浑善达克沙地中部丘间低地植物群落分布 与土壤环境关系

宋创业^{1,2} 郭柯^{1*}

(1 中国科学院植物研究所, 北京 100093) (2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 为了研究浑善达克沙地丘间低地植物群落类型及其分布与土壤环境因子的关系, 于 2004 年 7~8 月对浑善达克沙地丘间低地进行了植物群落学调查, 共获取群落样方 102 个, 其中草本植物群落样方 99 个, 灌木样方 3 个。同时对每一个样方均取了土样, 并分析了土壤的全氮、有机质、可溶性钾、钠的含量和土壤溶液的 pH 值。对在浑善达克沙地中部丘间低地获取的 102 个植物群落样方进行了分析, 按照样方中建群种和优势种的重要值把它们归属于 28 个植物群落类型, 分别以黄花蒿 (*Artemisia annua*)、褐沙蒿 (*A. intramongolica*)、沙地雀麦 (*Bromus irtutensis*)、尖头叶藜 (*Chenopodium acuminatum*)、大籽蒿 (*Artemisia sieversiana*)、砂珍棘豆 (*Oxytropis gracilima*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、寸草苔 (*Carex duriuscula*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、克氏针茅 (*Stipa krylovii*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、赖草 (*L. secalinus*)、无芒雀麦 (*Bromus inermis*)、草地风毛菊 (*Saussurea amara*)、菊叶委陵菜 (*Potentilla tanacetifolia*)、芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、马蔺 (*Iris lactea*)、小红柳 (*Salix microstachya*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、拂子茅 (*Calamagrostis epigejos*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserine*)、金戴戴 (*Halerpestes ruthenica*)、星星草 (*Puccinellia tenuiflora*)、水葱 (*Scirpus tabernaemontani*)、碱蓬 (*Suaeda glauca*) 为建群种。黄花蒿、沙地雀麦、猪毛蒿、褐沙蒿、尖头叶藜、大籽蒿、砂珍棘豆和狗尾草等群落分布于沙生环境, 地下水位低, 土壤溶液为中性, 全氮和有机质平均含量低; 冷蒿、糙隐子草、冰草、克氏针茅、寸草苔、羊草、赖草和菊叶委陵菜等群落分布于固定沙地, 土壤的水分、全氮和有机质的含量都较高; 无芒雀麦、草地风毛菊、鹅绒委陵菜、星星草和芦苇等群落分布于中生环境, 地下水位高, 土壤的营养含量也较高; 芨芨草、拂子茅、马蔺、小红柳和金戴戴等群落分布于盐渍化的土壤上, 地下水位较高, 土壤溶液的酸碱度也较高; 碱蓬群落分布在盐碱化严重的湖边, 土壤水分和盐分含量极高; 水葱群落分布于湖边浅水沼泽中。对 102 个群落样方进行去趋势典范对应分析 (Detrended canonical correspondence analysis, DCCA), 结果表明 DCCA 排序轴第一轴 (AX1) 主要代表地下水位 (GWL) 的变化梯度; 第二轴 (AX2) 主要代表土壤的全氮 (TN) 含量和有机质 (ORG) 含量的变化梯度; 第三轴 (AX3) 则代表第三层土壤 (20~30 cm) 溶液的酸碱度 (pH) 值, 即地下水位, 土壤有机质和全氮含量影响丘间低地植物群落的分布格局。

关键词 浑善达克沙地 植物群落类型 排序

RELATIONSHIP BETWEEN PLANT COMMUNITY AND SOIL ON THE INTER-DUNE LOWLAND IN THE MIDDLE OF OTINGDAG SAND LAND

SONG Chuang-Ye^{1,2}, and GUO Ke^{1*}

¹Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China, and ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Aims Vegetation and soil surveys were conducted in the summer of 2004 to study the relationship between vegetation types and soil of inter-dune lowland of Otindag sand land. Of 102 vegetation samples collected, 99 were herb-dominated, the others shrub-dominated. We analyzed soils for total nitrogen, soil organic matter, soluble sodium, soluble potassium and pH. Vegetation samples were classified based on species composition and species functional groups. We used detrended canonical correspondence analysis (DCCA) to determine the main environmental factors related to the distribution of plant communities.

Methods The 102 samples were classified into twenty-eight groups dominated by *Artemisia annua*, *A. intramongolica*, *Bromus irtutensis*, *Chenopodium acuminatum*, *A. sieversiana*, *Oxytropis gracilima*, *Setaria viridis*, *A. scoparia*, *A. frigida*, *Carex duriuscula*, *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Stipa*

krylovii, *Leymus chinensis*, *L. secalinus*, *Bromus inermis*, *Saussurea amara*, *Potentilla tanacetifolia*, *Achnatherum splendens*, *Iris lactea*, *Salix microstachya*, *Phragmites australis*, *Calamagrostis epigejos*, *Potentilla anserine*, *Halerpestes ruthenica*, *Puccinellia tenuiflora*, *Scirpus tabernaemontani* and *Suaeda glauca*.

