

# 古尔班通古特沙漠植被与环境的关系

钱亦兵<sup>1</sup> 吴兆宁<sup>2</sup> 张立运<sup>1</sup> 赵锐锋<sup>1 3</sup> 王小燕<sup>1 3</sup> 李有民<sup>1 3</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011 2. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046 ;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039 )

**摘要** 对古尔班通古特沙漠进行了纵向及横向的路线调查, 植被测度和土壤理化性质分析。对比发现该沙漠地貌形态纵、横向上的显著差异, 使沙漠植被分布格局存在着异质性, 即植物群落的物种多样性、优势度及盖度在纵、横向上明显不同。CCA 排序结果显示, 土壤的有机质含量、全盐含量、分选系数、含水量和 pH 值等微生境使植被沿其变化梯度以不甚耐盐碱的短命、类短命草本和小半灌木、半灌木为主的群落逐渐向耐盐碱的灌木、小乔木类群落转变。地形和土壤质地可使横向上相当数量的植物物种产生空间分化, 而这种分化在纵向上不明显。沙漠植被物种在各生境梯度作用下形成 3 类组合, 其在横向上对应 3 个地段, 但在纵向上没有清晰的对应空间 (除南北边缘区外), 原因是多数植物的生境处于沙漠纵向微生境梯度的中间序位。

**关键词** 植被格局 环境因子 关系 古尔班通古特沙漠

文章编号: 1000-0933 (2007) 07-2802-10 中图分类号: Q143 文献标识码: A

## Vegetation-environment relationships in Gurbantungut Desert

QIAN Yi-Bing<sup>1</sup> , WU Zhao-Ning<sup>2</sup> , ZHANG Li-Yun<sup>1</sup> , ZHAO Rui-Feng<sup>1 3</sup> , WANG Xiao-Yan<sup>1 3</sup> , LI You-Min<sup>1 3</sup>

<sup>1</sup> Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

<sup>2</sup> College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, 830046, China

<sup>3</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (7) 2802 ~ 2811.

**Abstract** : The paper reports on marked heterogeneity found in vegetation and soil in the Gurbantungut Desert, Western China related to landform position and orientation. Vegetation and soil data were collected on north-south transects in the area 44°14'04"—45°41'52"N and 87°37'09"—88°24'04"E, and were compared with vegetation and soil data collected on east-west transects in the area 44°56'40"—45°29'55"N and 85°30'35"—88°45'12"E. The sand dunes of the survey area are mainly of the longitudinal form from south to north, but checkerboard-shaped and honeycomb-shaped forms are also present, with the height of 10—50 m. Analysis revealed that the varying trend and strength of the species diversity, dominance and cover of the plant communities in the longitudinal and transverse directions across the landscape are significantly different. The results of CCA ordination show that the microhabitats of soil organic matter (OM), soil salts (TS), sorting index ( $\sigma$ ), topsoil water-content (SM) and pH relate to the differences in vegetation observed as differences in species assemblage from salt-intolerant ephemerals, micro-subshrubs and subshrubs to salt-tolerant shrubs and micro-arbors. The terrain (alt.) and soil texture (the contents of Mz and  $\phi_1$ ) affect the spatial differentiation of many species. However, this spatial

基金项目 新疆阜康市林业局资助项目 (0652141) ;中国科学院新疆生态与地理研究所所长基金特别支持资助项目 (0672091)

收稿日期 2006-11-22 ;修订日期 2007-03-30

作者简介 钱亦兵 (1956 ~ ), 女, 江苏人, 硕士, 研究员, 主要从事荒漠生态环境研究。E-mail : dt6@ms. xjb. ac. cn

致谢 唐自华同学进行了样品的粒度分析, 特此致谢。

**Foundation item** : The project was financially supported by the Forestry Bureau of Fukang City (No. 0652141) and the especial support project from the Director's fund of the Xinjiang Institute of Ecology and Geology, CAS (No. 0672091)

**Received date** 2006-11-22 ; **Accepted date** 2007-03-30

**Biography** QIAN Yi-Bing, Master, Professor, mainly engaged in desert eco-environments. E-mail : dt6@ms. xjb. ac. cn

differentiation is not so marked on transects running longitudinally with the landscape, in the same direction as the dunes. The species of the desert vegetation have formed three assemblages under the action of habitat gradients, relating to three sections running transversely across the landscape, at right angles to the direction of the dune crests. In the mid-east section of the study area the topography is higher, with sand-lands or dune-slopes with coarse particles. Here the dominant vegetation comprises shrubs and subshrubs of *Seriphidium santolinum* and *Ephedra distachya*, with large numbers of ephemeral and ephemeroid plants of *Senecio subdentatus*, and *Carex physodes* in spring and summer. On the soil of the dune-slopes in the mid-west of the study area, with coarse particles and abundant TK, the plant assemblage of *Haloxylon persicum*, *Soranthus meyeri*, *Agriophyllum squarrosum* is developed. The species composition in the east marginal belt of the study area has similar characteristics to the mid-west section. There is no corresponding section in the north-south transect (except for the north and south margins). This is because the habitats of most plants are located in the middle of the microhabitat gradients in the north-south direction in the desert.

**Key Words** : Gurbantunggut Desert ; vegetation pattern ; environmental factors ; environment-plant relationship

古尔班通古特沙漠作为中国最大的固定和半固定沙漠,以其沙面特有的稳定性深受专家学者们关注。他们从不同视角诠释该沙漠沙面稳定的机理。有研究者认为盆地中冬季一定厚度的积雪和冷湖效应形成的冻土层,以及春夏季风沙土中的悬湿层等<sup>[1-2]</sup>,可有效保持中深层土壤的墒情。另有学者强调发育良好的植被、短命植物、生物结皮等的固沙作用<sup>[3-5]</sup>。更有人注意到该沙漠沙面的固定与半固定不但和植被的较高盖度有关,还和植被的生物多样性关系密切,即多层片植物群落的组合最能有效降低沙面的活动性<sup>[6]</sup>。植被在稳定古尔班通古特沙漠中所起的重要角色,使近年许多研究的焦点聚于该沙漠植物群落格局和物种多样性及与土壤、气候等环境因子的耦合关系<sup>[7-9]</sup>。但在这些研究中人们对沙漠植被分布与环境关系的认识尚多限于定性的、局部的、某些物种的或个别层片的,而大量实践表明 CCA (Canonical correspondence analysis, 典范对应分析)技术是把相关认识推向定量化和系统性的理想数理统计工具<sup>[10-13]</sup>。本研究借助 CCA 和其它定量分析方法,对比了古尔班通古特沙漠纵向和横向上的植被分布特征,并且讨论了其对地貌形态和土壤理化性质等环境因子空间变化梯度的响应。为人们能从定量的层面更加深入了解该沙漠植被分布与环境的关系以及为沙漠植被恢复和生态建设提供参考。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

