

塔里木河中下游湿地及周边植物群落与环境因子的关系初探*

赵锐锋^{1,2} 周华荣^{1**} 钱亦兵¹ 张建军³

(¹中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ²中国科学院研究生院, 北京 100039; ³新疆水利厅, 乌鲁木齐 830000)

【摘要】选取塔里木河中下游湿地及周边 16 个典型植物群落样地调查和环境因子数据, 采用主分量分析(PCA)排序技术和回归分析, 定量分析湿地及周边植物群落在空间上的分布格局, 以及群落结构特征和环境因子之间的关系。结果表明, 影响塔里木河中下游湿地及周边植物群落分布的第 1 主分量中, 土壤水分和盐分影响最大, 贡献率为 35.70%; 在第 2 主分量中, 土壤养分影响最大, 贡献率为 25.97%。植物群落分布可划分为沼泽轻盐中营养生、湿草中盐中营养生、冲积中盐低营养生和干旱生重盐低营养生 4 种类型。沿不同生境依次分布着沼泽植被、草甸植被、河岸稀林和盐生荒漠-盐化灌丛植被。塔里木河中下游湿地及周边植物群落的生态优势度与土壤水分和盐分复合梯度呈显著的一元线性相关。二元回归分析结果显示, 塔里木河中下游湿地及周边土壤水分和盐分复合梯度与多样性指数和生态优势度二元指标呈极显著相关。

关键词 塔里木河 湿地 植物群落 主分量分析

文章编号 1001-9332(2006)06-0955-06 中图分类号 Q948.11 文献标识码 A

Interrelations between plant communities and environmental factors of wetlands and surrounding lands in mid- and lower reaches of Tarim River. ZHAO Ruifeng^{1,2}, ZHOU Huarong¹, QIAN Yibing¹, ZHANG Jianjun³ (¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³Water Resources Department of Xinjiang, Urumqi 830000, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(6): 955 ~ 960.

A total of 16 quadrants of wetlands and surrounding lands in the mid- and lower reaches of Tarim River were surveyed, and the data about the characteristics of plant communities and environmental factors were collected and counted. By using PCA (principal component analysis) ordination and regression procedure, the distribution patterns of plant communities and the relationships between the characteristics of plant community structure and environmental factors were analyzed. The results showed that the distribution of the plant communities was closely related to soil moisture, salt, and nutrient contents. The accumulative contribution rate of soil moisture and salt contents in the first principal component accounted for 35.70%, and that of soil nutrient content in the second principal component reached 25.97%. There were 4 types of habitats for the plant community distribution, i. e., fenny - light salt - medium nutrient, moist - medium salt - medium nutrient, mesophytic - medium salt - low nutrient, and medium xerophytic-heavy salt - low nutrient. Along these habitats, swamp vegetation, meadow vegetation, riparian sparse forest, halophytic desert, and salinized shrub were distributed. In the wetlands and surrounding lands of mid- and lower reaches of Tarim River, the ecological dominance of the plant communities was markedly and unitary-linearly correlated with the compound gradient of soil moisture and salt contents. The relationships between species diversity, ecological dominance, and compound gradient of soil moisture and salt contents were significantly accorded to binary-linear regression model.

Key words Tarim River, Wetland, Plant community, Principal component analysis.

1 引言

植物群落和环境因子的关系是植物生态学的一个中心议题^[6, 14], 主要通过直接梯度分析和间接梯度分析的方法进行定量描述和解释。排序是梯度分析的一个主要技术手段^[21], 极点排序(Polar Ordination, PO)、对应分析(Correspondence Analysis, CA, 也称相互平均排序分析, Reciprocal Averaging, RA)、

主分量分析(Principal Component Analysis, PCA)和除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)等排序技术已被广泛地应用于植被梯度分析中^[5, 8, 9, 23, 30]。近年来, 关于排序结果的解释进一步发展了植物群落学分析手段。

* 国家自然科学基金项目(40271011)和中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲学者“博士人才”培养计划资助项目(20052109)。
** 通讯联系人。Tel: 0991-7885445; E-mail: zhouhr@ms. xjb. ac. cn
2005-05-23 收稿, 2006-04-13 接受。

