



## 民勤绿洲荒漠过渡带植物群落 数量分类和排序研究

赵 鹏<sup>1</sup>,徐先英<sup>2,3\*</sup>,金红喜<sup>2</sup>,张进虎<sup>2</sup>,唐卫东<sup>2</sup>,  
柴成武<sup>2</sup>,靳虎甲<sup>2</sup>,董志玲<sup>3</sup>

(1 甘肃农业大学 林学院,兰州 730070;2 甘肃省治沙研究所,荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地,兰州 730070;3 中国林业科学研究院,民勤治沙综合试验站,甘肃民勤 733000)

**摘要:**绿洲-荒漠过渡带作为绿洲与荒漠的连接区域,在干旱区生态环境退化与恢复研究中具有重要意义。该研究以民勤绿洲荒漠过渡带为例,在 47 个植物群落调查样地的基础上,应用双向指示种分类法(TWINSPAN)和除趋势对应分析法(DCA)对研究区典型植物群落进行数量分类和排序,并讨论了影响植物群落类型及空间分布的环境因子。结果表明:(1)研究区植物群落结构简单,植物种以旱生耐盐植物为主。(2)TWINSPAN 分类将研究区的植物群落划分为 11 个群丛类型,即白刺+盐生草群丛、白刺+芦苇群丛、白刺+盐爪爪群丛、盐爪爪+黑果枸杞群丛等,分类结果在空间上反映了民勤绿洲荒漠过渡带植物群落的演替变化趋势。(3)DCA 排序结果验证了 TWINSPAN 分类结果的合理性,同时指出制约民勤绿洲荒漠过渡带植物群落类型及空间分布的重要环境因子是地下水埋深和地貌形态。

**关键词:**双向指示种分析;除趋势对应分析;民勤绿洲荒漠过渡带;环境梯度

中图分类号:Q948.15<sup>+</sup> 5 文献标志码:A

## Quantitative Classification and Ordination Analysis on Vegetation in the Minqin Oasis-Desert Ecotone

ZHAO Peng<sup>1</sup>,XU Xianying<sup>2,3\*</sup>,JIN Hongxi<sup>2</sup>,ZHANG Jinhua<sup>2</sup>,TANG Weidong<sup>2</sup>,  
CHAI Chengwu<sup>2</sup>,JIN Hujia<sup>2</sup>,DONG Zhilin<sup>3</sup>

(1 Forestry College of Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2 State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3 Chinese Academy of Forestry, Minqin Desert Control Comprehensive Experimental Station, Minqin, Gansu 733000, China)

**Abstract:**Due to the special role as connection corridor between oasis and desert, oasis-desert ecotone was a key area to carry out research on ecosystem degradation and recovery in arid region. As the result of dry climate, fragile environment system and long-term human activities, Minqin oasis and its surrounding areas had degraded seriously. In this study, the desert plant communities in the oasis-desert ecotone of Minqin (Minqin ODE) were selected as case study. We obtained valuable data on 19 major plant species from 47 study plots of desert plant communities in Minqin ODE and analyzed that by the means of two-way indicator species analysis (TWINSPAN) and detrended correspondence analysis (DCA) in order to identify the

收稿日期:2013-10-26;修改稿收到日期:2013-12-13

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2012CB723203);国家科技支撑计划(2012BAD16B0203);中国博士后科学基金(20110490474,2012T50162);甘肃省沙生植物保护利用科技创新团队(1207TTCA002)

作者简介:赵 鹏(1987—),男,硕士研究生,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:windows5004@126.com

\*通信作者:徐先英,研究员,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:xyingxu@163.com

main plant associations and environment gradient correlated to their distribution. The results show that: (1) In Minqin ODE, the structure of desert vegetation communities is simple and the species of plants have the characteristics of drought resistance and salt tolerance (2) The outcome of TWINSAN shows that the desert plant communities in Minqin ODE were composed of 11 plant associations and its rationality was verified by DCA ordination. Meanwhile, the succession trends of Minqin ODE are also reflected spatially in the classification result. The main associations include *Nitraria tangutorum* + *Halogeton glomeratus*, *N. tangutorum* + *Phragmites australis*, *N. tangutorum* + *Kalidium foliatum*, *K. foliatum* + *Lycium ruthenicum* et al. (3) The result of DCA ordination shows that the groundwater table and landforms are the leading factors which decide the association type and spatial distribution of desert plant communities in the Minqin ODE.

**Key words:** two-way indicator species analysis; detrended correspondence analysis; Minqin Oasis-Desert ecotone; environmental gradient

植物群落的本质特征之一是群落中的植物与生境之间存在着一定的相互关系,物种及群落的空间分布是不同尺度上气候、土壤、地形等各种因子综合作用的结果。植被群落的数量分类和排序是揭示植被群落与其环境生态关系的重要工具。目前国内外应用较为广泛的方法主要有双向指示种分析(TWINSPAN)、除趋势对应分析(DCA)、典范对应分析(CCA)、除趋势典范对应分析(DCCA)。数量分类和排序可以深刻地揭示植物种、植物群落与环境之间的生态关系<sup>[1]</sup>。关于干旱沙区植被群落的数量分类和排序,已有不少研究工作<sup>[2-6]</sup>。民勤绿洲位于石羊河下游,是全球环境变化的敏感区,气候干旱,生态环境极其脆弱。近50年来,民勤绿洲-荒漠过渡带的植被类型发生了巨大的变化,伴随着地下水位下降,土壤旱化加剧,导致其植被类型趋于旱化、湿生和中生植物相继退化,取而代之的是旱生和超旱生植物<sup>[7]</sup>。就民勤绿洲荒漠过渡带植被与环境的关系已有不少相关研究<sup>[8-10]</sup>,但采用数量分类和排序的方法对该区植物群落与环境关系的研究尚未见报道。为此,在区域尺度上以民勤绿洲荒漠过渡带荒漠植物群落为研究对象,运用数量生态学的方法揭示植物群落的类型及其空间分布与环境因子的关系,为民勤绿洲生态恢复及重建提供科学依据。