Important findings The *Artemisia annua*, *A. intramongolica*, *Bromus irtutensis*, *Chenopodium acuminatum*, *A. sieversiana*, *Oxytropis gracilima*, *Setaria viridis* and *A. scoparia* associations are mostly distributed on sites often covered by quicksand. The level of the groundwater is low, the lixivium of the soil is neutral and the average soluble K^+ , Na^+ , total nitrogen and organic matter are low. *Artemisia frigida*, *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Stipa krylovii*, *Potentilla tanacetifolia*, *Leymus secalinus*, *Carex duriuscula* and *L. chinensis* associations are rooted mostly in stable sand, where soil water, organic matter and total nitrogen are high. *Bromus inermis*, *Saussurea amara*, *Puccinellia tenuiflora*, *Phragmites australis* and *Potentilla anserine* associations grow in wet sites, where organic matter and total nitrogen are relatively high. *Achnatherum splendens*, *Iris lactea*, *Calamagrostis epigejos*, *Salix microstachya* and *Halerpestes ruthenica* associations are on saline sites that have high groundwater and alkalinity. The *Suaeda glauca* association occurs in a highly saline lake, where water and salinity levels are very high. The *Scirpus tabernaemontani* association occurs in a marsh. The first DCCA axis denoted gradients in ground water level (GWL) and factors related to ground water level such as pH, soluble sodium and soluble potassium. The second axis reflected gradients of total nitrogen and soil organic matter. The third axis reflected a pH gradient. Ground water level, pH, soluble sodium, soluble potassium, total nitrogen and soil organic matter significantly correlated with the distribution of plant communities.

Key words Otindag sand land, plant community, ordination

浑善达克沙地位于内蒙古自治区锡林郭勒盟南部,相当于 $42^{\circ}10' \sim 43^{\circ}50'N$, $112^{\circ}10' \sim 116^{\circ}30'E$ 。全区海拔 1 100 ~ 1 300 m,地势由东南向西部倾斜。砂质或者砂壤质的湖相沉积物经过风力的长期作用,形成了现在的地表景观,即沙丘和丘间低地有规律的结合,这种地表景观对沙地植物群落分布格局有着很大的影响(刘海江和郭柯,2003)。由于区域水热的差异,地质地貌特征及因此引起的水分与养分条件的变化,使沙地植被类型多样,分布复杂多变(中国科学院内蒙古宁夏综合科考队,1985)。有关分析浑善达克沙地植物群落分布格局与环境关系的文章很少,杨淑宽等(1962)对浑善达克沙地的植被类型与环境的关系作过简单的定性描述;刘海江等(2003)对浑善达克沙地一个实验示范区内丘间低地的植物群落进行了数量分类与排序分析,得到了植物群落分布与地下水位以及土壤盐分含量有密切关系的结论,但是群落类型较少。本文在野外实地调查的基础上,对浑善达克沙地丘间低地植物群落类型进行了分析,并利用去趋势典范对应分析(Detrended canonical correspondence analysis, DCCA)对浑善达克沙地中部地区丘间低地的植物群落进行排序研究,力图揭示群落分布格局及影响群落分布格局的主要环境因子,为管理及合理利用沙地植被资源提供科学依据。

1 研究方法 & 样品分析

1.1 研究地点

调查地点包括两片一线,共有 3 处:1)内蒙古锡林郭勒盟正蓝旗贺日斯台苏木巴彦胡硕嘎查浑善达克沙地植被恢复与风沙环境综合治理试验示范研究区,地理坐标是 $42^{\circ}53.5' \sim 42^{\circ}57'N$, $116^{\circ}01' \sim 116^{\circ}08'E$,面积 2 700 hm^2 ;2)以中国科学院植物研究所和内蒙古正蓝旗浑善达克沙地生态研究定位站为中心,向周围辐射 10 km 的区域;3)沿 207 国道(路标 100 ~ 180 km 之间)两侧约 1 000 m 宽的禁牧围封地。

本文研究区域为丘间低地,在当地称为塔拉地,蒙古语意思为平坦开阔的地方,没有沙丘那样明显的地貌差别,海拔高度、降水、温度没有明显的差异,因此土壤性质和土壤水分有效性成为本文关注的重点。

研究区属于半干旱大陆性气候,主要特点是干旱风大,降水很少,冬季寒冷而漫长,夏季炎热而短促。根据正蓝旗气象局 1960 ~ 1999 年 40 年的气象资料统计,该地区年平均降水量为 378 mm,降水主要集中在 7 ~ 9 月,占全年降水总量的 64%。年平均风速为 $4.4 m \cdot s^{-1}$ 。年平均气温为 $1.8^{\circ}C$,7 月平均温度为 $18.7^{\circ}C$,1 月平均温度为 $-17.9^{\circ}C$ 。

1.2 植被调查及土壤样品分析

2004年7、8月间对浑善达克沙地中部地区拟定的3个取样地区进行了植物群落学调查,草本植物群落做1 m²的样方,灌木群落做10 m × 10 m的样方,共取得102个样方数据,其中草本植物群落样方99个,灌木样方3个。调查时记录每个样方的植被总盖度及样方内各物种的分盖度和高度。每个样方分为0~10、10~20和20~30 cm 3层取土样。同时记录样方所在地的海拔、经纬度和地下水位深度等环境指标。风干土样经前期处理后过2 mm的筛子,然后研磨后全部通过100目的筛子用作化学分析。土样测定的项目包括酸碱度(pH)、全氮(TN)、有机质(ORG)、可溶性钾(SK)、可溶性钠(SNa)、pH值用电位法测定,全氮用凯氏定氮法,有机质用重铬酸钾氧化外加加热法测定,可溶性钾和可溶性钠用火焰光度法测定(刘光崧等,1996)。