塔里木河位于新疆南部,是我国最大的内陆河.塔里木河中下游湿地及其变化,是反映整个流域景观生态变化的重要指标之一.近年来,诸多学者在塔里木河中下游的植被类型^[1,24]、分布规律^[17]、群落数量分类^[8,27]、群落特征^[26]和植被演替^[28]等方面做了大量的工作,但缺乏对塔里木河中下游湿地植被与环

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

塔里木河中下游地处新疆南部塔克拉玛干和库鲁克塔格两大沙漠之间,属大陆性暖温带极干旱沙漠气候区,气候干燥多风,降雨稀少,蒸发强烈,温差大,光照资源丰富^[15].该区生态系统类型主要有林地、草地、荒漠、人工绿洲和湿地5类.由于区域内干旱少雨,植被十分稀疏,植物种类非常贫乏,高等植物仅有50多种,主要是胡杨(*Populus euphratica*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、芦苇(*Phragmites communis*)、怪柳(*Tamaricaceae*)科植物、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)和几种多汁盐生植物.群落结构简单,多为单优群落,植被覆盖度低,林地的郁闭度一般小于0.3;以怪柳为主的灌丛植被郁闭度小于0.4;草本植被中,除草甸、沼泽外,其余类型的植被覆盖度大都低于30%,植物抗逆性强^[22].该区土壤条件较差,除沿河两岸分布的胡杨林土、部分草甸土、面积不大的残余沼泽土和人工开垦的绿洲土肥力较高外,其它土壤的有机质含量很低^[2].干旱区湿地呈斑块状零星分布,具有明显的季节性和年际变化^[29].

2.2 研究方法

2.2.1 样地调查 于2003年10月至2004年9月对塔里木河中下游区域(38°47'52"~41°38'30" N, 85°33'38"~88°40'30" E)进行了植物群落调查,选取其中16个典型样地进行植物群落特征调查,采集并取得土壤样品.在湿地及周边选取典型样地,随机布设样方,乔木和灌木样地各取1~2个样方,草本样地取2~4个样方.样方面积为乔木40 m×40 m、灌木10 m×10 m、草本1 m×1 m.在每个样方中记录种类组成,每个种的盖度、株高和冠幅等指标,同时记录每个样方的海拔高度和经纬度.在每个样方对角线各1/3处设3个点,取0~30 cm土壤均匀混合,分装带回实验室分析土壤指标.实验室共测试土壤样品16份,其中水分采用烘干法;酸碱度采用5:1水土比酸度计测定;电导采用5:1水土比电导法;总盐采用5:1水土比烘干残渣法;有机质采用重铬酸钾法;

全氮采用凯氏法;全磷采用酸-高氯酸溶法;全钾采用氢氟酸-高氯酸消煮,火焰光度计法.

2.2.2 数据处理 对植物物种重要值的计算方法较多^[10,18,28].由于取样过程中样方大小不能完全统一,为了减小计算过程中的误差,本研究采用李进等^[7]在大兴沙地草本植被量研究中选用的重要值计算公式:

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对盖度}}{3}$$

多样性指数和生态优势度选用 Shannon-Wiener 指数^[14]和 Simpson 指数^[14].

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

$$D = \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

式中, n_i 为第*i*个种群的重要值, N 为该群落中所有*s*个种群的重要值, s 为群落中的种群个数.

2.2.3 植物群落排序和回归分析 植物群落排序采用群落环境矩阵(表1前8项)进行PCA排序分析,PCA分析及相关环境解释采用国际上较为通用的MVSP(Multi-Variate Statistical Package)3.13软件.用SPSS相关分析方法^[16],对16个群落样方的主分量值与多样性指数和生态优势度进行回归分析.

3 结果与分析

3.1 植物群落的PCA排序

3.1.1 植物群落环境因子主分量分析 各群落类型的环

由表3可以看出,第1主分量特征值为2.858,第2主分量特征值为2.708.土壤含水量、电导率、全盐在第1主分量的负荷量较高,分别为0.497、0.358、-0.533和-0.465,即上述几个因子在第1主分量上的作用较大.同时该结果显示了土壤水分与土壤盐分负相关关系以及土壤盐分与电导率正相关关系(通过正负号),在研究区0~30 cm土层,随着土壤含水量增加,土壤电导率和土壤盐分降低.在第1主分量(轴1)递增的方向上,土壤含水量增加,电导率和土壤全盐降低.由此可

