙地飞播区植被演替研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [15] Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the inner mongolia grassland [J]. Nature, 2004, 431(7005): 181-184.
- [16] Yu Q, Chen Q S, Elser J J, et al. Linking stoichiometric homeostasis with ecosystem structure, functioning and stability [J]. Ecology Letters, 2010, 13: 1390-1399.
- [17] Yang H, Auerswald K, Bai Y F, et al. Complementarity in water sources among dominant species in typical steppe ecosystems of inner mongolia, china [J]. Plant & Soil, 2011, 340(S1-2): 303-313.
- [18] Ye C L, Chen D M, Hall S J, et al. Reconciling multiple impacts of nitrogen enrichment on soil carbon: plant, microbial and geochemical controls [J]. Ecology Letters, 2018, 21(8): 1162-1173.
- [19] Bai Y F, Wu J G, Pan Q M, et al. Positive linear relationship between productivity and diversity: evidence from the eurasian steppe [J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44(5): 1023-1034.
- [20] Bai Y F, Wu J G, Clark C M, et al. Tradeoffs and thresholds in the effects of nitrogen addition on biodiversity and ecosystem functioning: evidence from inner mongolia grasslands [J]. Global Change Biology, 2009, 16(1): 358-372.
- [21] Pan Q M, Tian D S, Naeem S, et al. Effects of functional diversity loss on ecosystem functions are influenced by compensation [J]. Ecology, 2016, 97(9): 2293-2302.
- [22] Chen D M, Pan Q M, Bai Y F, et al. Effects of plant functional group loss on soil biota and net ecosystem exchange: a plant removal experiment in the mongolian grassland [J]. Journal of Ecology, 2016, 104(3): 734-743.
- [23] Chen S P, Wang W T, Xu W T, et al. Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(16): 4027-4032.
- [24] Wolf B, Zheng X H, Brüggemann N, et al. Grazing-induced reduction of natural nitrous oxide release from continental steppe [J]. Nature, 2010, 464(7290): 881-884.
- [25] Wan H W, Bai Y F, Schnbach P, et al. Effects of grazing management system on plant community structure and functioning in a semiarid steppe: scaling from species to community [J]. Plant & Soil, 2011, 340(S1-2): 215-226.
- [26] Cease A J, Elser J J, Ford C F, et al. Heavy livestock grazing promotes locust outbreaks by lowering plant nitrogen content [J]. Science, 2012, 335(6067): 467-469.
- [27] 陈平平,丁国栋,王贤.浅谈浑善达克沙地综合治理模式[J].水土保持学报,2003,5: 74-76.
- [28] 刘鸿雁,田育红,丁登.内蒙古浑善达克沙地和河北坝上地区不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献[J].科学通报,2003,11: 1229-1232.
- [29] 姜维新,张荔.浑善达克沙地封育保护的生态经济效益评价[J].内蒙古林业科技,2006,32(4): 39-41.
- [30] 李新荣,刘新民,杨正宇.鄂尔多斯高原荒漠化草原和草原化荒漠灌木类群与环境关系的研究[J].中国沙漠,1998,18(2): 123-130.
- [31] Li X R, Song G, Hui R, et al. Precipitation and topsoil attributes determine the species diversity and distribution patterns of crustal communities in desert ecosystems [J]. Plant and Soil, 2017, 420(1/2): 163-175.
- [32] 马全林,张德奎,袁宏波,等.乌兰布和沙漠植被数量分类及环境解释[J].干旱区资源与环境,2019,33(9): 160-167.
- [33] 李震,阎福礼,范湘涛.中国西北地区NDVI变化及其与温度和降水的关系[J].遥感学报,2005,9(3): 308-313.
- [34] 常学礼,赵爱芬,李胜功.科尔沁沙地固定沙丘植被物种多样性对降水变化的响应[J].植物生态学报,2000,24(2): 147-151.
- [35] 张志永,时忠杰,杨晓晖,等.浑善达克沙地榆树疏林中木本植物空间格局及种内和种间关系分析[J].植物资源与环境学报,2019,28(3): 33-43.
- [36] 丁国栋,蔡京艳,王贤,等.浑善达克沙地沙漠化成因、过程及其防治对策研究:以内蒙古正蓝旗为例[J].北京林业大学学报,2004,4: 15-19.
- [37] 王璇,陈国科,郭柯,等.1:100万中国植被图森林和灌丛群系类型的补充资料[J].生物多样性,2019,27(10): 1138-1142.
- [38] 卢琦,王继和,褚建民.中国荒漠植物图鉴[M].北京:中国林业出版社,2012.
- [39] 崔大方,廖文波,张宏达.新疆种子植物科的区系地理成分分析[J].干旱区地理,2000,23(4): 326-330.
- [40] 刘铁山.浑善达克沙地南缘榆树疏林草地植被特征研究[D].

- 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [41] 张腊梅,刘新平,赵学勇,等.科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应[J].生态学报,2014,34(10):2737-2745.
- [42] 杨婧.浑善达克沙地榆分布格局与气候及地下水关系的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [43] 吴征镒.中国植被[M].北京:科学出版社,1980.
- [44] 张新时.中国植被及其地理格局:中华人民共和国植被图(1:1 000 000)说明书[M].北京:地质出版社,2007.
- [45] 李志熙.毛乌素沙地高等植被调查与研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [46] 高岩.1990-2015年中国北方四大沙地典型植被覆被格局变化及其影响因子[D].北京:北京林业大学,2019.
- [47] 王皎月,秦树高,张宇清.毛乌素沙地植被水分利用效率的时空格局[J].中国沙漠,2020,40(5):120-129.
- [48] 张德魁,马全林,靳虎甲,等.乌兰布和沙漠草本植物的组成和多样性[J].草原与草坪,2011,31(5):7-11.

## Types and characteristics of plant communities in the Otingdag Sandy Land

Qi Danhui<sup>1a,2</sup>, Yang Hongxiao<sup>3</sup>, Lu Qi<sup>1ab</sup>, Gan Honghao<sup>1c</sup>, Chu Jianmin<sup>1c</sup>

(1.a.Institute of Desertification Studies / b.Experimental Center of Desert Forestry / c.Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2.College of Ecology and Environment, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China)

**Abstract:** Vegetation in the Otingdag Sandy Land plays an important role in maintaining the desert-grassland ecosystem stability, promoting ecological security of the Beijing-Tianjin-Hebei region. Due to different water conditions, the vegetation in the Otingdag Sandy Land has obvious zonality from the east to the west, and the species composition and community structure are obviously different. On the basis of field survey, the vegetation types of the Otingdag Sandy Land under different precipitation conditions were classified, and the species composition and diversity characteristics of the community under different water conditions were analyzed. The results showed that: (1) There were abundant vegetation types in the Otingdag Sandy Land, including 5 vegetation type groups, 12 vegetation (sub) types and 27 vegetation groups, which has obvious zonal characteristics. (2) There are 256 species of vascular plants in 46 families, 149 genera, and more than 75% of them are herbaceous plants. (3) The community diversity varies greatly from east to west. The dominant families in the middle and east side are Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, while the dominant families in the west side are Amaranthaceae, Poaceae. The results can provide basic data for vegetation protection and utilization in the Otingdag Sandy Land.

**Key words:** Otingdag Sandy Land; community type; species composition; community characteristics