古尔班通古特沙漠地处半封闭的准噶尔盆地中。沙漠景观丰富多样,主要为各种形态的沙垄和一些新月型沙丘链、蜂窝状沙丘,高度 10~50m。受气流、盆地地形、水文和植被等因素的影响<sup>[1]</sup>,沙漠地貌形态出现明显的 EW 和 SN 方向上的分异。沙垄多呈 SN 延伸,长度达几到几十公里,所以除沙漠南缘发育大量新月型沙丘链或格状沙丘外,SN 方向(后文称纵向)地貌形态变化不大。与之相反,EW 向(后文称横向)沙地地貌变异强烈,各种形态的沙垄或沙丘大致呈无序分布(图 1)。

沙漠区为温带干旱荒漠气候,年平均温度 5~5.7℃,极端最高气温 40℃ 以上,极端最低气温小于 -40℃,年蒸发量 2000~2800mm, >17.2ms<sup>-1</sup> 的大风天数沙漠中部到边缘 25~77 d 不等。沙漠中几乎无地表径流,地下水位较深,边缘 >5m,内部 >16m。年降雨量为 80~160mm。冬季一般积雪深度 10~30cm。沙漠土壤以固定、半固定风沙土占绝对优势。固定风沙土主要出露于垄间低地及沙垄中下部,半固定风沙土多分布于沙垄中部和中上部。与塔克拉玛干沙漠等一些著名沙漠相比,该沙漠中沙生和耐旱植物种类较丰富,生活型多样<sup>[9]</sup>。

研究区纵、横向调查路线范围分别为 44°14'04"~45°41'52"N, 87°37'09"~88°24'04"E 和 44°56'40"~45°29'55"N, 85°30'35"~88°45'12"E。

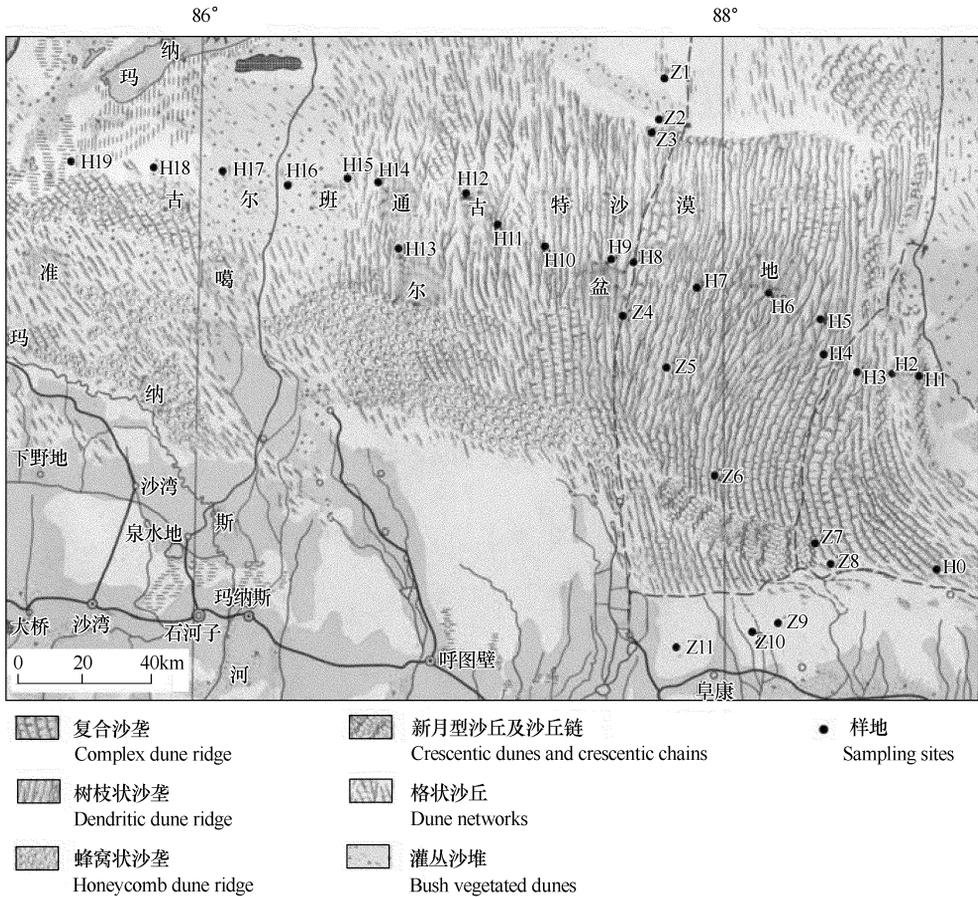


图1 古尔班通古特沙漠地貌形态及采样位置

Fig. 1 Geomorphological types and sampling sites of Gurbantunggut Desert

1 复合沙垄 Complex dune ridge 2 树枝状沙垄 Dendritic dune ridge 3 蜂窝状沙垄 Honeycomb dune ridge 4 新月型沙丘及沙丘链 Crescentic dunes and crescentic chains 5 格状沙丘 Dune networks 6 灌丛沙堆 Bush vegetated dunes 7 样地 Sampling sites