见,第1主分量主要反映群落沿土壤水分和有机质复合梯度的变化规律。

对第2主分量影响最大的是土壤有机质和土壤全氮,其在第2主分量的负荷量分别是0.647和

0.629。由表2可以看出,第2主分量递增的方向也是土壤有机质和土壤全氮递增的方向,而且土壤有机质主要反映植物群落沿土壤养分梯度的变化规律。

表1 塔里木河中下游湿地及周边主要植物群落特征值及环境因子值

Table 1 Characteristics of plant communities and the environmental factors of the wetlands and surrounding lands in the middle and lower reaches of the Tarim River

群落编号 Community Number	土壤水分 Soil moisture (%)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	pH	电导率 Electric conductivity	全盐 Total salt (g kg ⁻¹)	多样性 Species diversity	生态优势度 Ecological dominance
C ₁	47.28	16.60	0.65	0.50	9.79	7.77	1.13	6.80	0	1
C ₂	37.12	2.94	0.20	0.56	7.24	8.39	0.84	3.90	0	1
C ₃	8.45	6.71	0.46	0.53	9.71	8.21	0.38	1.61	0.21	0.78
C ₄	24.39	5.69	0.47	0.54	17.49	8.65	0.66	2.61	0.38	0.49
C ₅	13.29	4.42	0.33	0.52	15.64	8.61	4.44	1.16	0	1
C ₆	31.85	3.06	0.18	0.49	9.41	8.16	1.73	13.16	0.21	0.76
C ₇	45.69	30.56	1.58	0.53	7.52	7.74	0.96	5.94	0	1
C ₈	17.72	17.31	0.67	0.56	11.93	8.42	5.92	89.06	0	1
C ₉	9.76	5.63	0.34	0.44	11.96	8.98	32.99	216.59	0.22	0.67
C ₁₀	13.62	9.61	0.47	0.47	17.21	7.16	13.19	6.21	0.30	0.51
C ₁₁	15.07	4.71	0.32	0.44	8.74	8.24	5.03	39.34	0.55	0.37
C ₁₂	35.90	4.71	0.29	0.47	13.82	8.34	2.20	15.02	0.09	0.91
C ₁₃	11.61	8.60	0.46	0.47	12.88	9.19	20.93	179.78	0.30	0.50
C ₁₄	15.39	26.52	0.67	0.57	11.31	8.09	5.62	149.90	0.38	0.48
C ₁₅	18.40	3.55	0.22	0.47	12.31	9.13	2.65	20.47	0.36	0.50
C ₁₆	6.82	18.33	0.91	0.44	13.50	8.25	32.35	201.27	0.30	0.51

C₁、C₁₂: 水葱群落 *Scirpus validus* community; C₂: 香蒲群落 *Typha latifolia* community; C₃、C₉: 刚毛柽柳群落 *Tamarix hispida* community; C₄、C₁₄: 罗布麻群落 *Apocynum venetum* community; C₅、C₇、C₈: 芦苇群落 *Phragmites communis* community; C₆: 盐角草群落 *Salicornia europaea* community; C₁₀、C₁₅: 胡杨林 *Populus euphratica* community; C₁₁: 盐节木群落 *Halocnemum strobilaceum* community; C₁₃: 盐穗木群落 *Halostachys caspica* community; C₁₆: 花花柴群落 *Karelinia caspica* community. 下同 The same below.

表2 塔里木河中下游湿地及周边植物群落样地内的物种及其重要值

Table 2 Species and their importance values of the plant communities of the wetlands and surrounding lands in the middle and lower reaches of the Tarim River

植物名称 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
水葱 <i>S. validus</i>	100											95.38				
香蒲 <i>T. latifolia</i>		100														
刚毛柽柳 <i>T. hispida</i>			88.15	17.42		4.7			79.02		9.18	2.95			7.03	
海乳草 <i>G. maritima</i>			2.74													
华扁穗草 <i>B. sinocompressus</i>			5.66													
芦苇 <i>P. communis</i>				17.15	100	8.7	100	100		43.43	14.08	1.67	46.04	24.3	28.83	44.52
罗布麻 <i>A. venetum</i>				65.43											63.95	
盐角草 <i>S. europaea</i>						86.6										
盐穗木 <i>H. caspica</i>									20.98				53.96			
獐毛 <i>A. pungens</i>											3.97					
白茎盐生草 <i>H. rachnoideus</i>											17.6					
盐节木 <i>H. strobilaceum</i>											55.17					
骆驼刺 <i>A. sparsifolia</i>														11.75		
花花柴 <i>K. caspica</i>																55.48
胡杨 <i>P. euphratica</i>			3.45							56.57					64.14	