1.3 数据处理

物种的盖度是表征物种在群落中重要性的指标,本文以样方中草本植物物种的相对盖度(相对盖度=某一物种盖度/所有种盖度之和×100)(张金屯,1995;宋永昌,2001)作为重要值,灌木采用(相对盖度+相对高度)/200作为重要值。排序用CANOCO3.10软件。

2 实验结果

2.1 丘间低地植物群落类型

依据群落外貌结构和植物种类组成等特征对野外实地调查所获得的102个样方进行了分析,并按按照样方中建群种和优势种的重要值最终归纳为如下28个群落类型:

小红柳群落(Ass. *Salix microstachya*),砂生桦(*Betula gmelini*)为群落中常见的灌木。群落分层明显,小红柳和砂生桦高度达2~3 m,位于第一层,林下广泛分布赖草(*Leymus secalinus*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)等。群落分布区多为低湿地,土壤多为沙质,土壤基质稳定,营养状况较好。

黄花蒿群落(Ass. *Artemisia annua*),平均盖度为42.9%,黄花蒿平均高度可达50 cm,平均盖度达32%。平均每个样方中有13个物种,除黄花蒿以外,有少量的糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、寸草苔等分布。群落分布地常有流沙覆盖,土壤水分和养分状况较差。

褐沙蒿群落(Ass. *Artemisia intramongolica*),平均盖度为30%,褐沙蒿平均高度为45 cm,平均盖度可达22%。平均每个样方中物种数为12个,群落中常

见物种有糙隐子草、寸草苔、草木樨状黄芪(*Astragalus melilotoides*)和展枝唐松草(*Thalictrum squarrosu*)等。调查群落分布区土壤基质较为稳定,偶有流沙侵袭。

砂珍珠豆群落(Ass. *Oxytropis gracilima*),盖度较低,通常在5%左右,砂珍珠豆个体通常较矮,平均高度仅为8 cm。群落结构简单,平均每个样方中出现4种植物,沙地雀麦(*Bromus irtutensis*)、黄花蒿和褐沙蒿为群落中常见的伴生种。群落分布于沙质基质,常有流沙侵蚀。

沙地雀麦群落(Ass. *Bromus irtutensis*),盖度在20%左右,沙地雀麦的平均高度为32 cm,平均盖度为17.5%,群落组成较简单,群落常见的种类多为沙生植物,如狗尾草(*Setaria viridis*)和雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)等一年生植物。群落通常分布于固定半固定的沙丘,在沙丘边缘以至在流沙上也有分布。

尖头叶藜群落(Ass. *Chenopodium acuminatum*),盖度在30%左右,尖头叶藜平均高度为20 cm,平均盖度为21.5%。大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)和菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)等为群落中常见的物种。群落多分布于撂荒地和居民点的砂壤质土壤上。

大籽蒿群落(Ass. *Artemisia sieversiana*),群落盖度较低,通常在15%左右,大籽蒿平均高度为72 cm,位于群落上层,平均盖度可达12%。群落结构简单,群落中常见物种有草木樨状黄芪、赖草、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)和雾冰藜等。群落通常分布于撂荒地上。

狗尾草群落(Ass. *Setaria viridis*),群落盖度较低,群落结构简单,狗尾草平均高度为18 cm,平均盖度为10.5%。伴生物种多为一年生植物,如沙米(*Agriophyllum pungens*)、猪毛菜(*Salsola collina*)等。分布区土壤水分、养分状况较差,地表有流沙侵蚀。

猪毛蒿群落(Ass. *Artemisia scoparia*),植物平均高度为35 cm,盖度为30%左右,猪毛蒿的平均高度为43 cm,平均盖度为24%。群落结构较为简单,样方中常有冷蒿、寸草苔和糙隐子草等分布。猪毛蒿群落分布广泛,在草原带和荒漠带都有分布,多生长在沙质土壤上,是夏雨型一年生层片的主要组成成分。

冷蒿群落(Ass. *Artemisia frigida*)是由于过度放牧形成的退化草原群落,植物平均高度为15 cm,平均盖度29%,优势物种冷蒿的平均高度为24 cm,平

均盖度为 22%。每个样方中平均出现物种 11 个,常见的物种有寸草苔、糙隐子草、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和星毛委陵菜(*P. acaulis*)等。

寸草苔群落(Ass. *Carex duriuscula*),群落平均高度为 15 cm,平均盖度 45%,寸草苔的平均高度为 17 cm,平均盖度为 41%。平均每个样方中有物种 6 个,常见的物种有木地肤、冷蒿和二裂委陵菜等。牲畜的采食、践踏形成寸草苔甸子地,土壤质地较硬,水分比较优越,无盐渍化出现。

糙隐子草群落(Ass. *Cleistogenes squarrosa*),总盖度可达 30%,优势物种糙隐子草的平均高度为 15 cm,平均盖度为 23%。群落中的伴生种多为一、二年生植物,一些较好的群落中出现草原旱生植物,如羊草、二裂委陵菜和寸草苔等。群落多分布于固定沙地、甸子外围,大多数分布区土壤表层都有覆沙。

冰草群落(Ass. *Agropyron cristatum*),为丘间低地分布范围较广的群落之一,群落中主要物种有冰草、草木樨状黄芪、糙隐子草、冷蒿和寸草苔等。群落物种组成较为丰富,平均每个样方中的物种数为 9 个,群落平均盖度为 36.3%。垂直结构分为 3 层,冰草高约 50~70 cm 为最上层,中间为冷蒿,高约 30~40 cm,寸草苔、糙隐子草为第三层,高约 20~30 cm。基质稳定,受流沙干扰小,比较稳定。