### 1.2 研究方法

2003年5月底纵穿沙漠对11个样地25个样点做了定点观察、测度和取样,分析了沙漠生境对植物群落纵向格局的影响。2006年5月初横穿沙漠对20个样地28个样点植被特征、土壤理化性状和地貌形态进行了系统调查和取样。每个样点均用GPS定位和获取海拔高度数据。各样地根据地貌形态和植被盖度特征设置1~3个灌木、小乔木样方,其中小半乔木植物分布参数测度样方单位为20m×20m,灌木为10m×10m,草本则在乔灌木样方的对角线上、中、下部设置3个1m×1m的小样方,记录每种植物个体数,多度(草本)、盖度、株高、冠幅等数据。每一样方中,均分层0~10cm和10~30cm取土壤理化属性分析样品。土壤有机质、养分、全盐含量和pH值,均按常规方法进行测定<sup>[4]</sup>,土壤含水量采用铝盒取样烘干称重法求出,粒度测定是在Malvern激光粒度仪上进行,粒度组成及参数由Folk和Ward的公式<sup>[5]</sup>计算获得。

植被分布格局可用植物群落多样性指数的空间变化来表达。在以往的研究中主要选择对本区植物群落组成和结构较敏感的Simpson生态优势度(C)和Herlbert多样性指数(PIE)作为描述植被分布的参数: $C = \frac{n_i^2}{N^2}$ ,式中 $n_i$ 为第*i*种的重要值, $N$ 为群落所有种重要值总和; $PIE = \frac{N}{N-1} (1 - \frac{1}{N^2} \sum n_i^2)$ , $n_i$ 为第*i*种的个体数, $N$ 为所有种的个体总数。考虑到有研究者通过对比认为该沙漠(南部)用物种重要值测度植被状况更客观<sup>[8]</sup>,因而在本文选用植物物种重要值进行CCA分析,灌木重要值=(相对高度+相对盖度+相对密度)/300,草本重要值=(相对高度+相对盖度+相对密度+相对频度)/400。而CCA分析的基本思路、所能解决

的问题及应用情况已有论述<sup>[3]</sup>。

利用 MVSP 软件进行 CCA 分析,其它大量数据处理借助 SPSS 和 Excel 软件系统完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被分布的空间异质性

研究区纵向上统计到的植物有 69 种,横向上 70 种。除少数几个种外,纵、横向上植物种类基本一致。其中优势种和主要伴生种为 33 种(表 1),它们构成了纵向上的 5 个主要植物群落(19 个群丛)<sup>[9]</sup>和横向上的 6

表 1 纵、横穿越古尔班通古特沙漠 53 块样地中主要植物种类

Table 1 Main plant species of 53 sites traversing from south to north and east to west in Gurbantunggut Desert

序号 No.	植物名称 Plant species	代码 Code	所在样地 Sites of species
1	白梭梭 <i>Haloxylon persicum</i>	Hp	H0, H1, H2, H8, H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15; Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
2	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	Ha	H12, H16, H17, H18, H19; Z2, Z9, Z11
3	白皮沙拐枣 <i>Calligonum leucocladium</i>	Cl	H0, H1, H2, H3, H4, H5, H7, H8, H9, H10, H11, H13, H14, H15; Z3, Z5, Z6, Z8, Z10
4	蛇麻黄 <i>Ephedra distachya</i>	Ed	H2, H3, H4, H5, H6, H8, H9, H10, H11, H12, H13; Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
5	琵琶柴 <i>Reaumuria soongorica</i>	Rs	H19, Z9, Z11
6	驼绒藜 <i>Ceratoides latens</i>	Cel	Z1
7	沙蒿 <i>Artemisia arenaria</i>	Ara	H2, H3, H5, H6, H7, H9, H13, H14; Z5, Z6, Z7
8	白茎绢蒿 <i>Seriphidium terrae-albae</i>	St	H0, H3, H9; Z7, Z8, Z10
9	沙漠绢蒿 <i>Seriphidium santolinum</i>	Ss	H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9; Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
10	准噶尔无叶豆 <i>Eremosparton songoricum</i>	Es	H4
11	无叶假木贼 <i>Anabasis aphylla</i>	Ana	H17, H18, H19
12	沙生针茅 <i>Stipa glareosa</i>	Sg	H9; Z1, Z3
13	羽状三芒草 <i>Aristida Pennata</i>	Arp	H0, H1, H2, H3; Z10
14	多根葱 <i>Allium polyrrhizum</i>	Alp	H3, H5, H6, H7, H8, H9
15	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	As	H0, H, H2, H14;
16	对节刺 <i>Horaninowia ulicina</i>	Hu	H0, H1, H2, H6, H15; Z4, Z5, Z8
17	角果藜 <i>Ceratocarpus arenarius</i>	Ca	H4, H5, H6, H7, H9, H10; Z1, Z5, Z6, Z7, Z8
18	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	Sc	H17, H18, H19; Z2, Z9
19	线叶庭荠 <i>Alyssum linifolium</i>	Al	H8, H9, H10; Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
20	念珠芥 <i>Neotorularia torulosa</i>	Nt	H4, H5, H7, H8, H9, H12, H15, H17; Z4, Z5, Z6, Z8, Z10
21	沙生千里光 <i>Senecio subdentatus</i>	Ssu	H4, H5, H6; Z3, Z4, Z5, Z7
22	小甘菊 <i>Cancrinia discoidea</i>	Cd	H10, H12, H12
23	琉苞菊 <i>Hyaletia pulchella</i>	Hpu	Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
24	狭果鹤虱 <i>Lappula semiglabra</i>	Ls	H3, H6, H7, H8, H9, H10, H12, H13, H14, H15; Z3, Z4, Z5, Z6, Z10
25	东方旱麦草 <i>Eremopyrum orientale</i>	Eo	H4, H7, H8, H9, H10, H12; Z3, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
26	中亚葫芦巴 <i>Trigonella tenella</i>	Tt	Z7, Z8
27	速生黄芪 <i>Astragalus arpilobus</i>	Asa	H5, H6, H14
28	* 粗柄独尾草 <i>Eremurus inderiensis</i>	Ei	H5, H8, H9
29	早熟猪毛菜 <i>Salsola praecox</i>	Sp	Z3, Z4, Z6
30	小花角茴香 <i>Hypocoum parviflorum</i>	Hyp	H8, H12, H14, H15
31	尖喙牻牛儿苗 <i>Erodium oxyrrhynchum</i>	Ero	H4, H8, H9, H10, H12, H15; Z1, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
32	* 沙苔草 <i>Carex physodes</i>	Cp	H0, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, H12; Z1, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10
33	* 簇花芹 <i>Soranthus meyeri</i>	Sm	H3, H9, H13, H14; Z3, Z5