表3 主分量分析的环境因子负荷量矩阵

Table 3 Loading matrix of environment factors of PCA

主分量 Components	土壤水分 Soil moisture	有机质 Organic matter	全N Total nitrogen	全P Total phosphorus	全K Total potassium	土壤pH pH value	电导率 Electric conductivity	全盐 Total salt	特征值 Eigenvalue	信息百分比 Percentage (%)	累计百分比 Accumulative percentage (%)
第1主分量 First component	0.497	0.126	0.133	0.358	-0.224	-0.203	-0.533	-0.465	2.858	35.73	35.73
第2主分量 Second component	0.087	0.647	0.629	-0.03	-0.222	0.04	0.18	0.308	2.078	25.974	61.704
第3主分量 Third component	0.139	-0.133	-0.19	0.255	-0.514	0.747	-0.021	0.2	1.264	15.802	77.506

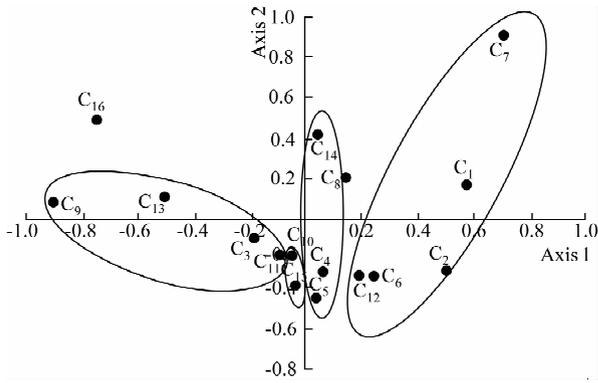


图1 塔里木河中下游湿地及周边植物群落的主成分分析

Fig. 1 PCA of plant communities of the wetlands and surrounding lands in the middle and lower reaches of Tarim River.

C₁、C₁₂: 水葱群落 *S. validus* community; C₂: 香蒲群落 *T. latifolial* community; C₃、C₉: 刚毛怪柳群落 *T. hispida* community; C₄、C₁₄: 罗布麻群落 *A. venetum* community; C₅、C₇、C₈: 芦苇群落 *P. communis* community; C₆: 盐角草群落 *S. europaea* community; C₁₀、C₁₅: 胡杨林 *P. euphratica* community; C₁₁: 盐节木群落 *H. strobilaceum* community; C₁₃: 盐穗木群落 *H. caspica* community; C₁₆: 花花柴群落 *K. caspica* community.

3.1.2 植物群落的生活类型分析 由图1可以看出,塔里木河中下游湿地及周边植物群落样方大致可分为4个类群,分别代表塔里木河中下游湿地及周边4种不同的生活类型。

1) 沼生轻盐中营养生型:包括水葱群落、香蒲群落、盐角草群落和芦苇群落。此类生型地势低洼,排水不畅,土壤常年积水或常年积水,土壤含水量为31.85%~47.28%,土壤全盐含量3.90~15.02 g·kg⁻¹,土壤有机质含量2.94~16.60 g·kg⁻¹,土壤养分相对丰富。该类生型主要为沼泽植被类型和水生植被类型。

2) 湿生中盐中营养生型:包括罗布麻群落和芦苇群落。此类生型周期性受积水浸渍,地表潮湿,土壤含水量15.39%~24.39%,土壤盐渍化程度较重,全盐含量2.61~149.90 g·kg⁻¹,有机质含量为5.69~26.52 g·kg⁻¹,土壤养分较好。由于盐分较重,该类生型植物种类较少,植被类型较为单一。

3) 中生中盐低营养生型:主要有胡杨群落。该生型位于河岸或积水湖泊周围100 m左右,地形起伏,地表覆盖小型沙包,表层土壤水分较低,土壤含水量13.62%~18.40%,全盐含量6.21~20.47 g·kg⁻¹,有机质含量3.55~9.61 g·kg⁻¹,土壤养分较差。

