

中国北部六种沙蒿的地理替代规律及其主导生态因子

王铁娟^{1,2}, 杨 持^{1*}, 吕桂芬², 马春明¹, 陈海英²

(1. 内蒙古大学生态与环境科学系, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022)

摘要:对广泛分布于中国北部草原区沙地与荒漠区的 6 种沙蒿进行野外实地考察、标本查阅、分布区气象数据搜集与土壤成分测定, 通过分析得到以下结果: ① 差不嘎蒿为东蒙古-科尔沁分布种, 褐沙蒿是浑善达克沙地分布种, 黑沙蒿为腾格里-鄂尔多斯分布种, 白沙蒿为戈壁-蒙古种, 准噶尔沙蒿为中亚种, 乌丹蒿为科尔沁沙地西部种。② 黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿呈现出从西南向东北的地理替代分布, 白沙蒿与准噶尔沙蒿构成东西向的地理替代分布。乌丹蒿由于与另几个种的亲缘关系较远, 不作为这几个种的地理替代种。③ 利用方差分析的方法分析了 5 种沙蒿分布区内的热量、水分及土壤指标的差异, 在黑沙蒿、褐沙蒿与差不嘎蒿这一地理替代中, 黑沙蒿在年均温、最冷月均温、年较差、寒冷指数、6~7 月份降水、湿润指数、水热综合因子、土壤酸碱度、土壤全磷含量上均与另两个种存在着显著差异。黑沙蒿向东北被褐沙蒿所替代, 应该是水热以及土壤因子的综合作用。褐沙蒿与差不嘎蒿分布区内, 主要是 5~6 月份的降水存在着显著差异, 也就是生长季前半期的干旱是褐沙蒿区别于差不嘎蒿并使两者之间发生替代的原因。对于白沙蒿与准噶尔沙蒿这一对地理替代种, 同样是降水的变率是两者发生替代的原因。

关键词:沙蒿; 地理替代分布; 主导生态因子

文章编号: 1000-0933(2005)05-1012-07 **中图分类号:** Q941.2, Q948.11 **文献标识码:** A

An analysis of the geographical substitute law and driven factors for six sandy plants of genus *Artemisia* in Northern China

WANG Tie-Juan^{1,2}, YANG Chi^{1*}, LÜ Gui-Fen², MA Chun-Ming¹, CHEN Hai-Ying² (1. College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China; 2. College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1012~1018.

Abstract: This paper focuses on studying the six sand plants of genus *Artemisia* L. — *A. halodendron* Turcz. ex Bess., *A. halodendron* Turcz. ex Bess., *A. intramongolica* H. C. Fu, *A. ordosica* Krasch., *A. sphaerocephala* Krasch., *A. songarica* Schrenk. and *A. wudanica* Liou et W. Wang. They are semi-shrub derived from the same section *Dracunculus* of genus *Artemisia* with close kinships and quite similar morphological characteristics. Distributed in sandy land of steppe and desert region in northern China, they are edificators or dominant species of sandy vegetation and play important roles in wind break and sand dune fixation. Their distributions have remarkable regional characteristics and replace each other in space, and thus become geographical replacement species. The distribution regions of the six species were identified and mapped by analyzing a large number of specimens and reviewing floras and correspond references. Meteorological data and soil samples from areas of the six species were collected for determining driven factors. According to geographical distribution of the six species, *Artemisia halodendron* Turcz. ex Bess. was referred to as East-Mongolia Kerqin distributive species, *A. intramongolica* H. C. Fu as Hunshandake sandy land distributive species, *A. ordosica* Krasch. as Tengeli-Erdos species, *A. sphaerocephala* Krasch. as Gobi-Mongolia species, *A. songarica* Schrenk. as Central-Asia species, *A. wudanica* Liou et W. Wang as west Kerqin sandy

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000048704);内蒙古自治区自然科学基金资助项目(200308020509);内蒙古自治区高等学校科学研究资助项目(NJ03035)

收稿日期: 2004-07-17; **修订日期:** 2005-02-26

作者简介:王铁娟(1969~),女,河北任丘人,博士,副教授,主要从事植物生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: Yangchi@mail.imu.edu.cn

Foundation item: Chinese National Key Project for Basic Scientific Research(No. G2000048704); Inner Mongolia Natural Science Foundation(No. 200308020509); Science Research Project of Higher Institute, Inner Mongolia(No. NJ03035)

Received date: 2004-07-17; **Accepted date:** 2005-02-26

Biography: WANG Tie-Juan, Ph.D., Associate professor, mainly engaged in plant ecology.

land species. The substitutions among these species showed that *A. ordosica* replaced *A. intramongolica* and *A. intramongolica* replaced *A. halodendron* from southwest to northeast and that *A. sphaerocephala* replaced *A. songarica* from west to east. The kinships between *A. wudanica* and others were far, so *A. wudanica* was not geographical replacement species for others. The differences among these five species in terms of temperatures, precipitation and soil property were examined with variance analysis. In the geographical replacement of *A. ordosica*, *A. intramongolica* and *A. halodendron*, *A. ordosica*, comparing with two other species showed significant differences in annual mean temperature, the coldest month mean temperature, annual temperature range, Kira's coldness index, the precipitation in June and July, humidity index, Humid/arid index, soil pH, the content of total phosphorus. It was caused by the synthetic effects of water, heat and soils that *A. ordosica* was replaced gradually in northeast by *A. intramongolica*. In the areas of *A. intramongolica* and *A. halodendron*, the precipitation of May and June was different significantly. Drought in the former half period of growing season characterized *A. intramongolica* region other than *A. halodendron* region, which was likely to be the reason of replacement between them. Similarly, the variation of precipitation played an important role in the replacement between *A. sphaerocephala* and *A. songarica*.