\* 为类短命植物。\* are ephemeroid

个主要植物群落 (23 个群丛)。这些群落的演替趋势是 纵向上沙漠北缘的草原化荒漠平原以驼绒藜群落为主,低洼区或荒漠平原生长大片的梭梭群落,垄间地和垄坡下部分布蛇麻黄群落,沙垄(丘)坡上及顶部发育白梭梭群落,半固定的复合沙垄顶部和垄坡多见沙漠绢蒿群落,横向上少见驼绒藜群落,东部地段枝状沙垄的流动、半流动垄顶常见羽状三芒草群落,中西部结皮非常发育(盖度高达 90%)的小型沙垄上大量出现沙蒿群落。而白梭梭群落、蛇麻黄群落、沙漠绢蒿群落及梭梭群落分布状况基本同纵向一致。

研究区植被群落多样性、生态优势度和盖度存在着明显的空间异质性。纵向上这些参数都表现出随着沙垄不同地貌部位发生规律性变化的特征。从垄间地到沙垄上,植被向多样性指数 *PIE* 增高的群丛过渡。一般固定沙垄顶部植物群落多样性明显优于两坡,而半固定和流动沙垄顶部则不确定。由图 2a 不难看出,纵向上草本层片物种多样性和乔灌木层片的多样性变化趋势基本一致,只是乔灌木的 *PIE* 明显低于前者。由于本研究的时段恰是短命、类短命植物萌发生长的有利季节,它们的大量生存增加了草本层片的丰富度,形成此时草本植物多样性较高的特点, *PIE* 约为 0.6。相比之下,生态优势度 *C* 值波动的幅度要小得多,且草本层片的生态优势度显著低于乔灌木(图 2b)。和多样性变化类似,从垄间地到沙垄上,草本和乔灌木的盖度多表现出增高的倾向(图 2c)。调查发现,垄间地一般结皮较发育,或土壤盐碱性相对强。结皮与短命植物的反消长竞争关系及盐碱对大多数植物的胁迫抑制作用,在减少植物丰富度的同时,还降低了植被的盖度。应指出,纵向上植物群落多样性、优势度和盖度等植被格局参数变化幅度不大的总体特征,和沙垄延伸方向上地貌形态差异不显著存在一定的对应关系。

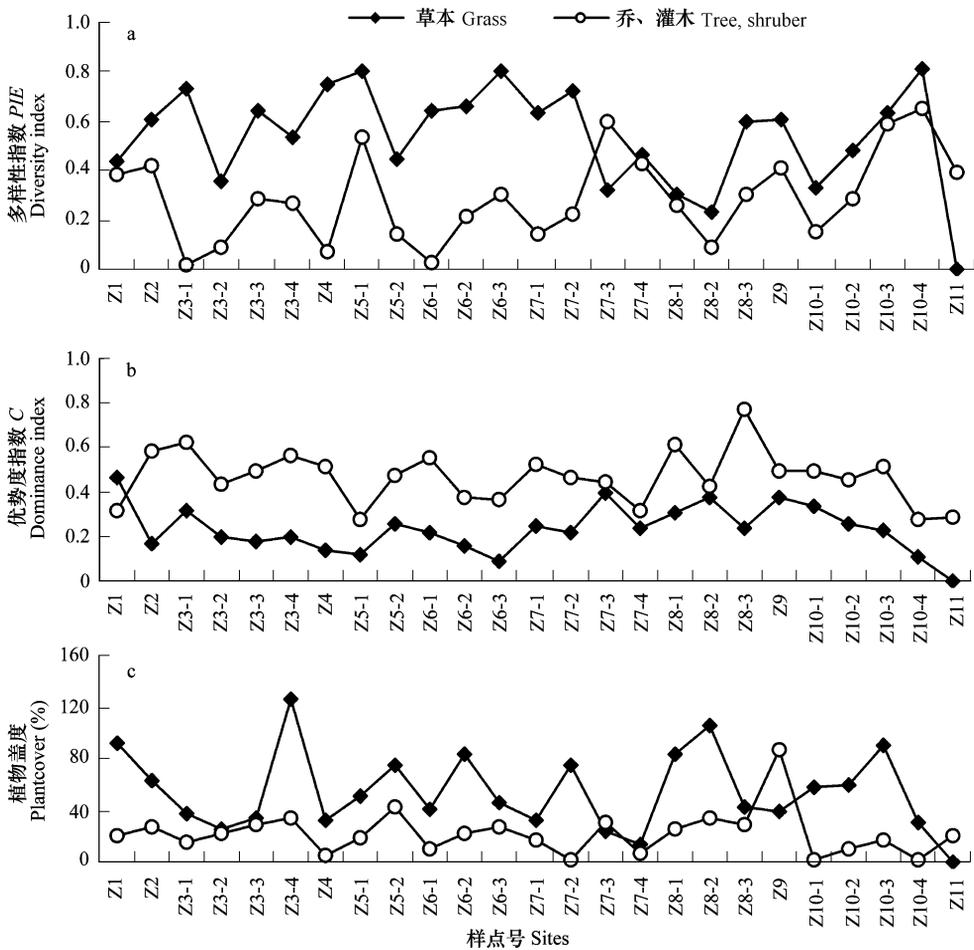


图 2 古尔班通古特沙漠 C、PIE 和植被盖度纵向变化

Fig. 2 Longitudinal variation of *C*, *PIE* and vegetation cover from the south to north in Gurbantunggut Desert