克氏针茅群落(Ass. *Stipa krylovii*),盖度 45%~65%,克氏针茅的平均高度达 70 cm,位于群落的最上层,平均盖度可达 30.5%。冰草、糙隐子草和寸草苔等为群落中常见的种。克氏针茅草原是中温带典型草原和荒漠区山地草原带的地带性群系,群落具有地带性特点,比较稳定,是沙地植被经过长时间发育的结果。地表没有流沙干扰且发育有结皮层,固定时间较长,基质稳定。

羊草群落(Ass. *Leymus chinensis*),平均盖度较高,通常在 40%以上,羊草为群落的优势种,平均高度为 46 cm,平均盖度为 32%。寸草苔、赖草和糙隐子草等为群落中常见的种类。羊草群落为典型草原类型之一,群落分布地的土壤水分和养分条件较好。

赖草群落(Ass. *Leymus secalinus*),盖度较高,通常在 50%以上,赖草平均高度为 57 cm,平均盖度为 42%。群落组成较为稳定,群落中常有寸草苔、羊草、无芒雀麦和糙隐子草等分布。群落常分布于丘间低地中地下水位相对较高,土壤相对肥沃并有一定盐渍化的地方。

无芒雀麦群落(Ass. *Bromus inermis*),群落盖度通常超过 40%,无芒雀麦的个体较高,平均高度可

达 60 cm,平均盖度为 36%。群落物种组成较复杂,平均每个样方中出现的物种数为 7 个,主要物种除无芒雀麦以外,还有冰草、羊草、寸草苔和糙隐子草等。分布区土壤水分、养分状况良好。

草地风毛菊群落(Ass. *Saussurea amara*),群落盖度较高,达 50%以上,优势物种草地风毛菊的平均高度为 23 cm,平均盖度为 42%。群落物种组成复杂,羊草、赖草、寸草苔和无芒雀麦等在群落中都有分布。群落多分布于低湿地,土壤营养状况良好。

菊叶委陵菜群落(Ass. *Potentilla tanacetifolia*),平均盖度可达 30%,菊叶委陵菜的平均高度为 38 cm,平均盖度为 24%。群落中物种组成复杂,平均每个样方中出现的物种数为 13 个,糙隐子草、草木樨状黄芪、猪毛蒿、寸草苔等在样方中常见。群落分布于较为干燥的丘间低地,分布区的土壤养分条件较好。

芨芨草群落(Ass. *Achnatherum splendens*),群落结构通常包括明显的两层,即芨芨草位于上层,高度可达 1~2 m,群落下层主要物种有寸草苔、羊草、二裂委陵菜等。通常以芨芨草为明显优势种的盐化草甸或草原化草甸,分布于地表相对平坦、地下水位较高、土壤质地通常较重的低湿地生境。

马蔺群落(Ass. *Iris lactea*),盖度平均为 45%,马蔺的平均高度为 33 cm,平均盖度为 31%。群落物种丰富度较高,平均每个样方中出现物种达 13 个,羊草、冷蒿、冰草、寸草苔和糙隐子草等为群落中常见种。马蔺群落多分布于河滩和盐碱滩地,形成盐化草甸。

芦苇群落(Ass. *Phragmites australis*),群落盖度较高,通常在 60%以上,芦苇的平均高度可达 86 cm,平均盖度为 56%。群落中物种丰富度较高,平均每个样方中出现 10 个物种,寸草苔、金戴戴(*Halerpestes ruthenica*)、草地风毛菊、星星草(*Puccinellia tenuiflora*)和地榆(*Sanguisorba officinalis*)等为群落中常见种。群落分布区较广,在地下水位较高的湿润草甸化草原、草甸、沼泽化草甸和盐碱地均有分布。

拂子茅群落(Ass. *Calamagrostis epigejos*),植被盖度较高,平均盖度在 60%以上,优势物种拂子茅的平均高度为 94 cm,平均盖度为 49%。群落结构较为复杂,物种丰富度较高,样方中常见物种有寸草苔、星星草和鹅绒委陵菜(*Potentilla anserine*)等。群落分布区土壤水分和养分状况较好。

鹅绒委陵菜群落(Ass. *Puccinellia tenuiflora*),群

落盖度较高,可达 80% 以上,群落结构复杂,物种丰富度较高,鹅绒委陵菜的平均高度为 19 cm,平均盖度达 52%。群落主要物种包括寸草苔、草地风毛菊、金戴戴和水麦冬(*Triglochin palustre*)等。群落分布于低湿地,土壤水分和养分含量较高。

星星草群落(*Ass. Puccinellia tenuiflora*),盖度都在 85% 以上,星星草平均高度为 48 cm,平均盖度为 56%。群落结构和生产力都很稳定。鹅绒委陵菜、金戴戴、水麦冬等草甸种常见。群落发育在水塘周围或地势稍微低洼的地方,属于草甸类型。

金戴戴群落(*Ass. Halerpestes ruthenica*),盖度较高,通常在 80% 左右,金戴戴的高度较低,平均高度为 13 cm,平均盖度为 73%。寸草苔、水麦冬、西伯利亚剪股颖(*Agrostis sibirica*)、鹅绒委陵菜和海乳草(*Glaux maritima*)为群落中常见的物种。群落分布于地势低洼处或水泊周围。