Key words: sand plants of *Artemisia*; geographical substitute distribution; driven factors

地理替代现象是植物分布中的普遍现象,替代种间多为直接演化的关系。但对地理替代种的研究多集中在替代的规律性方面,对于替代原因方面的研究还少见报道。蒿属植物亲缘关系复杂,生态分化的多样性很突出,在迁移进化过程中,形成较为复杂的种间地理替代。其中沙生种间的地理替代最引人关注,因为它们在沙漠中扮演着重要的角色。它们之间是怎样替代的?是哪些生态因子促使它们之间发生替代?这是人们感兴趣并想进一步研究的问题。

目前我国西部的沙漠化治理是一个重要的生态学课题,所研究的这 6 个地理替代种广泛地分布于我国西部和北部的沙地,是沙地的建群种或优势种,为重要的固沙植物,而它们的分布又表现出明显的区域特征。因此本研究对于进一步利用沙蒿类植物进行区域沙漠化治理具有实践指导意义。同时对进一步研究蒿属复杂的种间关系与系统进化具有重要的学术价值。

1 采样地点

根据各个种的分布范围确定采样地点,包括典型地带和过渡地带(表 1)。采集植物样品,用于亲缘关系分析(RAPD 分析),在每个取样点取 0~20cm 和 20~40cm 土层的土样,晾干后装入塑料袋中,用于土壤成分的测定。

2 研究方法

2.1 6 种沙蒿分布范围的调查

在表 1 所列的采样地点及沿途进行实地考察。查阅了中国科学院植物研究所、西北植物研究所、寒区旱区环境与工程研究所,兰州大学、内蒙古大学、内蒙古农业大学、中国农业科学院草原研究所等单位的大量标本。参考了各种记载有 6 种沙蒿的“植物志”及其它相关文献^[1~13],从而掌握了 6 种沙蒿的主要形态特征,进而确定它们的分布范围,绘制各个种的分布区图。

2.2 气象数据的搜集与相关指标的计算

搜集各个种分布区内的气象资料,来自国家气象局气象台站(以旗县为单位)1971~2000 年的记录,以及哈萨克斯坦和蒙古国部分台站的记录。采用了年及各月平均气温、降水量,并计算了其它具生物学意义的指标。分析的主要指标包括热量、水分以及水热综合指标。在热量指标中,包括 5 类指数:Kira 的温暖指数(WI)^[14]、寒冷指数(CI)^[15]、平均温度(年均温 AMT)、年较差以及最暖月和最冷月的平均温度(MTWM、MTCM);湿度指标中使用徐文铎的湿润指数(HI)^[16]、年降水量(AP)以及 1~12 月各月平均降水量;水热综合指标使用 Bailey^[17]的水热综合因子指数(S)。所计算的指标的公式如下:

$$\text{①温暖指数(WI)} \quad WI = \sum_{i=1}^{12} (t_i - 5)$$

式中, t_i 为大于 5℃ 的月均温。

$$\text{②寒冷指数(CI)} \quad CI = \sum_{i=1}^{12} (5 - t_i)$$

式中, t_i 为小于 5℃ 的月均温。

$$\text{③年较差(ART)} \quad ART = (MTWM - MTCM)$$

式中, MTWM 为最暖月平均温度, MTCM 为最冷月平均温度。

$$\text{④湿润指数(HI)} \quad HI = P/WI$$

式中, P 为年降水量(mm), WI 为温暖指数。

$$\text{⑤水热综合因子指数} \quad S = \sum_{i=1}^{12} 0.18r_i/1.045'$$

式中, r_i 为月降水量(mm), t 为月平均温度。

表 1 采样地点和生境

Table 1 The habitats and sites of the samples

序号 No.	种 Species	采集地点 Sampling sites	生境 Habitat
1	<i>A. songarica</i>	内蒙古额济纳旗 Ejina, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
2	<i>A. sphaerocephala</i>	内蒙古阿拉善左旗李井滩 Luanjingtan of Alashan, Inner Mongolia	流动沙丘 Drifting dune
3	<i>A. sphaerocephala</i>	宁夏中卫沙坡头 Shapotou of Zhongwei, NingXia	流动沙丘 Drifting dune
4	<i>A. sphaerocephala</i>	内蒙古乌海市 Wuhai, Inner Mongolia	流动沙丘 Drifting dune
5	<i>A. sphaerocephala</i>	内蒙古乌海市 Wuhai, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
6	<i>A. sphaerocephala</i>	陕西榆林市大保当 Yulin, Shaanxi	半流动沙地 Semi- drifting sand
7	<i>A. sphaerocephala</i>	内蒙古锡林浩特市 Xilinhote, Inner Mongolia	半流动沙丘 Semi- drifting dune
8	<i>A. ordosica</i>	宁夏中卫沙坡头 Shapotou of Zhongwei, NingXia	固定沙地 Fixed sandy land
9	<i>A. ordosica</i>	内蒙古鄂托克旗 Etuoke, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
10	<i>A. ordosica</i>	陕西榆林市大保当 Yulin, Shaanxi	半固定沙地 Semi-fixed sandy land
11	<i>A. ordosica</i>	内蒙古达拉特旗白泥井 Bainijing of Dalate, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
12	<i>A. ordosica</i>	内蒙古达拉特旗树林召 Shulinzhao of Dalate, Inner Mongolia	覆沙山坡 Sand-covered hill
13	<i>A. intramongolica</i>	内蒙古镶黄旗 Xianghuangqi, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
14	<i>A. intramongolica</i>	内蒙古正镶白旗 Zhengxiangbaiqi, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
15	<i>A. intramongolica</i>	内蒙古克什克腾旗达里湖南 Keshiketeng, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
16	<i>A. intramongolica</i>	内蒙古锡林浩特市 Xilinhaote, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
17	<i>A. halodendron</i>	内蒙古翁牛特旗 Wengniute, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
18	<i>A. halodendron</i>	内蒙古科尔沁左翼后旗 Keerqinhouqi, Inner Mongolia	半固定沙地 Semi-fixed sandy land
19	<i>A. halodendron</i>	内蒙古海拉尔市 Hailaer, Inner Mongolia	固定沙地 Fixed sandy land
20	<i>A. wudanica</i>	内蒙古翁牛特旗 Wengniute, Inner Mongolia	半流动沙丘 Semi- drifting dune