## 1 研究区自然概况

研究区(图1)位于巴丹吉林沙漠东南缘的民勤绿洲荒漠过渡带( $102^{\circ}55'14''\sim103^{\circ}37'22''E$ ,  $38^{\circ}34'58''\sim39^{\circ}06'21''N$ )。该区属于典型的温带大陆性荒漠气候,年均气温 $7.4^{\circ}C$ , $\geq10^{\circ}C$ 积温 $3248.8^{\circ}C$ ;年均降水量 $113\text{ mm}$ ,多集中在7、8、9三个月,占全年降雨量的73%;年均蒸发量 $2644\text{ mm}$ ,是降水量的24倍。天然植被以灌木、半灌木为主,占植物种

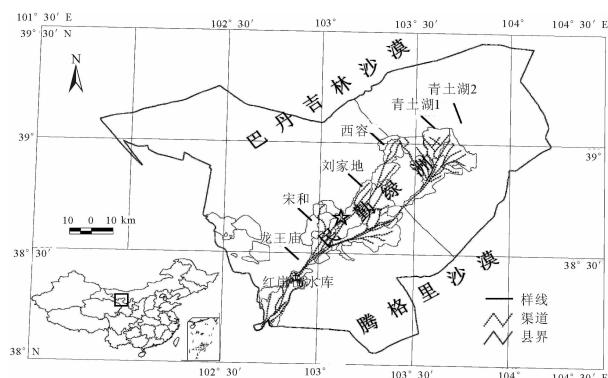


图1 研究区示意图

Fig. 1 Distribution of the study area

类的74.4%;1年生草本植物随季节降水而变化,是荒漠植被的重要组成部分<sup>[11]</sup>。在过去的几十年民勤绿洲边缘大量营造以梭梭为主的人工防风固沙林,现已形成人工-天然植被群落。主要植物有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、芦苇(*Phragmites australis*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、雾冰藜(*Bassia dasypylla*)、猪毛菜(*Salsola collina*)等。地带性土壤为灰棕漠土、非地带性土壤为风沙土、草甸土和草甸沼泽土,灌淤土是最主要的耕作土壤。民勤绿洲边缘分坝区(地下水位20 m以上,民勤治沙站西北)、泉山区(地下水位15 m左右,红沙梁刘家地)、湖区(地下水位10 m以上,西渠西北)地下水位逐次降低的空间序列<sup>[12]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样带设置与数据采集

2012年8月对民勤绿洲荒漠过渡带荒漠植被

表 1 调查样带地理位置  
Table 1 The geographical position of samples

样带 Sample	地点 Place	纬度(北) Latitude(North)	经度(东) Longitude(East)	海拔 Elevation/m
1	龙王庙 Longwangmiao	38°25'49"~38°26'29"	102°54'47"~102°54'43"	1 410~1 394
2	宋和 Songhe	38°31'41"~38°33'00"	102°57'37"~102°55'6"	1 398~1 371
3	刘家地 Liujiadi	38°56'41"~38°56'43"	103°20'33"~103°19'39"	1 320~1 334
4	西容 Xirong	39°02'1"~39°03'55"	103°29'3"~103°28'6"	1 310~1 307
5	青土湖 1 Qingtuhu 1	39°04'51"~39°06'17"	103°34'47"~103°36'57"	1 299~1 297
6	青土湖 2 Qingtuhu 2	39°06'21"~39°03'33"	103°37'22"~103°36'35"	1 309~1 302

进行野外调查。在民勤坝区、泉山区、湖区沿绿洲至荒漠的方向共设置 6 条样带(表 1)。每条样带上间隔 500 m 设置 3 个 10 m×10 m 灌木样地。10 m×10 m 灌木样地间隔 30 m 平行设置, 分别记录每个样方灌木的种类、数量、株高、冠幅, 同时在每个灌木样方内沿对角线设置 3 个 1 m×1 m 的草本样方, 调查样方内草本植物种的种类、个体数、盖度、高度。共调查灌木样方 141 个, 草本样方 423 个。

## 2.2 数据处理

采用重要值作为各种植物在群落中的优势度指标, 表示不同植物在群落中的功能地位。重要值的计算采用日本学者沼田真(1979)的计测方法。

$$\text{重要值 IV} = (\text{相对密度} + \text{相对频率} + \text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 4 \quad (1)$$