碱蓬群落(*Ass. Suaeda glauca*),盖度在 30% 左右,碱蓬高度较低,平均高度为 7.5 cm,平均盖度达 28%。群落物种组成较简单,芦苇为主要伴生植物之一。群落分布于盐渍化和盐碱湿润的土壤上。

水葱群落(*Ass. Scirpus tabernaemontani*),水葱高出水面约 80 cm,群落中常有泽泻分布,群落盖度约 35%。群落分布于水塘边浅水沼泽。

2.2 植物群落 DCCA 排序结果

4 个排序轴的特征值分别为 0.588、0.440、0.311 和 0.203,贡献率分别为:0.381、0.285、0.202 和 0.132,前三轴累积贡献率为 0.868,已可以反映群落关系的基本面貌(徐克学,2001)。分别以第一轴和第二轴,第一轴和第三轴,第二轴和第三轴为 X、Y 轴,作样方的 DCCA 排序图(图 1)。

褐沙蒿、猪毛蒿、黄花蒿、大籽蒿、尖头叶藜、狗尾草、砂珍珠豆和沙地雀麦等群落在排序图上接近,位于排序图的左上侧,在排序轴第一轴、第二轴和第三轴上的排序值范围分别为 0 ~ 185、78 ~ 195 和 57 ~ 137,群落在第一轴上的分异较大,在第二轴和第三轴上的分异相对较小。

冷蒿、糙隐子草、冰草、寸草苔、菊叶委陵菜、克氏针茅、赖草和羊草等群落在排序图上接近,位于褐沙蒿、猪毛蒿、黄花蒿等群落的右下方,在第一轴、第二轴和第三轴的排序值范围分别为 125 ~ 386、74 ~ 206 和 66 ~ 255。

无芒雀麦、草地风毛菊、芦苇、鹅绒委陵菜、星星草等群落位于冷蒿、糙隐子草等群落的右下方,群落

在排序图上较为集中,在第一轴、第二轴和第三轴的排序值范围分别为 220 ~ 467、0 ~ 229 和 0 ~ 152,群落在第一轴排序值较大,而在第二排序轴和第三排序轴的排序值较小,在排序图上的位置偏下。

马蔺、小红柳、芡芡草、拂子茅和金戴戴等群落在排序图上距离较近,在第一轴、第二轴和第三轴的排序值范围分别为 89 ~ 442、95 ~ 252 和 138 ~ 231。在排序图上位于冷蒿、冰草、克氏针茅和糙隐子草等群落的上方。

碱蓬群落和水葱群落在第三轴上的排序值分别为 244 和 259,均较大,在排序图上位于排序图的最上方。

从群落在排序图上的位置可以看出,沿第一轴方向上,逐步由褐沙蒿、猪毛蒿、黄花蒿、大籽蒿、尖头叶藜、狗尾草、砂珍珠豆和沙地雀麦等群落过度到冷蒿、糙隐子草、冰草、寸草苔、菊叶委陵菜、克氏针茅、赖草和羊草等群落,然后是无芒雀麦、草地风毛菊、芦苇、鹅绒委陵菜、星星草、马蔺、小红柳、芡芡草、拂子茅和金戴戴等群落,最后是碱蓬群落和水葱群落。群落的生境由旱生、中生环境逐步过渡到湿生环境。沿第二轴变化的方向上,群落的生境逐渐湿润,趋势较为显著。

2.3 土壤环境因子的 DCCA 排序图

图 2 分别显示了土壤环境因子在 DCCA 排序的第一、二轴平面,第一、三轴和第二、第三轴平面上的格局。DCCA 排序轴同时结合了植被因子和环境因子,图 2 中箭头表示环境因子,箭头连线的长短表示植物群落的分布与该环境因子相关性的,箭头连线与排序轴的斜率表示环境因子与排序轴相关性的,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负。从图 2 中可以看出,地下水位(Ground water level, GWL)与第一轴夹角较小,箭头连线较长,与第一轴呈负相关;全氮和有机质的含量与第二轴夹角较小,与第二轴呈负相关;而 pH 值与第三轴相关性较强。从箭头连线长短可以看出,地下水位、土壤全氮、有机质、可溶性钾、可溶性钠,土壤溶液 pH 值与群落分布相关性均较大。

2.4 DCCA 排序轴前三轴与土壤环境因子之间的相关系数

第一轴与可溶性钠(SNa)、第一层土壤(0 ~ 10 cm)和第二层土壤(10 ~ 20 cm)可溶性钾的含量(SK)、第二层(10 ~ 20 cm)和第三层(20 ~ 30 cm)土壤溶液的酸碱度(pH)、全氮(TN)和土壤有机质的

图1 浑善达克丘间低地植物群落的 DCCA 排序图

Fig.1 DCCA ordination graph of communities in inter-dune lowland in the middle of Otindag Sand Land