2.3 土壤指标测定方法

全氮的测定采用凯式定氮法、全磷的测定采用钼锑抗比色法、有机质的测定采用重铬酸钾容量法^[18]、pH 值由 PHS-3C 酸度计测定。

3 结果与讨论

3.1 生态地理分布规律

6 种沙蒿在森林草原带、典型草原带、荒漠化草原带的沙地以及草原化荒漠带、典型荒漠带均有分布(表 2)。其中在森林草原带的沙地分布的只有差不嘎蒿,在典型草原带沙地除准噶尔沙蒿外,其它 5 个种均有分布,在荒漠化草原带的沙地和草原化荒漠带分布只有黑沙蒿和白沙蒿 2 种,在典型荒漠带分布的有白沙蒿、准噶尔沙蒿 2 个种。

从分布的生境看,差不嘎蒿可生长于流动沙丘的背风坡、半流动沙丘、半固定沙地、固定沙地和干旱坡地^[19],但在不同的生境中扮演的角色不同,根据李进、常学礼的研究^[19,20],差不嘎蒿在半流动、半固定沙地的植物群落中占绝对优势,起着建群种的作用,但在固定沙地中随着固定化程度的增高则逐渐衰退。褐沙蒿则是固定沙地上的建群种,少量出现在半固定沙丘和覆沙地上。黑沙蒿是半固定和固定沙地的建群种,但随着固定化程度的增高,地表结皮的增加逐渐走向衰退^[21,22]。白沙蒿在流动沙丘、半流动沙丘及半固定沙地是优势植物,并可组成单优势群落,在没有黑沙蒿竞争的条件下可进入固定沙地。乌丹蒿与白沙蒿近似,生长在流动、半流动及半固定沙丘上。准噶尔沙蒿则生长于沙地、覆沙戈壁和干河床上。

经 RAPD 分析的亲缘关系可知,黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿亲缘关系最近。同时它们的形态差异甚微,在空间分布上呈现相互替代:在腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、毛乌素沙地和库布齐沙漠广泛分布着黑沙蒿,向东到了浑善达克沙地则被褐沙蒿所替代,再向东到科尔沁沙地及向北的呼伦贝尔沙地又被差不嘎蒿所替代。从空间上呈现出从西南向东北的地理替代分布(图 1)。

而白沙蒿与准噶尔沙蒿有最近的亲缘关系,白沙蒿从浑善达克沙地、经鄂尔多斯、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠向西直到蒙古的准格尔戈壁,在额济纳河以西与准噶尔沙蒿有所交叉,再向西从准噶尔盆地一直到中亚则被准噶尔沙蒿所替代。构成东西向的地理替代分布(图 2)。

乌丹蒿由于与另几个种的亲缘关系较远,不作为这几个种的地理替代种,而只是与白沙蒿形成假地理替代分布。

3.2 控制沙蒿间替代分布的主导生态因子分析

植物分布的形式多种多样,控制植物分布的生态因子可以分为两大类,即非生物因子和生物因子。非生物因子中气候因子是首要的。其中对植物分布产生影响的主要是温度和降水。土壤因子也是影响植物分布的一个重要因子。

表 2 6 种沙蒿生境类型统计表

Table 2 The statistic table of the habitat type of six species

植被带 Belt	生境 Habitat	差不嘎蒿 <i>A. halo-</i> <i>dendron</i>	褐沙蒿 <i>A. intramon-</i> <i>golica</i>	黑沙蒿 <i>A. ordosica</i>	乌丹蒿 <i>A. A. wud-</i> <i>anica</i>	白沙蒿 <i>A. sphaero-</i> <i>cephala</i>	准噶尔沙蒿 <i>A. song-</i> <i>arica</i>
森林草原带 Forest-Steppe	固定沙地 Fixed sandy land	+					-
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	+					
	半流动沙丘 Semi- drifting dune	+					
	流动沙丘 Drifting dune	+					
典型草原带 Typical- Steppe	固定沙地 Fixed sandy land	+	+	+			
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	+	+	+		+	
	半流动沙丘 Semi- drifting dune	+			+	+	
	流动沙丘 Drifting dune	+			+	+	
荒漠草原带 Desert-Steppe	覆沙土壤 Sand-covered soil		+	+			
	干旱坡地 Drought hill			+			
	固定沙地 Fixed sandy land			+			
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land			+		+	
草原化荒漠带 Steppe- Desert	半流动沙丘 Semi- drifting dune					+	
	流动沙丘 Drifting dune					+	
	固定沙地 Fixed sandy land			+		+	+
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land			+		+	+
典型荒漠带 Typical- Desert	半流动沙丘 Semi- drifting dune					+	
	流动沙丘 Drifting dune					+	
	覆沙戈壁 Sand-covered gobi						+
	干河床 Drought river channel						+

黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿呈现出从西南向东北的地理替代分布,白沙蒿与准噶尔沙蒿构成东西向的地理替代分布,也就是说五种沙蒿构成了两个地理替代系列。在这里我们想探讨的是,什么是造成替代种间相互替代的主导生态因子。从上述的两类因子来看,非生物因子是主要的。因为这些沙蒿是风媒植物,且不靠动物传播繁殖体,而且在草原区沙地或荒漠区广泛分布着以它们为建群种或优势种的群落类型,其它植物对它们的影响只是表现在群落的演替上,使它们在群落中的地位发生变化,甚至走向衰退,但还不能成为限制一种沙蒿分布而向另一种沙蒿演化的关键因子。

在非生物因子中,选择了气候因素中的水热指标和土壤中的 3 种常量元素以及土壤酸碱度(pH)进行了分析。分别计算了平均值、标准差以及范围,对各项指标进行了方差分析,且将多重比较的结果以字母标记的方法标在表中。

从表 3 的各热量指标来看,只有最暖月(7 月份)平均温度在 5 种沙蒿间差异不显著,也就是说,高温与种间的替代没有关系。

其它各项指标差异均显著。如果把两个替代系列分开来看,差不嘎蒿和褐沙蒿在年均温、最冷月平均(1 月份)温度上差异不显著,但明显地低于黑沙蒿。从年较差来看,黑沙蒿明显地低于差不嘎蒿和褐沙蒿。温暖指数和寒冷指数两项指标均达到极显著(大写字母标记)的水平,从温暖指数来看,黑沙蒿比褐沙蒿明显地高,差不嘎蒿介于两者之间。寒冷指数则把黑沙蒿与差不嘎蒿和褐沙蒿明显地分开。而白沙蒿和准噶尔沙蒿在各项温度指标上差异均不显著。

通过以上热量指标的分析,在黑沙蒿、褐沙蒿与差不嘎蒿这一地理替代系列中,温度尤其是冬季的低温是限制黑沙蒿向北分布的限制因子,而褐沙蒿与差不嘎蒿之间的替代与热量指标没有关系。在白沙蒿和准噶尔沙蒿这一地理替代系列中分布,各种热量指标在两个种间均没有显著差异,说明这两种沙蒿间的替代与温度无关。

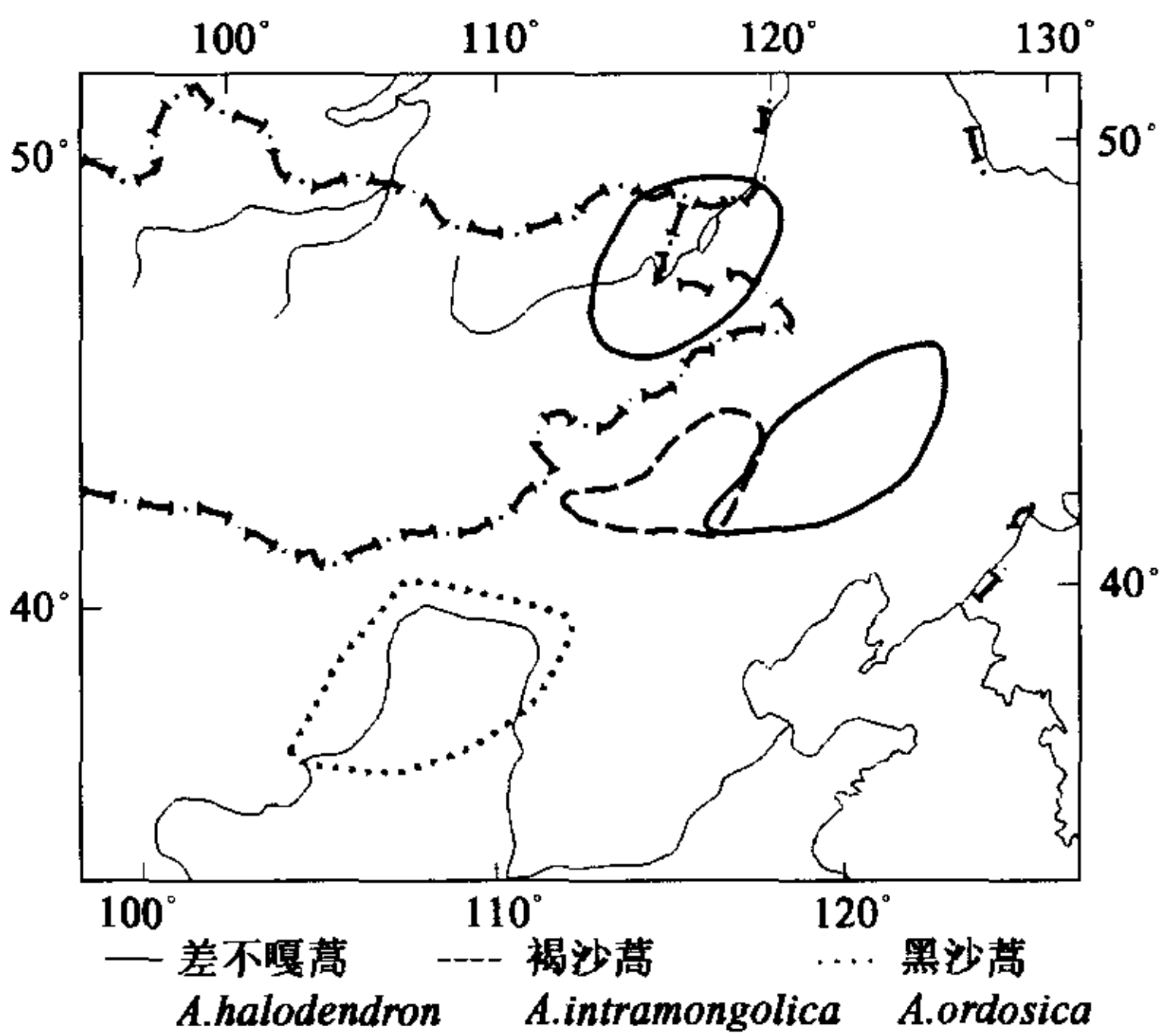


图 1 黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿的地理分布

Fig. 1 Geographical distribution of *A. ordosica*, *A. intramongolica* and *A. halodendron*