4) 中旱生重盐低营养生型:包括刚毛怪柳群落、盐穗木群落、花花柴群落和盐节木群落。该生型位于塔里木河河流沿岸、溪岸、湖岸、高河漫滩和地形低洼的地表干燥,周围有固定、半固定沙包分布,土壤水分集水地,主要由怪柳灌丛、盐穗木群落和盐节木群落相对较低(6.82%~15.07%),大部分土壤盐渍化程度高,全盐含量1.61~216.59 g·kg⁻¹,有机质含

量4.71~18.33 g·kg⁻¹,土壤养分较差。由于土壤水分低、盐分大,该生型植物种类少,植物群落结构简单,植被类型单一。

3.1.3 植物群落的PCA排序 图1中各个群落样点分布较为分散,说明塔里木河中下游湿地及周边生型差异性较大。PCA二维排序图直观地反映了植物群落在环境中的位置和相互之间的关系,同时反映了塔里木河中下游湿地及周边植物群落随生态梯度的分布规律,沿不同生型依次分布着沼泽植被、草甸植被、河岸林和盐生荒漠-盐化灌丛植被。芦苇群落由于受土壤水分影响,在沼泽和草甸生型中均有分布,表现出不同的群落学特征。

1) 沼泽植被:分布在PCA第1轴的最右端,在轴1的排序值为0.194~0.687,依次分布着水葱群落(C₁₂)→盐角草群落(C₆)→香蒲群落(C₂)→水葱群落(C₁)→芦苇群落(C₇)。该植被以单优势种为建群种,植被类型单一。在土壤养分梯度轴上,沼泽植被排序值为-0.305~0.905。水葱群落(C₁₂和C₁)在排序图上位置较远,主要是由于两个群落样地的土壤含水量、土壤盐分和土壤养分差异较大,这与干旱区湿地年际变化和季节性变化较大有关。盐角草群落(C₆)处于土壤养分梯度下方,表明该群落土壤盐分较大,有机质积累较少,全氮含量低。芦苇(C₇)群落处于土壤养分梯度上方,表明该群落有机质和全氮含量高。

2) 草甸植被:在土壤水分由低到高的梯度上(PCA排序轴1)依次分布着芦苇群落(C₅)→罗布麻群落(C₄)→罗布麻群落(C₁₄)→芦苇群落(C₈),排序值0.041~0.131,说明塔里木河中下游湿地及周边草甸植被分布没有明显界限,在水分和盐分梯度上经常是穿插分布。在PCA排序轴2的排序值为-0.398~0.436,分值为0.834,说明该植被在养分梯度上的分布范围较广。

3) 河岸林位于排序图的下部(C₁₀、C₁₅),在PCA排序轴1上的排序值为-0.035~-0.016,排序值跨度较小;在PCA排序轴2的排序值为-0.351~-0.199,分值较小。说明胡杨在塔里木河中下游分布范围较窄,只能分布于河岸、湖周以及洪水可以漫溢的区域。

4) 盐生荒漠-盐化灌丛植被:多零星分布于塔里木河中下游,在PCA排序轴1的最左侧,依次分布着C₉→C₁₃→C₃→C₁₁,排序从

-0.893~0.075, 分值差异为0.818, 表明该类植物存在着由重盐旱生向中盐中生群落演替。土壤养分含量由低到高变化, 即PCA排序轴2由下到上, 依次分布着C₁₁→C₃→C₉→C₁₃, 排序值-0.201~0.097, 分值差异为0.298, 说明无论土壤养分状况, 还是植物群落对养分的要求均无明显差异。

综上所述, 塔里木河中下游湿地及周边植物群落分布格局主要受土壤水分和盐分影响, 其次受土壤养分影响。

3.2 植物群落特征与生态梯度的关系

植物群落多样性和丰富度是定量描述植物群落结构和功能的两个主要生态指标^[14, 20]。采用16个群落样方的主分量值对多样性指数和生态优势度作回归分析, 结果见表4。

表4 植物群落的主分量与多样性指数和生态优势度的回归分析
Table 4 Regression analysis among principal components, species diversity and ecological dominance of plant communities

主分量 Component	因子 Indices	回归系数 Regression coefficients		R ²	判定系数 F	自由度 df
		B ₀	B ₁			
Y ₁	X ₁	0.267	-1.097	0.223	1.640	14
Y ₁	X ₂	-0.696	1.049	0.368	-2.679	14
Y ₂	X ₁	0.108	-0.441	0.051	0.693	14
Y ₂	X ₂	-0.162	0.245	0.027	-0.585	14