式中, 相对密度=(某物种个体数/全部种的个体数之和)×100%; 相对频率=(某物种出现的样方数/全部种出现的样方数之和)×100%; 相对盖度=(某物种的盖度/全部种的盖度之和)×100%; 相对高度=(某物种种植株平均高度/全部种植株平均高度之和)×100%; 利用公式(1)计算样方中出现的所有植物种的重要值。564 个样方共记录 29 个种, 剔除样方中的频度小于 5% 的植物种, 将每个样地的重复样方的乔灌草重要值取平均值, 最终得到 47×19 的样地-植物种重要值原始矩阵。以样地-植物种原始矩阵为基础数据, 应用 TWINSPAN 分类方法对植物群落进行数量分类, 划分出民勤绿洲荒漠过渡带植物群落的主要植物群丛类型; 采用 DCA 排序方法对植物群落进行排序, 揭示植物群落分布的环境梯度。TWINSPAN 数量分类和 DCA 排序在软件 WINTWIN 3.2 和 Canoco 4.5 中实现。

## 3 研究结果

### 3.1 研究区植物群落物种组成

研究区植被群落结构简单, 如表 2 所示仅出现 29 种植物, 隶属 8 科, 27 属。在调查的 141 个灌木

样方和 423 个草本样方中, 蓼科植物种数量最多, 共 8 个种, 占总物种数的 31%; 蓼科共 5 个种, 占总物种数的 19%; 禾本科和豆科 4 个植物种、菊科 3 个植物种, 桤柳科 2 个植物种; 莎草科、白花丹科和茄科各有 1 个植物种。生活型上看, 灌木层植物 11 种, 多年生草本植物 9 种, 一年生草本植物 9 种。

### 3.2 研究区植物群落的数量分类

应用 TWINSPAN 指示种分析方法, 对研究区 47 个样地和 19 个植物种的数据进行 TWINSPAN 分类, 其分类结果见图 2 和图 3。

TWINSPAN 第四级水平上的划分结果将民勤绿洲荒漠过渡带的荒漠植物群落划分为 11 个群丛类型, 从图中还可以看出各个植物种的观测值集中分布在矩阵对角线附近, 反映出较好的环境梯度。在调查结果生态分析的基础上, 依据群落生境特征的指示种和优势种命名群丛类型, 对数量分类的结果进行轻微调整, 最终得到民勤绿洲荒漠过渡带 11 个植被群丛如下:

(1)群丛 I (编号 0000)为白刺+盐生草群丛。包括样地 27、28、31、34, 伴生种有芦苇、猪毛菜、沙米。群丛层片只有 1 层, 灌木高度与草本植物相近。主要分布在湖区样带 5 荒漠边缘, 地貌形态以白刺沙包、流动沙丘、丘间地相间分布为主, 白刺沙包大多处于活化状态, 群丛盖度为 5%~9%。

(2)群丛 II (编号 0010)为白刺+芦苇群丛。包括样地 32、33、35、42、43、37, 伴生种有盐生草、猪毛菜、雾冰藜。可分为灌木层和草本层 2 个层片, 主要分布在湖区样带 5 绿洲边缘, 地貌形态以白刺沙包和固定沙丘为主, 群丛盖度为 15%~20%。

(3)群丛 III (编号 0100)为白刺+盐爪爪群丛。包括样地 36、38、39、40、41, 伴生种有黑果枸杞、驼蹄瓣、盐生草、芦苇、梭梭、沙蒿、红砂、猪毛菜、雾冰藜。群丛层片有 2 层, 灌木层与草本层。主要分布在湖区样带 6 绿洲边缘盐碱地和盐渍化的低沙地或丘间低地, 群丛盖度为 17%~20%。

表 2 民勤绿洲-荒漠过渡带植物群落物种组成  
Table 2 The composition of plant communities in Minqin oasis-desert ecotone

科名 Family	属名 Genus	种名 Species	生活型 Life form
藜科 Chenopodiaceae	梭梭属 <i>Haloxylon</i>	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	灌木 Shrub
	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	雾冰藜 <i>Bassia dasypylla</i>	一年生草本 Annual herb
	盐生草属 <i>Halogeton</i>	盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	一年生草本 Annual herb
	藜属 <i>Chenopodium</i>	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	一年生草本 Annual herb
	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	一年生草本 Annual herb
	沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	一年生草本 Annual herb
	盐爪爪属 <i>Kalidium</i>	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i>	灌木 Shrub
	虫实属 <i>Corispermum</i>	虫实 <i>Corispermum mongolicum</i>	一年生草本 Annual herb
蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	灌木 Shrub
	驼蹄瓣属 <i>Zygophyllum</i>	戈壁霸王 <i>Zygophyllum gobicum</i>	多年生草本 Perennial herb
	蒺藜属 <i>Tribulus</i>	蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	一年生草本 Annual herb
	驼蹄瓣属 <i>Zygophyllum</i>	驼蹄瓣 <i>Zygophyllum fabago</i>	多年生草本 Perennial herb
	骆驼蓬属 <i>Peganum</i>	骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>	多年生草本 Perennial herb
禾本科 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本 Perennial herb
	针茅属 <i>Stipa</i>	沙生针茅 <i>Stipa glareosa</i>	多年生草本 Perennial herb
	虎尾草属 <i>Chloris</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	一年生草本 Annual herb
	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	一年生草本 Annual herb
豆科 Leguminosae	岩黄耆属 <i>Hedysarum</i>	细枝岩黄芪 <i>Hedysarum scoparium</i>	灌木 Shrub
	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	牛枝子 <i>Lespedeza potaninii</i>	半灌木 Subshrub
	槐属 <i>Sophora</i>	苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	多年生草本 Perennial herb
	锦鸡儿属 <i>Caragana</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>	灌木 Shrub
柽柳科 Tamaricaceae	柽柳属 <i>Tamarix</i>	多枝柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	灌木 Shrub
	红砂属 <i>Reaumuria</i>	红砂 <i>Reaumuria soongarica</i>	灌木 Shrub
菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	沙蒿 <i>Artemisia arenaria</i>	半灌木 Subshrub
	蒿属 <i>Artemisia</i>	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	多年生草本 Perennial herb
	花花柴属 <i>Karelinia</i>	花花柴 <i>Karelinia caspia</i>	多年生草本 Perennial herb
蓼科 Polygonaceae	沙拐枣属 <i>Calligonum</i>	沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	半灌木 Subshrub
白花丹科 Plumbaginaceae	补血草属 <i>Limonium</i>	黄花补血草 <i>Limonium aureum</i>	多年生草本 Perennial herb
茄科 Solanaceae	枸杞属 <i>Lycium</i>	黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>	灌木 Shrub