横向上植被物种多样性呈现了地域上的三段式变化特征。 $PIE$  在东部和西部变化频繁, 变幅较大; 在中部变化幅度小, 但均值明显高于东、西部 (图 3a)。这种空间上的异质性似乎响应了沙漠东西两端沙垄规模小、复杂多变和中部高大复合沙垄形态单一的地貌特征。另外, 东部乔灌木层片和草本层片物种多样性呈此消彼长的态势, 西部二者的多样性指数则同步波动。据观察, 在地势较高的东部, 白梭梭等乔灌木植物发育的沙垄某些部位, 如垄顶上, 短命、类短命植物种类明显减少。而在西部低洼区, 乔灌木类的梭梭、无叶假木贼、琵琶柴等和草本的猪毛菜、念珠芥、狭果鹤虱等共同构成了物种相对丰富、耐盐碱的植物群落。它们随地貌、土壤理化性质等微生境的变化一起发育和衰败。中部乔灌木和草本在多样性上存在两种相反的关系, 即中东部草本层片的多样性大于乔灌木层片, 中西部则反之。调查显示, 乔灌木和短命植物物种数在两个地段没有显著差异, 只是多年生草本植物种数在中东部略高, 如羽状三芒草、多根葱等主要分布在该沙漠的东部和中东部。生态优势度也有清晰的地域性特征。东部乔灌木和草本层片的优势度均为中等水平,  $C$  值大约为 0.4, 变幅平缓。西部不仅优势度均值明显增高, 约 0.6, 而且变化剧烈 (图 3b)。原因是植物群落的重要建群种白梭梭、梭梭分别在西部沙垄顶部和广阔洼地上表现出显著的生态优势, 而一些短命、类短命植物, 如尖喙牻牛儿苗、簇花芹等也成为西部某些植物群落中的重要伴生种, 其重要值明显提高。植物盖度在横向上的特征为: 乔灌木盖度在东、西部较高, 在 15% 上下波动, 中部偏低, 小于 10%; 草本层片的盖度总体高于乔灌木, 并且西部偏低, 约 10%, 东部较高, 约 30% (图 3c), 这主要是西部短命植物不发育所致。

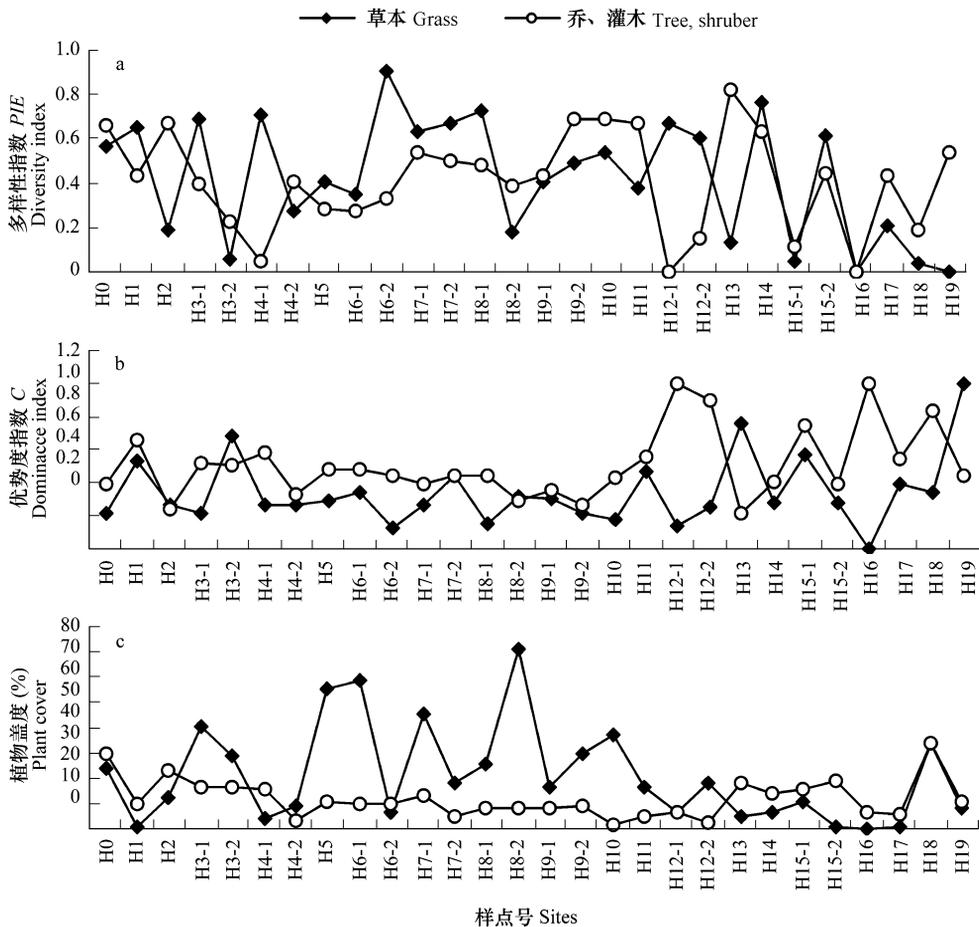


图 3 古尔班通古特沙漠 C、PIE 和植被盖度横向变化

Fig. 3 Transverse variation of C, PIE and vegetation cover from the east to west in Gurbantunggut Desert

## 2.2 植被分布与环境的关系

在基本相同的气候、气象和水文条件下 (据野外实测 2003 年 5 月和 2006 年 5 月沙漠中南部降雨量均为

20.9 mm),影响植被分布格局的环境因子主要为地貌形态和土壤理化性质。与之相关的参数有海拔高度 (alt)、土壤粒度均值 (Mz)、粗粒级 ( $\phi_1$ ) 含量和分选系数 ( $\sigma$ )、土壤含水量 (SM)、有机质含量 (OM)、TN、TP、TK 含量 (数据预处理中发现该沙漠风沙土中 TN 和 TP 的变化极小而不参加 CCA 分析),以及全盐含量 (TS) 和 pH。

样点、物种重要值和环境因子的 CCA 排序结果显示,纵向上环境因子在其变化范围内对植物组成和分布影响不显著 (图 4),大多数植物处于生境梯度的中间序位;横向上植物群落格局对生境的变异有明显响应,但也仅是少数物种组成了沙漠边缘带较耐盐碱的顶级群落,如梭梭群落 (图 5)。

