

艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤因子的关系*

张江英^{1,2} 周华荣^{1*} 高梅^{1,2}

(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)

摘要 应用双向指示种分类法(TWINSPAN)和典范对应分析法(CCA),对干旱区艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤环境因子的关系进行研究。结果表明,研究区的29种主要植物,隶属12科27属,分为4个种类组,大多数物种丰富度较低,其中胡杨、毛柽柳、芦苇和西伯利亚泡泡刺是最常见的种类。TWINSPAN分析表明,该区25个样地分为3个主要类型组,组1包括6个样地,组2包括18个样地,组3包括1个样地,分别代表不同土壤有机质、全氮、全磷含量的3种生境。CCA排序结果同TWINSPAN分类结果基本一致,反映出植物群落分布格局随土壤因子变化的趋势,确定了影响该区植物群落盖度的土壤因子为有机质、全氮、全磷。

关键词 双向指示种分类法;典范对应分析法;植物群落;土壤因子;艾里克湖

中图分类号 Q948.15 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)07-0983-06

Relationships between plant community characteristic index and soil factors in Alice Lake wetland. ZHANG Jiang-ying^{1,2}, ZHOU Hua-rong¹, GAO Mei^{1,2} (¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chinese Journal of Ecology* 2007 26(7): 983-988.

Abstract: In this paper, TWINSPAN and CCA analyses were used to study the relationship between plant community characteristic index and soil factors in the Alice Lake wetland of Xinjiang arid area. The results showed that the major 29 plant species in the wetland belonged to 27 genera, 12 families and 4 ecological species groups, and most species had low abundance. *Populus euphratica*, *Tamarix hispida*, *Phragmites australis* and *Nitraria sibirica* were the most common species. TWINSPAN analysis showed that 25 sampling plots could be classified into three groups. Group 1 contained 6 sites, Group 2 contained 18 sites, and Group 3 contained 1 site, which represented three habitats with different contents of soil organic matter, total nitrogen, and total phosphorus. The results of CCA analysis were basically consistent with those of TWINSPAN analysis, indicating that the major environment variables affecting the plant coverage in Alice Lake wetland were soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus.

Key words: TWINSPAN; CCA; plant community; soil factor; Alice Lake.

1 引言

植物群落是植物与环境相互作用的产物(张文辉等,2004),二者之间的关系是地植物学研究的重要内容(江洪等,1994)。土壤是陆生生活的基质,

是植物群落的主要环境因子(刘世梁等,2003)和植物生存的重要环境条件之一。土壤影响植物群落的结构和功能,其养分的差异会导致群落中植物多样性的变化。在所有环境变量中,较多采用了土壤中氮、磷、钾的含量作为测量指标(高俊峰等,2006)。干旱区因其特殊的气候条件,土壤有很大的空间异质性,在相似的气候条件下,土壤理化性质的空间差异决定了植被分布的空间差异(钱亦兵等,2003)。湿地植被的结构、功能和生态特征能综合反映湿地

* 国家自然科学基金项目(40271011)、中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲学者“博士人才”培养计划项目(20052109)和克拉玛依市科技资助项目(SK2005-15)。

** 通讯作者 E-mail: zhouhr@ms.xjb.ac.cn

收稿日期:2006-09-25 接受日期:2007-03-24

生态环境的基本特点和功能特性(陈宜瑜,1995),其既是湿地化过程中形成湿地生态系统的一部分,反过来又作用于环境,对环境产生一定影响(周小春,2001)。近年来,许多学者从不同角度对植物群落与环境因子的关系进行了研究(刘康等,2005;吴东丽等,2005;丁勇等,2006)。一般认为干旱区植被(包括湿地植被)与土壤含水量、地下水关系密切(张元明等,2003,2004)。但对湿地土壤养分与植物群落特征之间的关系研究较少。本文应用双向指示种分类法(TWINSPAN)和典范对应分析法(CCA),在对艾里克湖湿地植物群落与地下水位为表征的环境因子的关系研究基础上(张江英等,2007),就湿地植物群落种类组成、特征指数与土壤环境因子(主要为养分因子)的关系进行探讨,从而丰富了干旱区湿地景观格局与生态过程的关系,为干旱区湿地保护提供相关理论依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

艾里克湖(45°58'N,85°49'E)位于克拉玛依乌鲁木齐区东南15 km,主要补给水来自白杨河,经乌鲁木齐盆地穿过大峡谷谷口汇入艾里克湖。湖盆三面环山,西南开敞,东面受平面山阻隔,属河水形成的天然淡水湖泊,面积52 km²,长度12.4 km,最大宽度4.2 km,平均宽度3.5 km。乌尔河区属温带大陆性荒漠气候,干旱荒漠景观随处可见。其特点是大陆性强,气温年较差大,干燥少雨,积雪厚度小,蒸发量大,冻土层厚,风多且大。年均气温8.4℃,年均日照数2 637 h。植物种类组成以杨柳科、胡颓子科、柽柳科、藜科、禾本科、豆科等植物为主,构成了乔木、灌木和草本植物群落。乔木主要有胡杨(*Populus euphratica*)、苦杨(*P. laurifolia*)、尖果沙枣(*Elaeagnus oxycarpa*)、灌木主要有毛柽柳(*Tamarix hispida*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、草本植物主要有芦苇(*Phragmites australis*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、光果甘草(*Glycyrrhiza glabra*)等。