(4)群丛Ⅳ(编号0101)为盐爪爪+黑果枸杞群丛。包括样地45、46、47,伴生种有梭梭、白刺、柽柳、芦苇、猪毛菜、虫实、雾冰藜。群丛层片只有1层,灌木高度与草本植物相近。主要分布在湖区样带6绿洲边缘固定沙丘和盐渍化的低沙地、丘间地,群丛盖度18%~22%。

(5)群丛V(编号0110)为白刺+黑果枸杞群丛。包括样地29、30,伴生种有猪毛菜、黄花矶松、画眉草、盐生草。群丛层片只有1层,灌木高度与草本植物相近。主要分布在湖区样带5绿洲边缘,地貌形态以白刺灌丛沙包、盐碱滩地为主,群丛盖度25%~28%。

(6)群丛VI(编号0111)为柽柳+雾冰藜群丛。包括样地15、16、20,伴生种有梭梭、白刺、红砂、画眉草、黄花矶松。群丛层片有2层,灌木层与草本

层。主要分布在泉山区样带3绿洲边缘,地貌形态以柽柳灌丛沙堆和固定沙丘为主,群丛盖度17%~19%。

(7)群丛Ⅶ(编号1000)为柽柳+白刺+沙米群丛。包括样地11、18、19,伴生种有梭梭、沙拐枣、雾冰藜、盐生草、画眉草。群丛层片只有1层,灌木高度与草本植物相近。主要分布在泉山区样带3荒漠边缘,地貌形态以白刺沙包和流动沙丘为主,群丛盖度8%~10%。

(8)群丛Ⅷ(1001)为梭梭+白刺+沙米群丛。包括样地1、9、10、13、21、22、23、24、25、26、44,伴生种有沙拐枣、红砂、沙蒿、芦苇、猪毛菜、盐生草、黄花矶松、雾冰藜、虫实、驼蹄蓬。群丛层片有2层,灌木层与草本层。主要分布在泉山区和坝区绿洲荒漠过渡带,地貌形态以固定沙丘、半固定沙丘为主,群丛

样地号 Sample plot No.		种组 Species group
2233333443333444423112111	112222224	11 1
78142352376890156790560189190312345645678272344		
植物种号 Plant species No.		
19 S19	-----3111-----	111
18 S18	-----21222-311-1-----	111
17 S17	-----1-122-121-----	111
5 S5	-----111-222222-----	111
13 S13	11-22333322--11-1-----11-111111-----	110
4 S4	333322121222112-1233111112-----12111112-----21-----	110
10 S10	--2-1---1-11111-11-----1-1-----11111111-2-10	10
15 S15	-----1-----1-----1-----	011
12 S12	-----1-111-----11-----11-----	011
8 S8	-----11-2----11-1111-----	011
14 S14	-----2-----1-----1-21-1---1-----	0101
9 S9	-----1-----1-12-1---11-11111-1222222-----	0101
7 S7	22-----1222111111-12-2111-2-12	0101
1 S1	-----1-111-----12-----22222222231222-----	0101
3 S3	-----1-11-----11-1-----32-----	0100
2 S2	-----1-1222-----1212-2223	0100
11 S11	1----22211-1----11----111111111-1---1111111-1-00	00
6 S6	-----1-----11-----1-----12---1 00	00
000000000000000000000000011111111111111111111111111		
000000000011111111111000000000000000000000000001111		
00001111110000000011111000000000000000000111111		
000001000001110011100011111111110000011		

图2 民勤绿洲荒漠过渡带植物群落的双向指示种(TWINSPAN)分类结果

S1. 梭梭; S2. 沙拐枣; S3. 沙蒿; S4. 白刺; S5. 桤柳; S6. 红砂; S7. 沙米; S8. 黄花礁松; S9. 雾冰藜; S10. 盐生草; S11. 猪毛菜; S12. 画眉草; S13. 芦苇; S14. 虫实; S15. 骆驼蓬; S16. 戈壁霸王; S17. 黑果枸杞; S18. 盐爪爪; S19. 驼蹄瓣; 下同