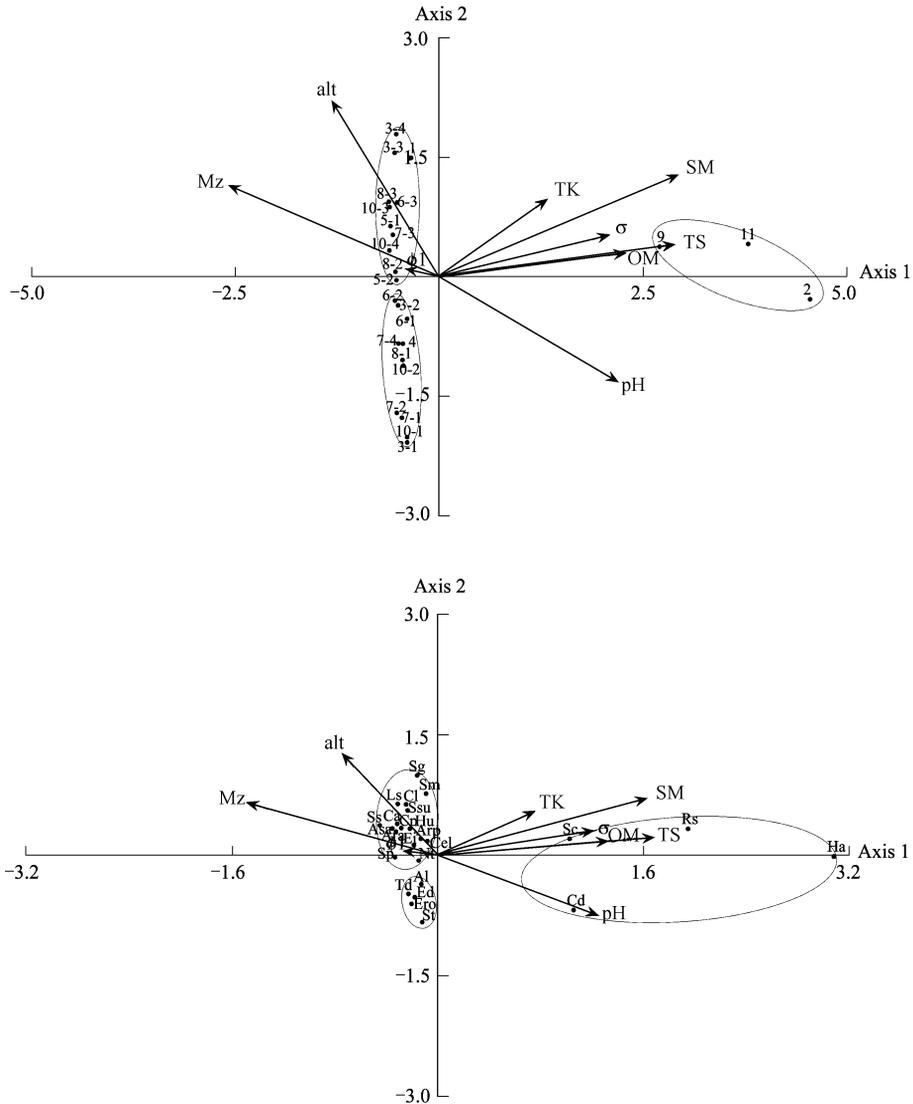


图 4 古尔班通古特沙漠纵向植物 CCA 排序图

Fig. 4 Longitudinal CCA ordination of the plants from the east to west of Gurbantungut Desert

可以看出,纵向上土壤主要理化性质与南北边缘荒漠平原上 (点 Z2、Z9 和 Z11) 一些耐盐碱植物,如梭梭、琵琶柴、猪毛菜等的发育成正相关,与绝大多数植物种群的生长呈弱的负消长。曾对二者进行了相关分析,发现土壤的 OM、SM、TS、TN、TP 及 pH 这些理化性状抑制了草本层片的物种多样性<sup>[9]</sup>。此外,地形和土壤质地也是影响某些植物种组合的重要因素,如地势较高、土壤质地较粗的北部多见沙生针茅 (其是草原化荒漠的指示种)和驼绒藜,沙丘垄顶多见狭果鹤虱,地势较低、结皮较发育的垄间地和垄坡下部生长白茎绢蒿、琉苞