74、75、88、101 黄花蒿群落 Ass. *Artemisia annua* 80、90 褐沙蒿群落 Ass. *Artemisia intramongolica* 24、26 砂珍棘豆群落 Ass. *Oxytropis gracilima* 99 沙地雀麦群落 Ass. *Bromus irsutensis* 8 尖头叶藜群落 Ass. *Chenopodium acuminatum* 25 大籽蒿群落 Ass. *Artemisia sieversiana* 97 狗尾草群落 Ass. *Setaria viridis* 16 猪毛蒿群落 Ass. *Artemisia scoparia* 23、33、37、39、41、44、51、89、95 冷蒿群落 Ass. *Artemisia frigida* 11、18、28、55、66、94 寸草苔群落 Ass. *Carex duriuscula* 52、86 糙隐子草群落 Ass. *Cleistogenes squarrosa* 1、9、19、40、43、79、82、83、102 冰草群落 Ass. *Agropyron cristatum* 10、53、54、56 克氏针茅群落 Ass. *Stipa krylovii* 8、28、34、35、38、42、49、93 羊草群落 Ass. *Leymus chinensis* 3、5、13、30、36、76 赖草群落 Ass. *Leymus secalinus* 4、6、7、14、15、27、32、45、47、48、50、59、61 无芒雀麦群落 Ass. *Bromus inermis* 29、31、46、57、58、60、62 草地风毛菊群落 Ass. *Saussurea amara* 17、73 菊叶委陵菜群落 Ass. *Potentilla tanacetifolia* 98 芨芨草群落 Ass. *Achnatherum splendens* 77、78、96 马蔺群落 Ass. *Iris lacteal* 84、87、90 小红柳群落 Ass. *Salix microstachya* 64、70、71、72、85、92 芦苇群落 Ass. *Phragmites australis* 2 拂子茅群落 Ass. *Calamagrostis epigejos* 22、65 鹅绒委陵菜群落 Ass. *Potentilla anserine* 67 星草群落 Ass. *Puccinellia tenuiflora* 12、20、68、69 金戴戴群落 Ass. *Halerpestes ruthenica* 63 碱蓬群落 Ass. *Suaeda glauca* 21 水葱群落 Ass. *Scirpus tabernaemontani*

图 2 土壤环境因子的 DCCA 排序图

Fig. 2 The ordination figures of soil environmental factors

同样形状的箭头连线代表同一土壤因子在 3 层土壤中的值 The three sagittate radial of the same type represent the values of soil environmental factors of the three soil layers TN : 全氮含量 Total nitrogen content ORG : 有机质含量 Organic matter content pH : pH 值 pH values SK : 可溶性钾含量 Soluble potassium content SNa : 可溶性钠含量 Soluble sodium content GWL : 地下水位 Ground water level

表 1 土壤因子与群落排序坐标的典范相关系数
Table 1 Canonical relation coefficients of soil factors
and coordinate values

土壤环境因子 ¹⁾ Soil characteristics	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2	第三轴 Axis 3
GWL	-0.781**	-0.299**	0.024
SK1	0.397**	0.265**	-0.139
SK2	0.338**	0.194*	-0.107
SK3	0.219*	0.182	-0.156
SNa1	0.498**	0.157	-0.006
SNa2	0.631**	0.206*	-0.270**
SNa3	0.482**	0.062	-0.109
pH1	0.210*	0.238*	-0.0004
pH2	0.462**	0.149	-0.194
pH3	0.307**	0.035	-0.331**
TN1	0.492**	-0.422**	-0.182
TN2	0.529**	-0.456**	-0.209*
TN3	0.520**	-0.436**	-0.142
ORG1	0.433**	-0.366**	-0.078
ORG2	0.482**	-0.435**	-0.175
ORG3	0.483**	-0.386**	-0.093

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ 1) 1 2 3 :分别代表 3 层土壤 Represent the three soil layers(0 ~ 10 cm , 10 ~ 20 cm , 20 ~ 30 cm) TN , ORG , pH , SK , SNa , GWL : 同图 2 See Fig. 2

含量(ORG)呈极显著正相关 ;与地下水位(GWL)呈极显著负相关 ;与第三层土壤(20 ~ 30 cm)可溶性钾(SK)的含量和第一层土壤(0 ~ 10 cm)溶液 pH 值呈显著正相关。

第二轴与土壤的全氮(TN)含量、有机质(ORG)含量和地下水位(GWL)呈极显著负相关 ;与第一层土壤(0 ~ 10 cm)可溶性钾(SK1)的含量呈极显著正相关 ,与第二层(10 ~ 20 cm)土壤可溶性钾(SK)和可溶性钠(SNa)的含量 ,pH 值呈显著正相关。

第三轴与第三层土壤(20 ~ 30 cm)溶液 pH 值、第二层土壤(10 ~ 20 cm)的可溶性钠(SNa)含量呈极显著负相关 ;与第二层(10 ~ 20 cm)土壤的全氮(TN)含量呈显著负相关。

3 讨论与结论

3.1 丘间低地植物群落类型

浑善达克沙地植被是处于典型草原向草甸草原过渡的一种类型 ,这种在草原带上发育的沙地是一种独特的土地类型 ,是植物的特殊生活环境 ,使本地植被既受地带性影响 ,又具有一些超地带性的特征。野外调查中同样发现这种情况 ,既有地带性植被 ,如克氏针茅、冰草和冷蒿等群落等为典型草原的群落类型 ,也有受沙地基质影响形成的沙生植被 ,如砂珍珠豆、沙地雀麦和狗尾草等群落 ,还有复杂的低湿地群落 ,如拂子茅、鹅绒委陵菜和星星草等群落属于低

湿地草甸植被 ,芨芨草和马蔺群落属于盐化草甸植被 ,水葱群落属于草本沼泽植被 ,小红柳群落属于低湿地灌丛植被 ,碱蓬群落则是盐生植被等。在本文的 28 个植物群落中 ,还有受人类活动影响而产生的群落类型 ,如分布于撂荒地的尖头叶藜和大籽蒿群落。