Fig. 2 Two-way indicator species analysis classification results of plant communities in Minqin oasis-desert ecotone  
S1. *Haloxylon ammodendron*; S2. *Calligonum mongolicum*; S3. *Artemisia arenaria*; S4. *Nitraria tangutorum*;

S5. *Tamarix ramosissima*; S6. *Reaumuria soongarica*; S7. *Agriophyllum squarrosum*; S8. *Limonium aureum*; S9. *Bassia dasypylla*; S10. *Halogeton glomeratus*; S11. *Salsola collina*; S12. *Eragrostis pilosa*; S13. *Phragmites australis*; S14. *Corispermum mongolicum*; S15. *Peganum harmala*; S16. *Zygophyllum gobicum*; S17. *Lycium ruthenicum*; S18. *Kalidium foliatum*; S19. *Zygophyllum fabago*; The same as below

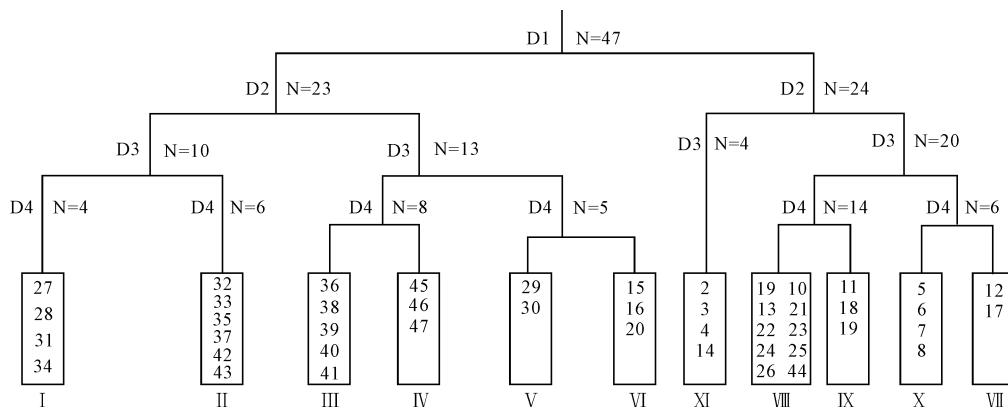


图3 民勤绿洲荒漠过渡带植物群落47个样地的双向指示种分类树状图

D. 样地分组; N. 样地数; 1~47. 样地编号; I~XI. 群丛编号。下同

Fig. 3 Dendrogram of two-way indicator species (TWINSPAN) classification of 47 plots plant communities in Minqin oasis-desert ecotone  
D. Division of plots; N. Number of plots; 1~47. Stand for the code of plot; I~XI. Stand for the code of plant association. The same as below

盖度 13%~16%。

(9)群丛IX(1010)为梭梭+沙拐枣+雾冰藜群丛。包括样地5、6、7、8，伴生种有猪毛菜、沙米、盐

生草、虫实。群丛层片有2层，灌木层与草本层。分布在坝区样带2绿洲边缘，地貌形态以半固定、固定沙丘为主，群丛盖度30%~35%。

(10)群丛X(1011)为红砂+梭梭+雾冰藜群丛。包括样地12、17,伴生种有白刺、盐生草、猪毛菜、芦苇、画眉草。群丛层片只有1层,灌木高度与草本植物相近。主要分布在坝区样带2绿洲荒漠过渡带,地貌形态以固定沙丘为主,群丛盖度19%~21%。

(11)群丛XI(11)为沙拐枣+沙蒿+沙米群丛。包括样地2、3、4、14,伴生种有红砂,猪毛菜、盐生草。群丛层片有2层,灌木层与草本层。主要分布在坝区样带1绿洲荒漠过渡带外围荒漠边缘,地貌形态以半固定沙丘和流动沙丘、砾质滩地为主,群丛盖度16%~20%。

### 3.3 研究区植物群落的DCA排序

47个样地的DCA分析结果显示,4个排序轴的特征值分布为0.638、0.369、0.187、0.081,前两个排序轴的累积贡献率为74.1%。一般情况下,累积贡献率在70%以上,则事物的基本面貌可以得到反映,说明DCA排序结果良好<sup>[13]</sup>。其中前两轴反映的生态信息最多,因此根据前两轴做出了47个样地的DCA二维排序图(图4)。

从排序轴上看,研究区各植被群丛类型主要沿着第一轴表现出明显的生态型梯度变化,分别对应坝区、泉山区和湖区的旱生灌木荒漠、半灌木荒漠、小乔木荒漠、禾草盐化草甸、盐生灌丛等植被类型,表明第一轴代表着地下水埋深的变化。即DCA第一轴从左往右地下水埋深逐渐减小,地下水位过高,溶解于地下水中的盐分随水流沿毛管上升到地表,