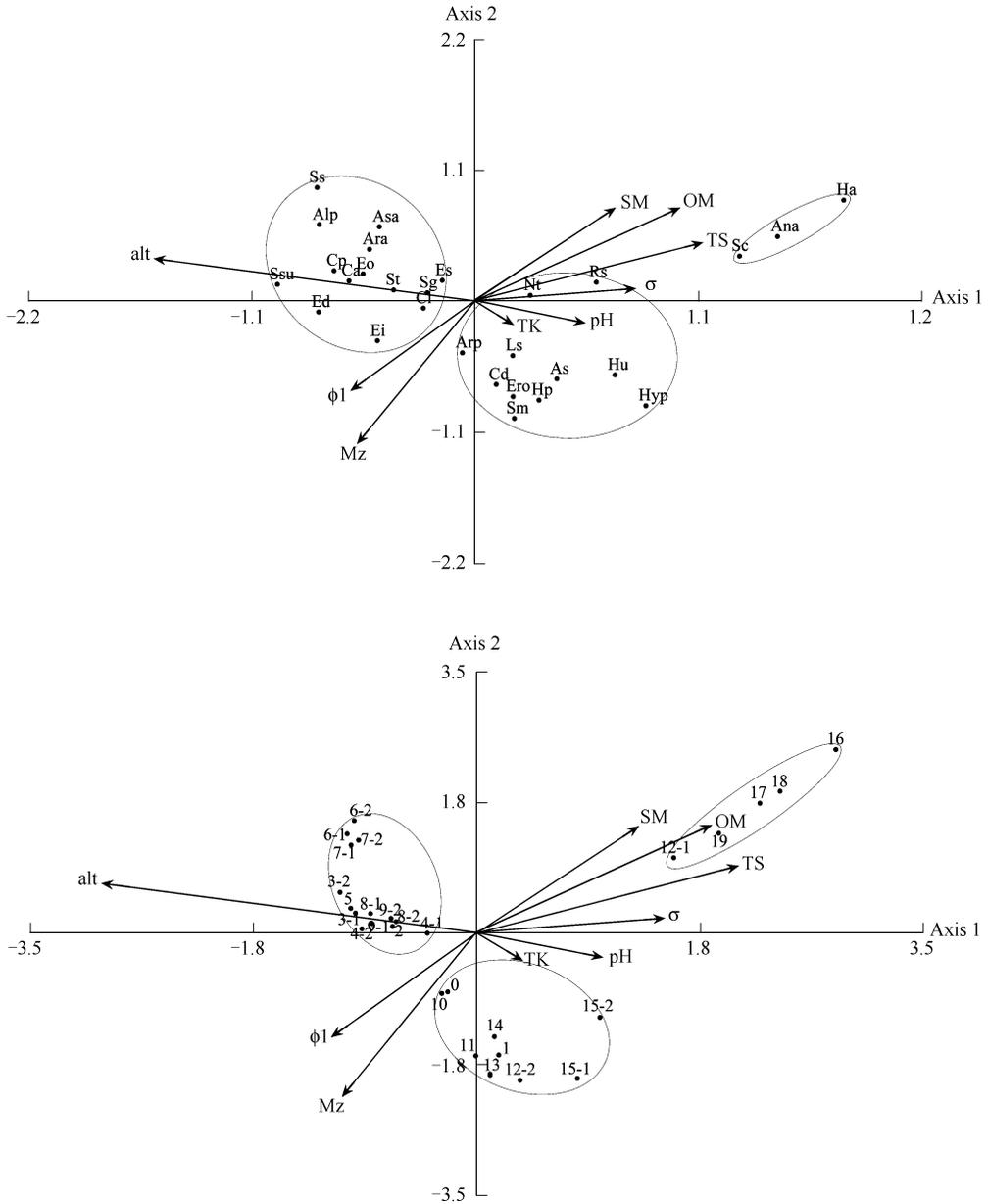


图5 古尔班通古特沙漠横向植物 CCA 排序图

Fig. 5 Transverse CCA ordination of the plants from the east to west of Gurbantunggut Desert

菊和尖喙牻牛儿苗。但这两个环境因子未能造成大多数植物种的纵向空间分化,致使这些种密布在 CCA 排序图中(图4)。

横向上植被在 CCA 排序图中分为 3 个组合(图5),大致对应 3 个地段。中东部(样地 H2 ~ H9)植物组成以一些生长于地势较高、土壤质轻的疏松沙地、沙垄坡上的草本植物为主<sup>[16,17]</sup>,如沙苔草、沙生千里光、角果藜、多根葱等。其次为一些灌木、半灌木类,如沙漠绢蒿、蛇麻黄等。中西部(样地 H10 ~ H15)主要是生长在沙垄坡上质地较粗且富含 K 的土壤中的白梭梭小半乔木与簇花芹、小花角茴香、对节刺、沙蓬等短命或一年生长营养期草本植物的组合。在西部边缘平原区(样地 H16 ~ H19),土壤分选性差、含一定水分和有机质的条件下,主要生长耐盐碱的梭梭、无叶假木贼、琵琶柴小半乔木、灌木类植物和猪毛菜短命植物。东部边缘地带(样地 H0 和 H1)植物组合具中西部特征,这可能和该地带地貌形态类似于西部地段有关。

总体上看,古尔班通古特沙漠土壤理化性质(如 TS、pH、σ、OM、SM 等)的空间变异,使植被沿其梯度方向

(CCA 第一主排序轴正向)由大量生长在较高地势上不甚耐盐碱的草本和乔灌木类物种组合逐渐转变为少数生长在洼地区耐盐碱的乔灌木为主的物种组合。地形(海拔高度 alt)和土壤质地(Mz 和  $\phi_1$  含量)可使一些物种产生空间分化,但这种分化是不确定的。某些在纵向分布上深受地形和土壤质地变化影响的物种,如簇花芹、沙生针茅、狭果鹤虱、白皮沙拐枣等,横向分布却与上述环境因子关系不大。值得一提的是无论纵向还是横向,大多数植物的生境与土壤含水量关系不大(图 4 和图 5)。原因是该沙漠短命、类短命植物属“雨养型”<sup>[7]</sup>,5 月份浅层风沙土 2% 左右的平均含水量不是大多数浅根系植物显著发育的关键因素。另外,该沙漠风沙土中养分偏低,通常有机质含量均值约 0.14%,全 N 均值 <0.02%,全 P 均值 <0.04%,盐碱性较弱,全盐含量均值 <0.16%,pH 均值 <8.3,并且这些化学参数变化范围很窄。大量数据还显示,地貌和土壤理化性质构成的该沙漠微生境尽管存在着异质性,但其空间上的变化梯度较小。而沙漠植物中一些优势种,如白梭梭、蛇麻黄、白皮沙拐枣等,有在新疆北部荒漠异质生境中完成生活史的现象,属于生态幅较宽的物种,加之该地区绝大多数短命植物在生理学和解剖学上表现出的强烈中生性特征<sup>[18]</sup>,使得这些植物种在古尔班通古特沙漠较小的微生境变化梯度中难以形成清晰的空间演替序列。这一点在纵向上表现的尤为突出。

野外观察还发现,沙面动力学条件所营造的植物着床和立地环境使群落物种发生了分选。例如,流动沙面或风蚀显著的沙面多见沙蓬,流动沙垄上的先锋植物常为羽状三芒草,半流动、半固定沙面生长有簇花芹;生物结皮或物理结皮非常发育的地段以及沙丘迎风坡上常见沙苔草。而流动、半流动沙面或垄顶只有白梭梭、白皮沙拐枣、沙漠绢蒿等灌木、半灌木深根植物的成功着床立地,以及接踵而至的尖喙牦牛儿苗、对节刺等浅根草本植物的大规模入侵,才能形成草灌木多层片的固沙植物群落。这种演替特征在人工固沙和植被恢复过程中也有表现<sup>[2,19]</sup>。