植被分类是生态学的一个重要研究内容 ,并且随着数学、计算机技术在生态学研究中的应用 ,植被数量分类逐渐受到重视。但是绝大多数的植被数量分类方法都是根据植物种类组成计算群落间的相似距离来对其进行分类 ,没有考虑群落外貌特征及生境条件 ,而经典的植被分类方法不仅考虑了群落之间植物种类的组成的相似程度 ,而且还考虑了群落之间在外貌和生境方面的相似程度。在本文中采用了经典的植被分类方法 ,获得 28 个植物群落类型 ,基本上涵盖了当地的植被类型。

3.2 植物群落分布与土壤环境因子的关系

DCCA 是目前最先进的植被与环境关系多元分析技术之一 ,它在去趋势对应分析(DCA)的基础上改进而成(ter Braak ,1986 ;张金屯 ,1992 ;张峰和张金屯 ,2000) ,它因为结合物种构成和环境因子的信息计算样方排序值 ,结果更理想 ,并可直观地把环境因子、物种、样方同时表达在排序轴的坐标平面上 ,已成为 20 世纪 90 年代以来植被梯度分析与环境解释的趋势性方法(张金屯 ,1995)。

本文采用 DCCA 排序方法也取得了较为理想的结果。从排序轴来看 ,第一轴与地下水位、可溶性钾钠的含量、土壤全氮含量、有机质的含量以及土壤溶液 pH 值均达到了显著的相关 ,与地下水位的相关系数为 -0.781 ,显著大于其余土壤因子与第一轴的相关系数 ,因此第一轴主要是反映了地下水位的变异 ;第二轴与土壤全氮含量、有机质的含量、地下水位呈显著相关 ,但是与土壤全氮含量、有机质的含量的相关系数更大 ,关系更为紧密 ,因此第二轴主要反映了土壤全氮、有机质含量的变化梯度 ;第三轴(AX3)与第三层土壤(20 ~ 30 cm)溶液 pH 值、第二层土壤(10 ~ 20 cm)的可溶性钠(SNa)含量相关系数分别为 0.27 和 0.331 ,均达到了显著相关的水平 ,因此第三轴反映了土壤溶液的酸碱度和可溶性钠的变化梯度。

由上述分析可以看出 ,在对浑善达克沙地丘间低地植物群落的土壤因子分析中 ,没有一个土壤因子单独决定群落的排序坐标 ,3 个坐标轴均由两个或两个以上的因子共同决定 ,显然土壤因子是以一

种复杂的组合方式影响着该地群落的特征。所测定和分析的 5 个土壤因子中,土壤的地下水位、土壤全氮和有机质的含量具有更加明显的作用,它们决定了群落在排序空间中的位置,也决定了群落物种组成这一基本的群落特征。从土壤因子的 DCCA 排序图上也可以得到类似结果。

从群落类型来看,各个群落类型在排序图上有规律地分布。从排序图中可以看出,褐沙蒿、猪毛蒿、黄花蒿、大籽蒿、尖头叶藜、狗尾草、砂珍珠豆和沙地雀麦等群落分布区生境是较为干旱的沙生环境,土壤的全氮和有机质含量均较低,在排序图上位于左上端;冷蒿、糙隐子草、冰草、寸草苔、菊叶委陵菜、克氏针茅、赖草和羊草等群落的分布区的生境状况好于上述狗尾草等群落,土壤基质稳定,土壤水分和养分的条件均较好,在排序图上位于褐沙蒿和狗尾草等群落的右下方;无芒雀麦、草地风毛菊、芦苇、鹅绒委陵菜等群落分布区土壤水分良好,在排序图上位于冷蒿和冰草等群落的右侧,碱蓬群落、水葱群落、拂子茅和金戴戴群落等分布在排序图的最右侧,分布区地下水位较高。排序图所反应的群落在环境梯度上的分布与群落实际生境状况一致,说明排序能够客观反映群落与环境的关系。

大量研究表明,除气候外,地形和土壤是影响植物群落分布的主要因子。在景观尺度或更小尺度上,地形和土壤理化性质往往是控制植物群落分布格局的主要因素,因为这些因素极大地影响了土壤水分可利用性(Goldsmith, 1973; Montana, 1990; Kutiel, 1992; Monson *et al.*, 1992; Henriques *et al.*, 1998; Guerra-Campo *et al.*, 1999; 陈玉福等, 2002; 娄安如, 1998)。本文的研究区地势相对较为平缓,但是稍有起伏,形成沙岗、缓坡地以及湖盆低地等,这种微小的地形起伏导致土壤水分有效性和土壤的养分含量有很大差异。在地势稍高的地方,如沙岗,土壤全氮和有机质的含量低,地下水位较低,通常在 1 m 以上,植物很难利用地下水,土壤较为干燥,在这些区域分布有沙地雀麦、褐沙蒿、黄花蒿、砂珍珠豆和狗尾草等沙生植物群落,而地势较低的低地,土壤全氮和有机质的含量较高,地下水位较高,常在 20 cm 以下,形成低湿地甚至浅水沼泽,拂子茅、星星草、鹅绒委陵菜和无芒雀麦等分布在低湿地,在浅水沼泽中常有水葱群落的分布。处于上述两者之间的较为平缓的区域则出现典型草原地带性植被,如克氏针茅、冰草、冷蒿和羊草等群落。