水分蒸发后,盐分积聚于土壤表面,造成土壤盐渍化所以土壤盐分较大。植被群丛由旱生群丛沙拐枣+沙蒿+沙米过渡到盐生群丛白刺+盐爪爪。植被群丛类型在DCA第二轴上变化所指示的环境特征不如第一轴明显,原因在于在民勤坝区、泉山区和湖区绿洲荒漠过渡带由于生境条件的差异以及人为因素的干扰,绿洲-荒漠梯度上的植被类型变化差异较大。在坝区绿洲荒漠梯度上植被类型由梭梭人工林+沙拐枣+红砂向沙蒿+沙拐枣+沙米过渡,对应DCA排序图中群丛XI、IX、X沿第二轴的变化,地貌形态由固定、半固定沙丘向白刺灌丛沙包和流动沙丘过渡;在泉山区绿洲荒漠梯度上植被类型由柽柳+红砂向白刺+沙米过渡,对应DCA排序图中群丛VI、VII、VIII沿第二轴的变化,地貌形态由以柽柳灌丛沙包向白刺灌丛沙包和流动沙丘过渡;湖区绿洲荒漠梯度上植被类型由白刺+芦苇+盐爪爪+黑果枸杞向白刺+1年生草本植物过渡,对应DCA排序图中的群丛IV、V、III、I、II沿第二轴的变化,地貌形态由盐碱滩地、低平沙地向白刺灌丛沙包过渡。综合分析推断出DCA第二轴大致代表绿洲-荒漠梯度下地貌形态的变化,即由固定沙丘、半固定沙丘、丘间地向灌丛沙包和流动沙丘过渡。

从植物群丛的类型分析,各群丛类型在排序轴的分布呈现一定的规律性:11个群丛由左到右依次变化,坝区植被群丛沙拐枣+沙蒿+沙米(XI)、梭梭+沙拐枣+雾冰藜(IX)和湖区植被群丛白刺+芦苇(II)、白刺+盐爪爪(III)分布在排序图的左右两端,泉山区群丛梭梭+白刺+沙米(VIII)、柽柳+白刺+沙米(VII)、柽柳+雾冰藜(IV)分布在排序图的中间,其中群丛XI、VI、II相距甚远,说明这几个群丛的物种组成、生境条件差异较大;群丛VIII、VII同属于小乔

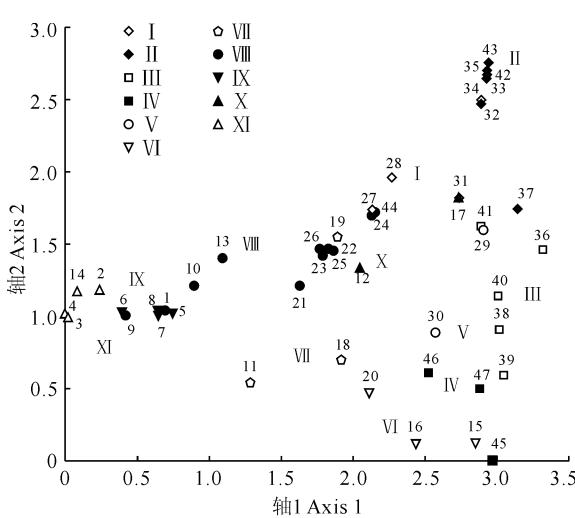


图4 民勤绿洲荒漠过渡带47个样地的DCA二维排序图

Fig. 4 Two-dimensional detrended correspondence analysis (DCA) ordination diagram of 47 plots in Minqin oasis-desert ecotone

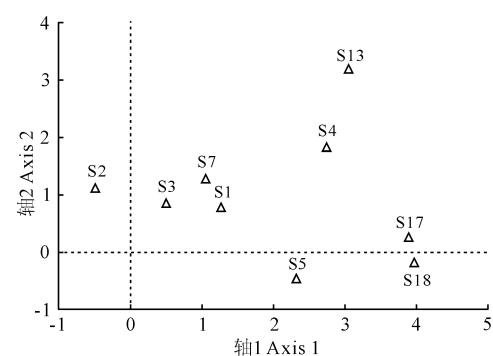


图5 民勤绿洲荒漠过渡带群丛优势种的DCA二维排序图

Fig. 5 Two-dimensional detrended correspondence analysis(DCA) ordination diagram of main plant species in Minqin oasis-desert ecotone

木荒漠,生境条件差异小所以相距较近。在 DCA 二维排序图上 TWINSPAN 数量分类得到的各群丛类型之间体现出明确的分布范围和界线,说明 DCA 排序能很好地反映出各植物群落之间及群落与环境之间的关系。

如图 5 所示各群丛优势种的分布格局与群丛类型的分布格局基本相似,如以黑果枸杞(S17)和盐爪爪(S18)为优势种的群丛黑果枸杞+盐爪爪群丛(IV),同黑果枸杞和盐爪爪均分布在排序图的右下端,其他优势种同对应群丛在 DCA 排序图分布位置也基本相似,说明优势种的分布格局在一定程度上决定着植物群落类型的分布格局<sup>[14]</sup>。

## 4 讨 论

采用 TWINSPAN 数量分类方法,将民勤绿洲荒漠过渡带 47 个样地划分为 11 个主要植物群丛,包括禾草盐化草甸、盐生灌丛、小乔木荒漠、沙生灌木荒漠、典型灌木荒漠等植被类型,划分结果在空间上很好地反映了民勤绿洲荒漠过渡带植被群落的演替变化趋势。荒漠区植物群落演替是其对地下水变化响应的结果<sup>[15]</sup>。随着地下水埋深的增大,群落多从湿生系列过渡到旱生系列,植被的旱生化程度逐渐加剧,主要表现在荒漠植被进一步取代盐生草甸植被成为优势种<sup>[16-17]</sup>。常兆丰等研究指出自西汉以来,民勤绿洲荒漠的植被经历了一个从沼泽植被到盐生草甸再到荒漠植被的退化演替过程。退化演替主要包括荒漠植被退化演替和盐生草甸植被向荒漠植被演替<sup>[18]</sup>。本研究从空间上再现了时间上的演替变化趋势,证明了这种演替的存在。对植被群落的数量分类定性地反映了植被类型与环境的关系,选取的群落优势种也较好地指示了群落生境的基本特征。民勤荒漠绿洲属于暖温带大陆性干旱气候,地带性植被类型为荒漠植被,由于受石羊河上游来水的影响,出现了隐域植被,如盐生草甸、沼泽草甸。