从表 4 的各湿度指标来看,均存在着显著或极显著的差异。两个替代系列之间在年降水和湿润指数两项指标中,表现出明显的差异,白沙蒿和准噶尔沙蒿这一对是更为耐旱的类型。而在替代系列的内部,白沙蒿和准噶尔沙蒿之间从这两项指标以及水热综合因子来看差异均不显著。对于另一系列,从年降水看,黑沙蒿与差不嘎蒿差异显著,褐沙蒿介于两者之间。而湿润指数和水热综合因子的结果,差不嘎蒿与褐沙蒿差异不显著,但它们明显地高于黑沙蒿,说明黑沙蒿更耐干旱。在干旱地区,降水的变率对植物往往有着重要的影响,从 1~12 月份降水的情况来看,黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿只在 5~7 月份的降水上存在着显著差异,5 月份差不嘎蒿分布区的降水量明显地高于另两者,6 月份三者之间存在着极显著的差异,差不嘎蒿分布区的降水量最高,褐沙蒿次之,黑沙蒿的分布区降水量最低,7 月份差不嘎蒿与褐沙蒿分布区的降水量没有显著差异,而黑沙蒿的分布区降水量明显为低。白沙蒿和准噶尔沙蒿这一对,除了 5~7 月份、9 月份的降水差异不显著外,其它各月均存在显著或极显著的差异。且除 8 月份外均以准噶尔沙蒿为高,这与它是中亚分布种有关,在中亚以及我国的准噶尔盆地,冬季的降水相对丰富,虽然在分布区的东缘(额济纳)和南界(塔克拉玛干沙漠北缘)冬季降水稀少,但毕竟已处于分布区的边缘。

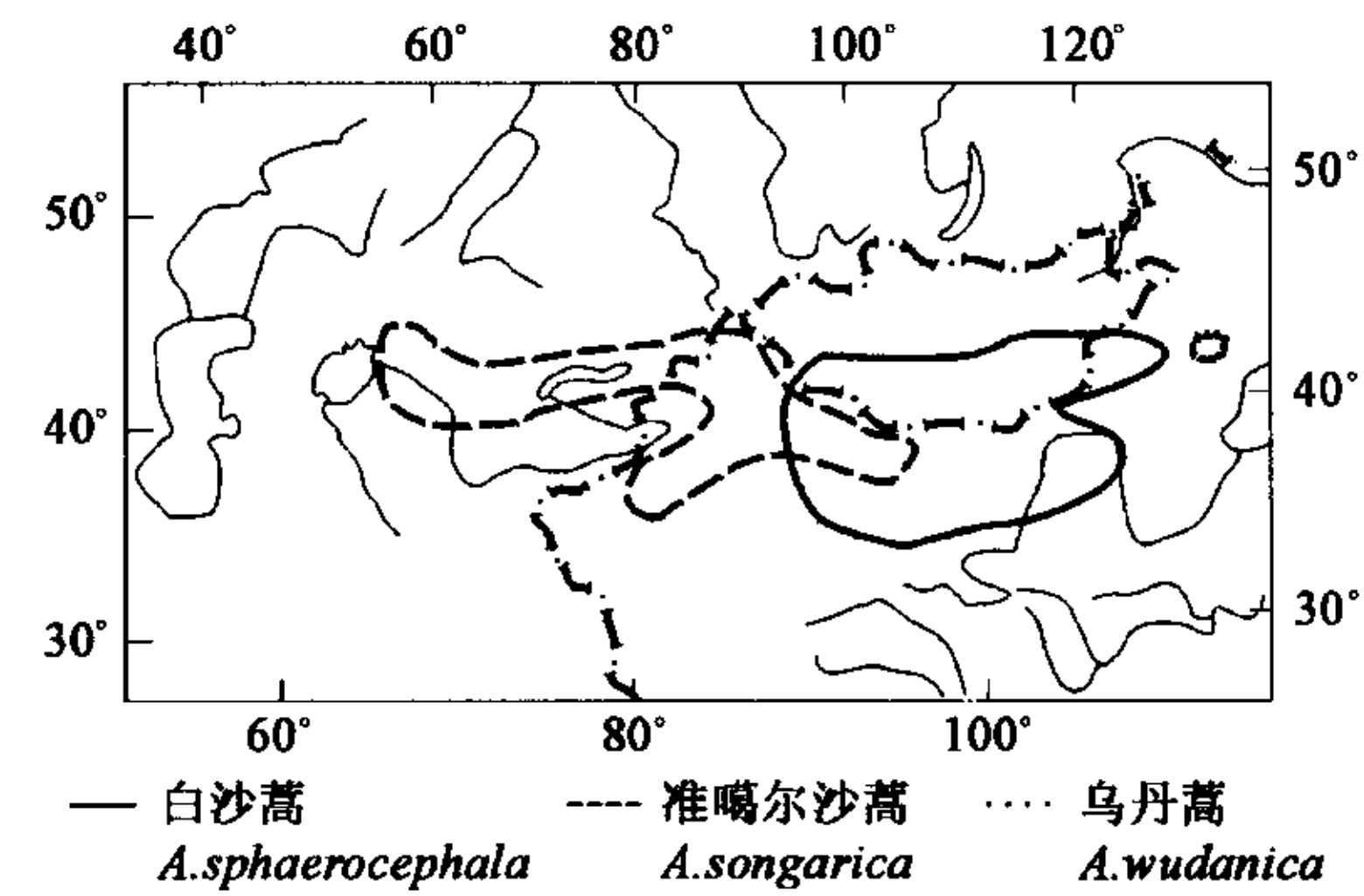


图 2 白沙蒿、准噶尔沙蒿、乌丹蒿的地理分布
Fig. 2 Geographical distribution of *A. sphaerocephala*, *A. songarica* and *A. wudanica*