Y₁: 第1主分量 The first component; Y₂: 第2主分量 The second component; X₁: 多样性指数 Species diversity; X₂: 生态优势度 Ecological dominance. Y₁ = -4.693 + 5.432X₁ + 5.081X₂, R² = 0.631, df = 15, t = 3.044, F = 11.112 (P < 0.01); Y₂ = 1.842 - 2.722X₁ - 1.776X₂, R² = 0.117, df = 15, t = -0.985, F = 0.859 (P < 0.05)。

由表4可以看出, 生态优势度Y₁与各群落生态优势度X₂之间的回归系数分别为-0.676和1.029, R²为0.368, t统计量为-2.679, 其绝对值大于检验值t_{14, 0.05(双侧)}(2.145), 说明Y₁与各群落生态优势度之间具有显著的一元线性关系(P < 0.05): Y₁ = -0.676 + 1.029X₂ (P < 0.05), 反映了塔里木河中下游湿地及周边植物群落生态优势度与土壤水分和盐分复合梯度呈显著的一元线性相关, 即随着湿地及周边土壤水分升高和土壤盐分降低, 群落生态优势度增加。而Y₁与各群落多样性、Y₂与各群落多样性及丰富度之间回归分析的t统计量的绝对值均小于检验值t_{14, 0.05(双侧)}, 表明塔里木河中下游湿地及周边植物群落多样性指数与土壤水分和盐分梯度, 以及群落多样性指数和生态优势度分别沿土壤养分梯度之间不呈线性相关变化规律。

塔里木河中下游湿地及周边生态优势度Y₁与多样性指数和生态优势度多元线性回归模型为 Y₁ = -4.693 + 5.432 X₁ + 5.081 X₂ (P < 0.01), 判定系数为0.631, t统计量为3.044, F为11.112, F检验

统计量大于F_{2, 13, 0.01}(6.70), t检验时, t统计量大于t_{13, 0.01(双侧)}(2.997), 说明塔里木河中下游湿地及周边土壤水分和盐分复合梯度与多样性指数和生态优势度二元指标呈极显著二元线性相关, 即随着水分的增加和盐分的降低, 植物群落多样性指数和生态优势度均在一定范围内(本研究区样品测试值和样方调查数据变化范围)有所增加。经过F检验和t检验, 第2主分量与群落多样性指数和生态优势度之间没有显著的相关关系, 即塔里木河中下游湿地及周边土壤养分梯度与两个指标描述植物群落特征不呈线性相关。

上述结果表明, 塔里木河中下游湿地及周边植物群落多样性指数和群落生态优势度与土壤水分和盐分梯度呈线性相关。

4 讨论

4.1 近20年来, 多元分析技术在群落生态学中的应用发展很快, 其中分类和排序是最为常用的植被定量分析方法, 已成为现代植被研究中重要的手段之一^[3, 11, 19, 25]。本研究应用PCA这种经典排序方法, 对塔里木河中下游湿地及周边植物群落进行排序分析, 结果表明, 该地区植物群落分布可分为4种不同的生-境-类型: 沼泽轻盐中营养生-境-类型、中盐中营养生-境-类型、中盐低营养生-境-类型和旱生重盐低营养生-境-类型。这些生-境-类型与干旱区湿地的形成息息相关。沿不同生-境-植被大致可划分为沼泽植被、草甸植被、河岸林和盐生荒漠-盐化灌丛植被。这种分布与生态梯度之间具有十分密切的关系。生态梯度中起主导作用的是土壤水分和盐分, 其次是养分的影响。即土壤水分和盐分复合梯度是决定植物群落空间分布格局的关键因素。这一研究结果与其他学者用不同方法在该地区天然植被与环-境-因子-关系中的研究结果^[17, 27]基本一致。土壤养分对干旱区湿地植被分布的影响表明, 湿地生态系统或景观在流域养分分布格局上处于相对集中的位置。

4.2 塔里木河中下游湿地及周边土壤水分和盐分复合梯度与多样性指数和生态优势度二元指标呈极显著二元线性相关。因此, 植物群落多样性指数和生态优势度的结合是描述群落特征更有效的指标, 用多样性指数和生态优势度两个指标对群落排序主分量(生态梯度)进行回归分析, 其数学模型可用于推断群落相应环-境-梯度并描述群落在环-境-空间中的分布格局, 以及解释群落和生-境-关系^[14]。