2.2 研究方法

2.2.1 野外调查与样品测量 于2005年8月和2006年8月2次沿着白杨河流入艾里克湖的路径,按照不同典型植被类型,分别在艾里克湖周边荒漠、戈壁地、白杨河流域河谷林地及洪积扇、艾里克湖附近湿地(沼泽和低湿草甸)3种不同的生境中,设置

25个样地。面积为乔木100 m×100 m,再以25 m为间隔设置4个25 m×25 m的样方,灌木20 m×20 m,草本1 m×1 m。记录样地中每个种的个体数、株高、冠幅、胸径、基径和盖度等指标,并用GPS进行定位。每个样地土样的取样深度为0~10、10~20和20~30 cm,每个样地沿对角线取1~3样点,混合后同层装袋,带回实验室分析土壤指标。实验室共处理土壤样品25个,pH采用5:1水土比酸度计测定,电导率采用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,全磷采用硫酸-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 数学分析方法 采用双向指示种分类法(TWINSPAN)对数据进行对应分析排序,得到第1排序轴,再以排序轴为基础进行分类。采用典范对应分析法(CCA)对环境因子排序,这是基于对应分析发展而来的一种排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归。

CCA的基本思路是,在对应分析的迭代过程中,每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归(Ter Braak,1986),其回归方程为:

$$Z_j = b_0 + \sum_{k=1}^q b_k U_{kj}$$

式中 Z_j 为第 j 个样方的排序值, b_0 为截距, b_k ($k=1,2,3,\dots,q$, q 为环境因子数)为样方第 k 个环境因子之间的回归系数, U_{kj} 为第 k 个环境因子在第 j 个样方中的观测值。此方法首先计算出一组样方排序值和种类排序值(同对应分析),然后将样方排序值与环境因子用回归分析法结合起来,得到的样方排序值即反映样方种类组成及生态重要值对群落的作用,同时也反映了环境因子的影响,再用样方排序值加权平均求种类排序值,使种类排序坐标值也间接地与环境因子相联系。最后用CANOCO 3.12分析软件和与此相关的CANODRAW 3.0作图软件对数据进行图形分析(Ter Braak,1991)。

3 结果与分析

3.1 艾里克湖湿地植物种类组成

在25个调查样地各样方中,共计统计植物种类29种,分属12科27属,大多数植物物种丰富度较低(表1)。从表1可见,该区最常见的种类是胡杨,其次是毛柽柳,再次为芦苇和西伯利亚泡泡刺,并由其组成干旱区典型的隐域性植被类型。

表1 艾里克湖湿地分布区域25个样地中植物种类

Tab.1 List of plant species at 25 sampling sites in the Alice Lake wetland

编号	种名	拉丁学名	盖度 (%)	所在样地
1	苦杨	<i>Populus laurifolia</i>	41.89	1, 2, 11, 12
2	柳属	<i>Salix</i> sp.	17.06	1, 2, 11, 12
3	尖果沙枣	<i>Elaeagnus oxycarpa</i>	17.73	1, 2, 11, 12
4	胡杨	<i>P. euphratica</i>	39.75	1, 4, 5, 10, 11, 12, 20, 23, 24, 25
5	蔷薇属	<i>Rosa</i> sp.	2.75	1, 2, 12
6	盐穗木	<i>Halostachys caspica</i>	15.13	3, 8, 17
7	西伯利亚泡泡刺	<i>Nitraria sibirica</i>	0.97	3, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 23
8	毛怪柳	<i>Tamarix hispida</i>	27.78	4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 17, 24
9	梭梭	<i>Haloxyton ammodendron</i>	9.98	4, 5, 14, 15, 20, 22
10	疏叶骆驼刺	<i>Alhagi sparsifolia</i>	1.32	4, 16, 20, 23, 24
11	顶羽菊	<i>Acroptilon repens</i>	0.25	4
12	芦苇	<i>Phragmites australis</i>	20.61	4, 5, 6, 18, 20, 23, 24, 25
13	白麻	<i>Poacynum pictum</i>	0.05	5
14	光果甘草	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	0.14	5, 9
15	盐爪爪	<i>Kalidium foliatum</i>	0.24	8, 17, 20
16	花花柴	<i>Karelinia caspica</i>	3.82	9, 20, 24
17	苦豆子	<i>Sophora alopecuroides</i>	2.37	9, 12
18	黑果枸杞	<i>Lycium ruthenicum</i>	2.67	9, 10, 11, 12, 20, 24
19	芨芨草	<i>Achnatherum splendend</i>	4.33	11, 12, 25
20	无叶假木贼	<i>Anabasis aphylla</i>	9.48	13, 14, 15
21	白茎盐生草	<i>Halogeton arachnoideus</i>	0.32	15
22	密枝猪毛菜	<i>Salsola implicata</i>	2.48	15, 16, 19
23	琵琶柴	<i>Reaumuria soongorica</i>	7.83	16
24	盐生草	<i>Halogeton glomeratus</i>	0.27	13, 19, 20, 22
25	香蒲属	<i>Typha</i> sp.	53.11	21
26	盐豆木	<i>Halimodendron halodendron</i>	9.41	23, 25
27	藜属	<i>Chenopodium</i> sp.	5.91	24
28	蒲公英属	<i>Taraxacum</i> sp.	0.62	24
29	阿尔泰紫菀	<i>Heteropappus altaicus</i>	0.14	25