表 3 5 种沙蒿分布的热量指标
Table 3 The quantity of heat indexes of five species

	差不嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	褐沙蒿 <i>A. intramongolica</i>	黑沙蒿 <i>A. ordosica</i>	白沙蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	准噶尔沙蒿 <i>A. songarica</i>
AMT	4.2±3.6 ^b	3.3±1.3 ^b	7.6±1.1 ^a	6.7±2.3 ^a	6.6±3.2 ^a
MTCM	-16.4±5.8 ^{bc}	-16.5±1.9 ^c	-9.8±1.8 ^a	-11.2±3.3 ^{ab}	-12.9±4.9 ^{ab}
MTWM	22.2±2.1 [—]	20.5±1.1 [—]	22.8±1.0 [—]	22.5±2.8 [—]	23.4±2.7 [—]
ART	36.9±3.7 ^b	37.0±1.6 ^b	32.6±1.7 ^a	33.5±4.0 ^{ab}	36.6±3.9 ^b
WI	68.2±16.7 ^{AB}	56.4±6.1 ^B	78.9±6.8 ^A	76.1±16.5 ^A	82.6±20.0 ^A
CI	-78.5±27.2 ^B	-80.1±9.2 ^B	-48.7±7.4 ^A	-53.3±13.8 ^A	-62.9±21.6 ^{AB}

表中的字母标记为多重比较的结果,每行中两两之间若有一个字母相同,表示两者差异不显著,反之差异显著;如果为大写字母,则显著性水平为 0.01,如果为小写字母,则显著性水平为 0.05;“—”表示 5 个种间的差异均不显著(下同) The alphabets represent the results from multiple comparing between different species; If there is the same alphabet between two species, they aren't different significantly; On the contrary, they are different significantly; If capital letter, $p<0.01$; if small letter, $p<0.05$; “—” represent the differences among 5 species aren't significant, The same below

表 4 5 种沙蒿分布的湿度指标
Table 4 The humidity indexes of five species

	差不嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	褐沙蒿 <i>A. intramongolica</i>	黑沙蒿 <i>A. ordosica</i>	白沙蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	准噶尔沙蒿 <i>A. songarica</i>
AP	370.7±50.0 ^a	329.4±66.5 ^{ab}	281.5±78.6 ^b	153.0±92.1 ^c	138.1±62.1 ^c
MPJan	1.7±0.7 ^B	1.9±0.4 ^B	1.7±0.4 ^B	1.6±1.4 ^B	6.8±4.9 ^A
MPFeb	2.2±0.5 ^B	2.6±0.8 ^B	2.8±1.0 ^B	2.3±2.2 ^B	6.6±4.3 ^A
MPMar	6.7±1.8 ^{a b}	6.2±1.7 ^{a b}	8.1±3.0 ^{a b}	4.5±3.1 ^b	9.9±7.0 ^a
MPApr	14.5±4.2 ^a	10.2±3.3 ^{a b}	11.5±4.6 ^{a b}	6.1±4.7 ^b	13.6±9.6 ^a
MPMay	33.3±6.0 ^a	25.9±6.4 ^b	21.5±6.7 ^{bc}	12.6±8.6 ^d	15.6±9.2 ^{cd}
MPJun	71.8±13.8 ^A	55.3±13.7 ^B	30.5±7.9 ^C	21.1±12.8 ^C	17.6±10.3 ^C
MPJul	116.8±15.3 ^a	101.0±22.9 ^a	65.8±19.4 ^b	40.0±24.3 ^c	21.5±11.5 ^c
MPAug	83.3±12.3 ^a	76.4±16.9 ^a	71.1±17.3 ^a	37.3±23.6 ^b	16.1±9.5 ^c
MPSep	38.2±8.7 ^A	33.2±8.4 ^A	33.9±9.4 ^A	16.4±11.7 ^B	14.6±8.8 ^B
MPOct	18.0±3.3 ^a	14.4±2.6 ^a	14.8±4.2 ^a	7.2±5.9 ^b	13.6±8.4 ^a
MPNov	4.8±1.5 ^A	5.2±1.5 ^A	4.4±2.2 ^A	2.9±2.2 ^A	12.3±8.9 ^B
MPDec	2.5±1.3 ^A	2.1±0.9 ^A	1.2±0.5 ^A	1.3±1.2 ^A	10.3±7.7 ^B
HI	5.7±1.3 ^A	6.3±1.1 ^A	3.5±1.1 ^B	2.1±1.5 ^C	1.9±1.0 ^C
S	34.6±5.1 ^a	35.3±4.7 ^a	23.5±6.2 ^b	14.5±8.7 ^c	22.4±13.4 ^{bc}

MPJan~MPDec 为 1~12 月份降水量 MPJan~MPDec denote the mean precipitation by month from January to December

土壤样品主要是在植物的采集地取的。虽然不能完全代表各种沙蒿分布范围内的土壤变化,但也可以反映大致的趋势。分别取了 0~20cm 和 20~40cm 深度的土壤。从表 5 来看,不同深度的土壤指标在种间做方差分析的结果是一致的。从各项指标