4.3 在 PCA 排序图上还反映出塔里木河中下游湿地及周边植被类型的分布在环境上具有较大的差异性,这与实际情况基本吻合。在本研究中,作为低地草甸类型植被,花花柴群落在塔里木河中下游的分布与其它草甸植被类型有较大环境差异,在一定程度上反映出塔里木河中下游湿地受季节性洪水和河流改道等影响而具有一定环境不稳定性和游移性特征。

4.4 塔里木河中下游湿地及周边植物群落沿生态梯度的排序分析结果与群落的实际分布情况基本相吻合。因此,在生态空间获得的群落排序结果是比较满意的,并为进一步深入分析塔里木河中下游湿地及周边植物群落特征与生态因子之间的关系奠定了基础。

致谢 张立运、李国振同志曾给予指导和帮助。

参考文献

- Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红), Chen Y-P (陈亚鹏), et al. 2004. Response of *Tamarix* spp. and *Phragmites communis* to ecological water conveyance in the lower reaches of the Tarim River, Xinjiang. *J Glaciol Geocryol* (冰川冻土), **26**(5): 595 ~ 601 (in Chinese)
- Cui W-C (崔旺诚). 2003. Impacts of desertification on the agricultural production in the oasis at the lower reaches of Tarim River, Xinjiang. *Arid Zone Res* (干旱区研究), **20**(2): 114 ~ 116 (in Chinese)
- Dong H-D (董厚德), Quan K-G (奎全国), Shao C (邵成), et al. 1995. Ecology of plant communities on Liaohe wetland conservation area. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **6**(2): 190 ~ 195 (in Chinese)
- Gauch HG. 1982. Trans. Yang C (杨持). 1989. Multivariate Analysis in Community Ecology. Beijing: Science Press. 140 ~ 148 (in Chinese)
- Guan W-B (关文彬), Zeng D-H (曾德慧), Fan Z-P (范志平), et al. 2001. Ecological studies on relationship between the process of desertification and vegetation dynamics in the west of northeast China: Vegetation ordination. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(5): 687 ~ 691 (in Chinese)
- Jiang H (江洪), Huang J-H (黄建辉), Chen L-Z (陈灵芝), et al. 1994. DCA ordination, quantitative classification and environmental interpretation of plant communities in Dongling Mountain. *Acta Bot Sin* (植物学报), **36**(7): 539 ~ 551 (in Chinese)
- Li J (李进), Bao Y (宝音), Chen Z-C (陈祝春), et al. 1995. Quantitative study of herbaceous vegetation in sandy land, Daxing. *J Desert Res* (中国沙漠), **15**(3): 237 ~ 240 (in Chinese)
- Li T (李涛), Yin L-K (尹林克), Yan C (严成). 2003. Quantitative classification and ordination analysis on vegetation in the middle reaches of Tarim River. *Arid Land Geogr* (干旱区地理), **26**(2): 173 ~ 179 (in Chinese)
- Li W-L (李文龙), Li Z-Z (李自珍), Zhou Z-X (周忠学). 2001. A quantitative research on artificial plant community succession in Shapotou region. *J Lanzhou Univ* (Nat Sci) (兰州大学学报·自然科学版), **37**(5): 98 ~ 104 (in Chinese)
- Li Y-Q (李永强), Xu Z-X (许志信). 2002. Changes of species diversity in successional of plant community of abandoned land in typical steppe. *J Inner Mongolia Agric Univ* (内蒙古农业大学学报·自然科学版), **23**(4): 26 ~ 31 (in Chinese)
- Liang S-C (梁士楚), Zhang W-Y (张伟银). 2001. Nonlinear ordination of mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi. *Guihaia* (广西植物), **21**(3): 228 ~ 232 (in Chinese)
- Liu J-Z (刘加珍), Chen Y-N (陈亚宁). 2002. Analysis on converse succession of plant communities at the lower reaches of Tarim River. *Arid Land Geogr* (干旱区地理), **25**(3): 231 ~ 236 (in Chinese)
- Liu J-Z (刘加珍), Chen Y-N (陈亚宁), Li W-H (李卫红), et al. 2004. Analysis on the distribution and degraded succession of plant communities at lower reaches of Tarim River. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(2): 379 ~ 383 (in Chinese)
- Liu Q (刘庆), Zhou L-H (周立华). 1996. Primary study on interrelation between plant communities and environmental factors in the north shore of Qinghai Lake. *Acta Bot Sin* (植物学报), **38**(11): 887 ~ 894 (in Chinese)