干旱区气候干燥,沙地地表水分蒸发强烈,水分

蒸发之后,盐分在地表汇集,从而造成地表土壤盐渍化程度较高,土壤溶液的 pH 值较高,芨芨草、马蔺和碱蓬等耐盐的植物群落等分布在这些区域;而在沙层较厚或者有流沙覆盖的地段,由于沙土中粉粒、粘粒含量低,土壤持水能力差,渗透性强,地下水很难经过毛细管作用到达地表,地表水分蒸发较少,表层土壤盐分聚集较少,土壤盐碱化较低(郭柯等, 2000)。在这些区域则有耐干旱的沙生植物如沙地雀麦、狗尾草、砂珍珠豆等群落的分布。

沙土是浑善达克沙地分布最广的土壤类型,沙土发育的条件是特殊的沙质母质(以 0.05 ~ 0.1 mm 的中细砂为主),特点是颗粒粗、不黏结、松散,一定风力作用下表面发生吹蚀。沙土发育的特点导致沙地基质的松散性,沙地基质的松散性导致植物群落稳定性相对脆弱,抗干扰能力较差,从而在相同或相似的生态条件下也常常出现处于不同演替阶段的植物群落。本文通过植物群落排序及其与土壤环境因子关系的分析主要考虑的是群落与环境的对应性,对于相同或相似条件下出现不同植物群落,即植物群落演替关系涉及很少,这将有待于今后进一步的研究。

参 考 文 献

- Chen YF (陈玉福), Song MH (宋明华), Dong M (董鸣) (2002). Spatial pattern of the plant community along a sand covered hillslope in Ordos Plateau of China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 26, 501 - 505. (in Chinese with English abstract)
- Guo K (郭柯), Dong XJ (董学军), Liu ZM (刘志茂) (2000). Characteristics of soil moisture content on sand dunes in MU US Sandy Grassland: why *Artemisia ordosica* declines on old fixed sand dunes. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24, 275 - 279. (in Chinese with English abstract)
- Guerra-Campo J, Alberto F, Garcia-Ruiz JM, Montserrat-Mariti G (1999). Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interaction with topographic factors and soil erosion. *Journal of Arid Environments*, 41, 401 - 410.
- Goldsmith FB (1973). The vegetation of exposed sea cliffs at South Stack, Anglesy. I. The multivariate approach. *Journal of Ecology*, 61, 787 - 818.
- Henriques RPB, Hay JD (1998). The plant communities of a fore-dune in southeastern Brazil. *Canadian Journal of Botany*, 76, 1323 - 1330.
- Integrated Scientific Expedition to Inner Mongolia and Ningxia of the Chinese Academy of Sciences (中国科学院内蒙古宁夏综合考察队) (1985). *Vegetation of Inner Mongolia* (内蒙古植被). Science Press, Beijing, 764 - 792. (in Chinese)
- Kutiel P (1992). Slope aspect effect on soil and vegetation in a

- Mediterranean ecosystem. *Israel Journal of Botany*, 41, 243 – 250.
- Liu GS (刘光崧), Jiang NH (蒋能慧), Zhang LD (张连第), Liu ZL (刘兆礼) (1996). *Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles* (土壤理化分析与剖面描述). Standards Press of China, Beijing, 24 – 33, 47 – 48. (in Chinese)
- Liu HJ (刘海江), Guo K (郭柯) (2003). Classification and ordination analysis of plant communities in Inter-dune lowland in Hunshandake Sand Land. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 2163 – 2169. (in Chinese with English abstract)
- Lou AR (娄安如) (1998). Ecological gradient analysis and environmental interpretation of mountain vegetation in the middle stretch of Tianshan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 22, 364 – 372. (in Chinese with English abstract)
- Montana C (1990). A floristic-structural gradient related to land forms in the southern Chihuahuan Desert. *Journal of Vegetation Science*, 1, 669 – 674.
- Monson RK, Smith SD, Gehring JL, Bowman WD, Szarek SR (1992). Physiological differentiation within an *Encelia farinose* population along a short topographic gradient in the Sonoran Desert. *Functional Ecology*, 6, 751 – 759.
- Song YC (宋永昌) (2001). *Vegetation Ecology* (植被生态学). East China Normal University Press, Shanghai. (in Chinese)
- ter Braak CJF (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67, 1167 – 1179.
- Xu KX (徐克学) (2001). *Biostatistics* (生物数学). Science Press, Beijing, 58 – 64. (in Chinese)
- Yang SK (杨淑宽), Chen JS (陈静生), Guo XM (郭蓄民) (1962). *Expedition in Xiao Tenger Sandy Land in Inner Mongolia* (内蒙古小腾格里沙漠考察). Science Press, Beijing, 3, 144 – 151. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯) (1995). *Methods in Quantitative Vegetation Ecology* (植被数量生态学方法). Chinese Science and Technology Press, Beijing, 139 – 144, 217 – 226. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯) (1992). Analysis of relationships between vegetation and its environmental variables. I. DCA ordination. *Journal of Shanxi University* (Natural Science Edition) (山西大学学报 (自然科学版)), 15, 182 – 189. (in Chinese with English abstract)
- Zhang F (张峰), Zhang JT (张金屯) (2000). Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China. *Journal of Shanxi University* (Natural Science Edition) (山西大学学报 (自然科学版)), 23, 278 – 282. (in Chinese with English abstract)

责任编辑：张金屯 责任编辑：张丽赫