来看,土壤酸碱度(pH)和土壤全磷含量在种间表现出显著的差异,其中黑沙蒿、白沙蒿、准噶尔沙蒿分布区的土壤中的 pH 值极显著地高于差不嘎蒿和褐沙蒿,全磷含量也为前三者显著地高于后两者,而土壤有机质和土壤全氮含量在种间差异不显著。

表 5 5 种沙蒿分布的土壤指标
Table 5 The soil indexes of five species

	差不嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	褐沙蒿 <i>A. intramongolica</i>	黑沙蒿 <i>A. ordosica</i>	白沙蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	准噶尔沙蒿 <i>A. songarica</i>
pH 值 pH value (0~20 cm)	7.37±0.06 ^B	7.54±0.18 ^B	8.64±0.28 ^A	8.56±0.63 ^A	8.55±0.09 ^A
pH 值 pH value (20~40cm)	7.45±0.02 ^B	7.61±0.21 ^B	8.63±0.26 ^A	8.64±0.70 ^A	8.53±0.17 ^A
有机质 Organic matter(0~20cm)(g/kg)	1.72±1.80 ⁻	1.65±1.02 ⁻	3.3±2.9 ⁻	1.54±1.28 ⁻	2.41±0.19 ⁻
有机质 Organic matter(20~40cm)(g/kg)	0.79±0.22 ⁻	1.82±0.65 ⁻	2.69±2.65 ⁻	1.06±1.16 ⁻	0.95±0.16 ⁻
全氮 Total nitrogen (0~20cm)(g/kg)	0.22±0.03 ⁻	0.21±0.16 ⁻	0.50±0.33 ⁻	0.30±0.18 ⁻	0.23±0.04 ⁻
全氮 Total nitrogen(20~40cm)(g/kg)	0.39±0.32 ⁻	0.23±0.12 ⁻	0.21±0.15 ⁻	0.26±0.15 ⁻	0.13±0.04 ⁻
全磷 Total phosphorus (0~20cm) (g/kg)	0.03±0.03 ^b	0.11±0.09 ^b	0.24±0.08 ^a	0.23±0.03 ^a	0.27±0.02 ^a
全磷 Total phosphorus (20~40cm) (g/kg)	0.06±0.06 ^b	0.09±0.08 ^b	0.25±0.09 ^a	0.20±0.04 ^a	0.25±0.02 ^a

综上所述,在黑沙蒿、褐沙蒿、差不嘎蒿这一地理替代系列中,黑沙蒿在年均温、最冷月均温、年较差、寒冷指数、6~7 月份降水、湿润指数、水热综合因子、土壤酸碱度、土壤全磷含量上均与另两个种存在着显著差异。前 4 项指标是温度指标,综合来看,冬季的低温是限制黑沙蒿向北分布的一个因素,而褐沙蒿与差不嘎蒿更耐寒冷,可以分布到纬度更高的地区。从降水来看,黑沙蒿分布区的年降水明显地少于差不嘎蒿,但与褐沙蒿差异未达到显著,而黑沙蒿分布区 6~7 月份降水量明显地低于另两个种。湿润指数与水热综合因子是把热量与水分综合考虑的两项指标,从这两项指标看,黑沙蒿比另两个种均明显地低。根据土壤分析的结果,黑沙蒿是耐碱的类型,其 pH 值显著地高于褐沙蒿与差不嘎蒿。并且黑沙蒿所调查地点的含磷量也显著地高于后两者。

黑沙蒿向东北被褐沙蒿所替代,从前面的分析来看应该是水热以及土壤因子的综合作用,很难分清哪个因子的作用最大。那么褐沙蒿与差不嘎蒿是如何替代的呢? 由于差不嘎蒿主要分布在呼伦贝尔沙地和科尔沁沙地,两个沙地的温度差异较大,而褐沙蒿分布在浑善达克沙地,其温度界于前两个沙地之间。所以,两种沙蒿之间的温度指标差异均不显著。从表 4 看,褐沙蒿分布区的年均降水量比差不嘎蒿为低,但差异并不显著。从分析的指标来看,只有 5~6 月份的降水两者差异显著,根据表 4 的数据,在 4 月份,两种沙蒿的降水已经出现差异,但还未达到显著,5 月份,两者的差异达到显著,6 月份差异达到极显著。也就是生长季前半期的干旱是褐沙蒿区别于差不嘎蒿的一个特征。这也是两者之间发生替代的原因。

对于白沙蒿与准噶尔沙蒿来讲,两者的差异同样是反映在降水的变率上,根据表 4,从 10 月到第 2 年 4 月的降水量,准噶尔沙蒿均明显地高于白沙蒿,8 月则显著地低于白沙蒿,但从 8 月降水的范围看,白沙蒿的适应幅度远宽于准噶尔沙蒿,其降水的范围为 6.3~91.2mm,准噶尔沙蒿为 6.3~34.7mm,前者包括后者。也就是说,虽然方差分析的结果是白沙蒿分布区 8 月的降水量明显地高于准噶尔沙蒿,但实际上白沙蒿在 8 月份既可以忍耐稀少的降水,又可以适应较高的降水,有着更宽的生态幅。因此非生长季降水的差异是两者发生替代的原因,这可能是植物长期对生长环境中降水格局的适应结果。