- Liu Y-L (刘晏良), Jiao G-H (焦广辉), Dai J (戴健), et al. 2000. Report on Field Survey of Middle and Lower Reaches of Tarim River. Beijing: China Statistics Press. (in Chinese)
- Lu W-D (卢纹岱). 2004. SPSS for Windows Statistical Analysis. 2nd edition. Beijing: Electronics Industry Press. 230 ~ 291 (in Chinese)
- Pan X-L (潘晓玲), Zhang Y-D (张远东), Chu Y (初雨), et al. 2001. Multivariate analysis and environmental interpretation of desert bank forest plant communities in Tarim basin, Xinjiang. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报), **21**(2): 247 ~ 251 (in Chinese)
- Wang W-Y (王文颖), Wang Q-J (王启基). 2001. The structure and plant species diversity of the degraded ecosystems in alpine *Kobresia* meadow. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **10**(3): 8 ~ 14 (in Chinese)
- Wang Y (王勇), Wu J-Q (吴金清), Huang H-W (黄宏文), et al. 2004. Quantitative analysis of plant communities in water-level-fluctuation zone within Three Gorges Reservoir Area of Changjiang River. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), **22**(4): 307 ~ 314 (in Chinese)
- Watkins AJ, Wilson JB. 1994. Plant structure and its relation to the vertical complexity of communities: Dominance/diversity and spatial rank consistency. *Oikos*, **70**: 91 ~ 98
- Whittaker RH. 1978. Trans. Wang B-S (王伯荪). 1986. Ordination of Plant Community. Beijing: Science Press. 2 ~ 6 (in Chinese)
- Wu X-Q (吴秀芹), Meng J-J (蒙吉军). 2004. The land use/cover changes and the eco-environmental responses in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang. *Arid Zone Res* (干旱区研究), **21**(1): 38 ~ 43 (in Chinese)
- Xu H-C (许鸿川). 2000. Polar ordination of subtropical shrubbery communities on coastal islands in Fujian. *J Fujian Agric Univ* (福建农业大学学报), **29**(2): 254 ~ 257 (in Chinese)
- Xu H-L (徐海量), Song Y-D (宋郁东), Wang Q (王强), et al. 2004. The effect of groundwater level on vegetation in the middle and lower reaches of the Tarim River, Xinjiang, China. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **28**(3): 400 ~ 405 (in Chinese)
- Zhai Y-H (翟永华), Wang Q-L (王庆礼), Yu Z-L (于振良), et al. 1995. Classification and ordination of plant communities in Jingsong Forestry Farm, Changbai Mountain, China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **6**(3): 237 ~ 242 (in Chinese)
- Zhang H-F (张宏锋), Chen Y-N (陈亚宁), Chen Y-P (陈亚鹏), et al. 2004. Species quantity change and ecosystem dynamics in the lower reaches of Tarim River. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **23**(4): 21 ~ 24 (in Chinese)
- Zhang Y-M (张元明), Chen Y-N (陈亚宁), Zhang D-Y (张道远). 2003. Plant communities and their interrelation with environmental factors in the middle reaches of the Tarim River. *Acta Geogr Sin* (地理学报), **58**(1): 109 ~ 118 (in Chinese)
- Zhang Y-S (张耀生), Zhao X-Q (赵齐全). 2002. Quantitative characteristics of degenerative succession in *Festuca sinensis* sowing grassland in the alpine pastoral area. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学), **13**(3): 285 ~ 289 (in Chinese)
- Zhou H-R (周华荣). 2005. Prospect on multifunctional landscapes of marshes in arid areas. *Arid Land Geogr* (干旱区地理), **28**(1): 16 ~ 20 (in Chinese)
- Zhu Y (朱源), Qiu Y (邱扬), Fu B-J (傅伯杰), et al. 2004. Nonlinear analysis on ecological gradient of plant communities in Donggou-catchment, Hebei Province, China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(5): 799 ~ 802 (in Chinese)

作者简介 赵锐锋,男,1976年生,硕士研究生。主要从事地理环境与生态学研究。Tel: 0991-7885430; E-mail: zhaoruifeng@126.com

责任编辑 李凤平