DCA 排序结果表明,对于特定的研究区域民勤绿洲荒漠过渡带,制约植物群落类型及其空间分布的环境因子主要是地下水埋深和地貌形态。彭鸿嘉等<sup>[8]</sup>通过对 40 多年来民勤荒漠植被类型、植被演替特征的分析表明,由于超采地下水等各种不合理人类活动,使地下水位急剧下降,成为植被退化的最直接的根源。马全林等<sup>[9]</sup>对民勤绿洲边缘柽柳荒漠林时空变化的驱动因素研究认为:地下水下降和林地土壤水分减少是柽柳林时空变化的主导因素,10 m 的地下水位是地下水和土壤水分起主导作用的临界

水位。马瑞等<sup>[10]</sup>以景观分异的角度分析了民勤绿洲荒漠过渡带植被梯度的土壤水环境,指出在干旱气候的背景下,土壤水环境是影响过渡带植被组成与分布格局最为主要的生态因子。干旱荒漠区植物群落的生长与地下水水位密切相关,地下水埋深影响土壤水分和盐分含量,制约着植物的生长状况<sup>[19]</sup>。经过绿洲化和荒漠化两种地理过程的作用<sup>[20]</sup>,在绿洲荒漠过渡带形成了多种地貌形态的景观特色,由于不同地貌形态的微环境变化较大,从而影响植物的生存和生长<sup>[21]</sup>,同时由于地形控制了太阳辐射和降水的空间再分配,因而能较好地指示局部生境的小气候条件,反映土壤厚度和养分的空间差异,进而影响植物群落的物种组成、结构和动态变化<sup>[22-24]</sup>。由此可见,地貌形态也是制约绿洲荒漠过渡带植被群落类型及空间分布的重要影响因子。综上所述,本研究结果与前人的研究结论基本一致。

植被与环境的关系研究是植物生态学领域的重要内容,张元明等<sup>[4]</sup>认为影响荒漠植被分布格局的因素包括生物的和非生物的,其间的相互作用关系十分复杂,需要同时反映出诸如地下水、土壤含水量、土壤盐分等环境因子与植被动态的关系,定量揭示他们之间的相互作用关系。本研究仅从植物群落的环境指示特征出发讨论荒漠植被类型及其空间分布与环境的关系,在一定程度上反映出植被与地下水埋深和地貌形态的关系,但在今后的研究中需要关注地下水和土壤各定量指标对植物群落类型及其空间分布的影响。

## 5 结 论

(1) 研究区植物群落结构简单,共出现植物种 29 种,分别隶属于 8 科、27 属。其中藜科(Chenopodiaceae)、柽柳科(Tamaricaceae)、蒺藜科(Zygophyllaceae)有 15 个种,约占 58%,反映了干旱荒漠绿洲区旱生耐盐植物种占优势的特征。

(2) TWINSPAN 数量分类方法将民勤绿洲荒漠过渡带 47 个样地划分为 11 个主要植物群丛,分别为白刺+盐生草群丛、白刺+芦苇群丛、白刺+盐爪爪群丛、盐爪爪+黑果枸杞群丛、白刺+黑果枸杞群丛、柽柳+雾冰藜群丛、白刺+沙米群丛、梭梭+白刺+沙米群丛、梭梭+沙拐枣+雾冰藜群丛、红砂+梭梭+雾冰藜群丛、沙拐枣+沙蒿+沙米群丛,分类结果在空间上反映了民勤荒漠绿洲过渡带植物群落的演替变化趋势。