4 结论

6 种沙蒿分为两个地理替代分布系列:差不嘎蒿为东蒙古-科尔沁分布种,褐沙蒿是浑善达克沙地分布种,黑沙蒿为腾格里-鄂尔多斯分布种,它们呈现出从西南向东北的地理替代分布。白沙蒿为戈壁-蒙古种,准噶尔沙蒿为中亚种,构成了东西向的地理替代分布。乌丹蒿为科尔沁沙地西部种,但由于与另几个种的亲缘关系较远,不做为这几个种的地理替代种。在黑沙蒿、褐沙蒿与差不嘎蒿这一地理替代系列中,黑沙蒿在年均温、最冷月均温、年较差、寒冷指数、6~7 月份降水、湿润指数、水热综合因子、土壤酸碱度、土壤全磷含量上均与另两个种存在着显著差异。黑沙蒿向东北被褐沙蒿所替代,应该是水热以及土壤因子的综合作用。褐沙蒿与差不嘎蒿分布区内,主要是 5~6 月份的降水存在着显著差异,也就是生长季前半期的干旱是褐沙蒿区别于差不嘎蒿一个特征,从而使两者发生替代。对于白沙蒿与准噶尔沙蒿这一对地理替代种,同样只有降水的变率存在着差异,主要是非生长季降水的差异,准噶尔沙蒿分布区明显为高,这也是两者之间发生替代的原因。

References:

[1] Lin Y R. *Flora reipublicae popularis sinicae*. Beijing: Science Press, 1991. 76 (2): 189~197.
[2] Liu Y X. *Flora in desert reipublicae popularis sinicae*. Beijing: Science Press, 1992, 3: 267~276.
[3] Fu X Q. *Flora of Intramongolica*. Tomus IV. 2nd ed. Hohhot: Inner Mongolia People Press, 1993. 639~648.
[4] Zhang Z Y. *Flora of loess plateau*. Beijing: Science and Technology Press, 1987. 314~317.
[5] Zhou Y L. *Flora of Heilongjiang*. Haerbin: Northeastern Forestry University Press, 1998. 9: 208~210.

- [6] Li J Y. *Flora of Liaoning*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1992. **2**: 516~518.
- [7] Liu S W. *Flora of Qinghai*. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1996. **3**: 399.
- [8] Wei Y. *Flora of Xinjiang*. Wulumuqi: Xinjiang Science and Technology Hygiene Publishing House, 1999, **5**: 178~180.
- [9] Di W Z. *Vascular plants of helanshan*. Xi'an: Northwestern University Press, 1986. 257.
- [10] Filatova N S. *Flora Kazakhstan*. Alma-ata: Academic Science of Kazakhstan, 1966, **9**: 113.
- [11] Malyshev L I. Et Heywood V U. *Flora Siberia Centralis*. Novosibirsk: In Aedibus《NAUKA》Divisid. Sibirica, 1979. 851.
- [12] Grubov V L. *Key to the Vascular Plants of Mongolia*. Leningrad: 《NAUKA》Leningrad Branch, 1982. 251.
- [13] Gubanov. I A. *Conspectus of Flora of Outer Mongolia (Vascular Plants)*. Moskow: Valange press, 1996. 98.
- [14] Kira T. *A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography*. Kyoto: Horticultural institute Kyoto university, 1945. 23.
- [15] Kira T. On the altitudinal arrangement of climatic zone in Japan. *Kanti-Nougaku*, 1948, **2**: 143~173.
- [16] Xu W D. The study of relationship between common species and constructive species distribution and water-heat in Northeast zonal vegetation. *Acta Botanica Science*, 1983, **25**(3): 264~274.
- [17] Bailey H P. Semi-arid climates: their definition and distribution. *Ecol. Study*, 1973, **34**: 73~97.
- [18] Institute of soil science in NanJing Chinese Academy of Sciences. *Physical and Chemical Analysis of Soil*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [19] Lin J. The distribution of *Artemisia halodendron* and its status in the natural vegetation succession. *Journal of Desert Research*, 1991, **11**(2): 55~60.
- [20] Chang X L, Zhao X Y, Li S G, et al. Role of *Artemisia halodendron* sanddune pasture vegetation in Horqin. *Journal of Desert Research*, 1996, **16**(1): 27~31.
- [21] Wang Q S, Dong X J, Chen X D, et al. Study on some features of *Artemisia ordosica* community at the different successional stages. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(6): 531~538.
- [22] Guo K. Cyclic succession of *Artemisia ordosica* krasch community in the mu us sandy grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(2): 243~247.

参考文献:

- [1] 林有润. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1991. **76**(2): 189~197.
- [2] 刘嫒心. 中国沙漠植物志. 北京: 科学出版社, 1992. 275~279.
- [3] 富象乾. 内蒙古植物志. 第二版, 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1993. **4**: 639~648.
- [4] 张志英. 黄土高原植物志. 北京: 科学技术出版社, 1987. 314~317.
- [5] 周以良. 黑龙江植物志. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1998. **9**: 208~210.
- [6] 李冀云. 辽宁植物志(下册). 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992. 516~518.
- [7] 刘尚武. 青海植物志. 西宁: 青海人民出版社, 1996. **3**: 399.
- [8] 魏岩. 新疆植物志. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999. **5**: 178~180.
- [9] 狄维忠. 贺兰山维管植物, 西安: 西北大学出版社, 1986. 257.
- [16] 徐文铎. 东北地带性植被建群种及常见种的分布与水热关系的研究. 植物学报, 1983, **25**(3): 264~274.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [19] 李进. 差不嘎蒿的分布及其在天然植被演替中的地位. 中国沙漠, 1991, **11**(2): 55~60.
- [20] 常学礼, 赵学勇, 李胜功, 等. 差不嘎蒿在科尔沁沙地草场植被中的作用. 中国沙漠, 1996, **16**(1): 27~31.
- [21] 王庆锁, 董学军, 陈旭东. 油蒿群落不同演替阶段某些群落特征的研究. 植物生态学报, 1997, **21**(6): 531~538.
- [22] 郭柯. 毛乌素沙地油蒿群落的循环演替. 植物生态学报, 2000, **24**(2): 243~247.