### 3 结论

古尔班通古特沙漠景观以 SN 方向延伸、类型多样的沙垄为主,致使地貌形态在纵向(SN)和横向(EW)上产生显著差异,也使得那些对地形及土壤质地等微生境依赖度较高的植物种发生纵横向的分化,形成植被分布的空间异质性,具体表现为植物群落物种多样性、优势度和植被盖度在这两个方向上存在明显不同的变化趋势和强度。此外,沙漠土壤理化性质所形成的微生境空间梯度对纵向上植物群落的组成和结构影响不显著,横向植被分布则对其有较明显的响应。尽管 CCA 排序结果指示了不同地段上植物的物种组合和大致对应的微生境,但某些物种表现出了无序性和多数植物因集中于该沙漠生境梯度中间序位而难以清晰地划分出空间演替序列,说明古尔班通古特沙漠植被与环境的内在关系要比已知的更复杂。

### References :

- [1] Wei W S, He Q, Liu M Z. Climate change and the desert environment in Junggar Basin, Xinjiang, China. *Journal of Desert Research*, 2003, 23 (2): 101 - 105.
- [2] Qian Y B, Lei J Q, Wu Z N. Vertical Distribution of Aeolian Sandy Soil Moisture and Recovery of Vegetation-damaged in the Gurbantunggut Desert. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16 (4): 69 - 72.
- [3] Wu Z. Preliminary study on the aeolian sand landforms in Junggar Basin. *Study on The Desert and Coast in China*. Beijing: Science Press, 1997. 29 - 43.
- [4] Wang X Q, Jiang J, Lei J Q, et al. Distribution of ephemeral plants and their significance in dune stabilization in Gurbantunggut Desert. *Journal of Geographical Sciences*, 2003 13 (3): 323 - 330.
- [5] Zhang Y M, Chen J, Wang X Q, et al. The distribution pattern of biological soil crust in Gurbantunggut Desert. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60 (1): 53 - 60.
- [6] Qian Y B, Wu Z N, Yang Q, et al. Discrimination to ground-surface conditions of sand-dust event occurrences in Junggar Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60 (6): 981 - 990.
- [7] Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (11): 1923 - 1932.
- [8] Zhang L J, Yue M, Gu F X, et al. Coupling relationship between plant communities' species diversity and soil factors in ecotone between oasis and desert in Fukang, Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (6): 658 - 662.

- [9] Qian Y B , Wu Z N , Zhang L Y , *et al.* Impact of Habitat Heterogeneity on Plant Community Pattern in Gurbantunggut Desert. *Journal of Geographical Sciences* ,2004 ,14 (4) :447 — 455.
- [10] Jafari M , Zare Chahouki M A , Tavili A , *et al.* Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments* ,2004 ,56 (4) :627 — 641.
- [11] Monier M , Abd El-Ghani , Wafaa M Amer. Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai , Egypt. *Journal of Arid Environments* ,2003 ,55 (4) :607 — 628.
- [12] Zhang Y M , Chen Y N , Zhang X L. Plant communities and their interrelations with environmental factors in the lower reaches of Tarim River. *Acta Geographica Sinica* ,2004 ,59 (6) :903 — 910.
- [13] Yang H , Lu Q , Wu B , *et al.* Vegetation diversity and application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. *Journal of Arid Environments* , 2006 ,65 (4) :619 — 631.
- [14] Edited by Nanjing Institute of Petrology. *Physical-chemical analyses of soil*. Shanghai : Science and Technology Press ,1978. 62 — 146 ,196 — 233 ,466 ,481 — 489.
- [15] Edited by Shanbei Team of Chengdu Institute of Geology. *Grain Size Analysis of the sedimentary rock (sediment) and its Application*. Beijing : Geology Press ,1976. 44 — 54 ,66 ,90.
- [16] Mao Z M , Zhang D M. The conspectus of ephemeral flora in northern Xinjiang. *Arid Zone Research* ,1994 ,11 (3) :1 — 26.
- [17] Liu Z L , Huang P Y , Liu L , *et al.* Relationship of ephemeral plants and micro-terrain in Muosuowan No. 150 farm. *Environmental Protection of Xinjiang* ,1995 ,17 (3 — 4) :7 — 10 ,27.
- [18] Ren J , Tao L. Characterization of ephemeral plants in northern region of Xinjiang. *Pratacultural Science* ,2005 ,22 (5) :19 — 24.
- [19] Li X , Ma F , Xiao H , *et al.* Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments* ,2004 ,57 (1) :1 — 16.

#### 参考文献 :

- [1] 魏文寿,何清,刘明哲 等. 准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究. *中国沙漠* ,2003 ,23 (2) :101 ~ 105.
- [2] 钱亦兵,雷加强,吴兆宁. 古尔班通古特沙漠风沙土水分垂直分布与受损植被的恢复. *干旱区资源与环境* ,2002 ,16 (4) :69 ~ 72.
- [3] 吴正. 准噶尔盆地沙漠地貌发育的基本特征. *中国沙漠与海岸沙丘研究*. 北京:科学出版社,1997. 29 ~ 43.
- [5] 张元明,陈晋,王雪芹,等. 古尔班通古特沙漠生物结皮的分布特征. *地理学报* ,2005 ,60 (1) :53 ~ 60.
- [6] 钱亦兵,吴兆宁,杨青,等. 新疆准噶尔南部沙尘天气的地表环境判别. *地理学报* ,2005 ,60 (6) :981 ~ 990.
- [7] 张立运,陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报* ,2002 ,22 (11) :1923 ~ 1932.
- [8] 张林静,岳明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系. *应用生态学报* ,2002 ,13 (6) :658 ~ 662.
- [12] 张元明,陈亚宁. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释. *地理学报* ,2004 ,59 (6) :903 ~ 910.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海:科技出版社,1978. 62 ~ 146 ,196 ~ 233 ,466 ,481 ~ 489.
- [15] 成都地质学院陕地队. *沉积岩(物)粒度分析及其应用*. 北京:地质出版社,1976. 44 ~ 54 ,66 ,90.
- [16] 毛祖美,张佃民. 新疆北部早春短命植物区系纲要. *干旱区研究* ,1994 ,11 (3) :1 ~ 26.
- [17] 吕自力,黄培佑,刘立,等. 莫索湾 150 团沙区短命植物与小地形的关系. *新疆环境保护* ,1995 ,17 (3 ~ 4) :7 ~ 10 ,27.
- [18] 任珺,陶玲. 新疆北部短命植物的特征分析. *草业科学* ,2005 ,22 (5) :19 ~ 24.