(3) DCA 排序结果验证了 TWINSPAN 数量分

类结果的合理性,同时表明地下水埋深和地貌形态  
是民勤绿洲荒漠过渡带植物群落类型及其空间分布的主要影响因子。

## 参考文献:

- [1] 张金屯.植被数量生态学方法[M].北京:科学出版社,1995:217—226.
- [2] SHEN Y Y(沈禹颖),YAN SH G(阎顺国),ZHU X Y(朱兴运).The distribution and soil environmental properties of the main plant communities in a salinized meadow land of Hexi Corridor[J].*Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报),1994,**18**(1):95—102(in Chinese).
- [3] LIU H J(刘海江),GUO K(郭 柯).Classification and ordination analysis of plant communities in inter-dune lowland in Hunshandak Sandy Land[J].*Acta Ecological Sinica*(生态学报),2003,**23**(10):2 163—2 169(in Chinese).
- [4] ZHANG Y M(张元明),CHEN Y N(陈亚宁),ZHANG X L(张小雷).Plant communities and their interrelations with environmental factors in the lower reaches of Tarim River[J].*Acta Geographica Sinica*(地理学报),2004,**59**(6):903—909(in Chinese).
- [5] WANG ZH X(王振锡),PAN C D(潘存德).Spatial distribution of vegetation community and environmental interpretations in desert-oasis ecotone in the Lower Reach of Tarim River[J].*Xinjiang Agricultural Sciences*(新疆农业科学),2009,**46**(3):449—458(in Chinese).
- [6] ZHU J T(朱军涛),YU J J(于静洁),WANG P(王 平),et al.Quantitative classification and analysis of relationships between plant communities and their groundwater environment in the Ejin Desert Oasis of China[J].*Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报),2011,**35**(5):480—489(in Chinese).
- [7] YANG Z H(杨自辉).Research on desert vegetation changes for 40 years at Shajingzi Area in Minqin[J].*Journal of Desert Research*(中国沙漠),1999,**19**(4):395—398(in Chinese).
- [8] PENG H J(彭鸿嘉),FU B J(傅伯杰),CHEN L X(陈利项),et al.Study on features of vegetation succession and its driving force in Gansu Desert Areas—A case study at Minqin County[J].*Journal of Desert Research*(中国沙漠),2004,**24**(5):628—633(in Chinese).
- [9] MA Q L(马全林),WANG J H(王继和),LIU H J(刘虎俊),et al.Spatial-temporal variation and its driving factors of *Tamarix* forestry at Edge of Minqin Oasis[J].*Journal of Desert Research*(中国沙漠),2006,**26**(5):802—808(in Chinese).
- [10] MA R(马 瑞),WANG J H(王继和),QU J J(屈建军),et al.Vegetation gradient characteristics and soilwater environment of oasis-desert transitional zone in Minqin[J].*Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2010,**29**(6):1 075—1 080(in Chinese).
- [11] LIU H J(刘虎俊),WANG J H(王继和),CHANG ZH F(常兆丰),et al.Characteristics of desert flora and vegetation in lower reach of Shiyang River Basin[J].*Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2006,**25**(2):113—118(in Chinese).
- [12] YANG Z H(杨自辉),E Y H(俄有浩),FANG E T(方峨天),et al.Response of plant species diversity to water resources change in Minqin Oasis Fringe[J].*Journal of Desert Research*(中国沙漠),2007,**27**(2):278—282(in Chinese).
- [13] ZHANG F(张 峰),ZHANG J T(张金屯).Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China[J].*Journal of Shanxi University(Nat. Sci. Edi.)*(山西大学学报·自然科学版),2000,**23**:278—282(in Chinese).
- [14] ZHANG F(张 峰),ZHANG J T(张金屯).Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou,Lishan Mountain Nature Reserve[J].*Acta Ecological Sinica*(生态学报),2003,**23**(3):421—427(in Chinese).
- [15] ZHAO W ZH(赵文智),LIU H(刘 鹤).Recent advance in desert vegetation response to groundwater table changes[J].*Acta Ecological Sinica*(生态学报),2006,**26**(8):2 702—2 708(in Chinese).
- [16] LIU H(刘 恒),ZHONG H P(钟华平),GU Y(顾 颖).Water resources development and oasis evolution in inland river basin of arid tone of Northwest China.A case study:Minqing Basin of Shiyang River[J].*Advances in Water Science*(水科学进展),2001,**9**(3):378—384(in Chinese).
- [17] ZHANG H F(张宏峰),CHEN Y N(陈亚宁),CHEN Y P(陈亚鹏),et al.Species quantity change and ecosystem dynamics in the lower reaches of Tarim River[J].*Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2004,**23**(4):21—24(in Chinese).
- [18] CHANG ZH F(常兆丰),LIU H J(刘虎俊),ZHAO M(赵 明),et al.A primary study on the process of formation and succession of desert vegetation in Minqin[J].*Journal of Arid Land Resources and Environment*(干旱区资源与环境),2007,**21**(7):116—124(in Chinese).
- [19] DAI SH Y(代述勇),LEI J Q(雷加强),ZHAO J F(赵景峰),et al.Groudwater characteristics and their effects to eco-environmental of desert oasis transitional zone in Western Qira[J].*Journal of Arid Land Resources and Environment*(干旱区资源与环境),2009,**23**(8):99—103(in Chinese).
- [20] ZHANG H,WU J W,ZHENG Q H,et al.A preliminary study of oasis evolution in the Tarim Basin,Xinjiang,China[J].*Journal of Arid Environments*,2003,**55**:545—553.
- [21] SHAN L(山 仑),XU B CH(徐炳成),DU F(杜 峰),et al.A survey study on productivity and eco-adaptability of different plants in north region of Shanxi Province[J].*Bulletin of Soil and Water Conservation*(水土保持通报),2004,**24**(1):1—7(in Chinese).
- [22] PAKER A J.The topographic relative moisture index:An approach to soil moisture assessment in mountain terrain[J].*Physical Geography*,1982,**3**:160—168.
- [23] CHEN Z S,HSIEH C F,JIANG F Y.Relations of soil properties to topograppy and vegetation in a subtropical rain forest in Southern Taiwan[J].*Plant Ecology*,1997,**132**:229—241.
- [24] MCDONALD D J,COWLING R M,BOUCHER C.Vegetation-environment relationships on a species rich coastal mountain range in the fensbos biome(South Africa)[J].*Vegetation*,1996,**123**:165—182.