3.2 艾里克湖湿地植被的分类

用 TWINSpan 多元划分法对 25 个样地 29 种植物进行分类, 以此为基础进行样地与种类的划分。在划分过程中, 首先把所有样地和种类分成 0 和 1 两大类, 然后这两大类再各自划分成 2 类。以此类推, 直至达到所要求的划分水平为止。选择最多划分水平为 7, 每次分类最多分类数为 2, 得到艾里克湖湿地样地与植被种类的 TWINSpan 聚类图(图 1 和图 2)。

从图 1 可见, 应用 TWINSpan 划分出来 3 组 9 个样地类型。组 1 代表艾里克湖周边荒漠、戈壁地生境; 组 2 代表白杨河流域河谷林地及洪积扇生境; 组 3 代表艾里克湖附近湿地生境, 划分出的样地类型均与实际调查的类型相吻合。从图 1 分析得出:

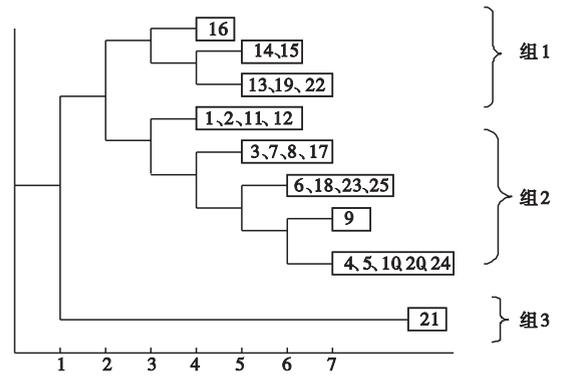


图 1 艾里克湖湿地 25 个样地的 TWINSpan 分类图
Fig. 1 TWINSpan classification for 25 sampling sites in the Alice Lake wetland

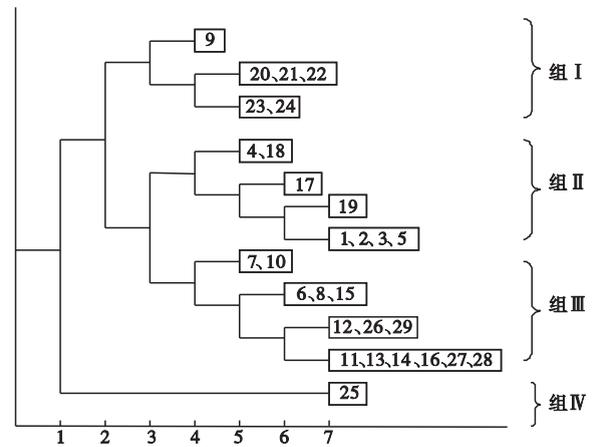


图 2 艾里克湖湿地植物群落物种的 TWINSpan 分类图
Fig. 2 TWINSpan classification for 29 plant species in the Alice Lake wetland
1, 2, 3 ... 29 所代表植物名同表 1。

1) 组 1 包括 13、14、15、16、19 和 22 共 6 个样地, 土壤中有有机质、全氮、全磷的含量低, 分别为 $0.07 \sim 0.22$ 、 $0.10 \sim 0.27$ 、 $0.38 \sim 0.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 群落类型较为单一。2) 组 2 包括 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、17、18、20、23、24、25 共 18 个样地, 土壤中有有机质、全氮、全磷含量较高, 分别为 $0.15 \sim 1.00$ 、 $0.17 \sim 1.00$ 和 $0.37 \sim 1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 群落类型较为复杂。3) 组 3 的 21 号样地是最早划分出来, 说明该样地与其它样地有较大的相异性。样地位于艾里克湖南走廊路边洼地, 土壤含水量高, 有机质、全氮、全磷的含量最低, 分别为 0.09 、 0.13 和 $0.44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 群落类型单一, 仅为由香蒲属一种组成单优植物群落。

应用 TWINSpan 对 29 种植物种类进行了划分(图 2)。从图 2 可见, 艾里克湖湿地植物主要分为 4 个种类组: 1) 组 I 有 6 个种, 包括 9、20、21、22、23、24; 2) 组 II 有 8 个种, 包括 1、2、3、4、5、17、18、19; 3)

组Ⅲ有 14 个种,包括 6、7、8、10、11、12、13、14、15、16、26、27、28、29; 4)组Ⅳ有 1 个种。虽然 TWINS-PAN 分类主要依据的是植物种类数据,但其类型组划分反映出与环境(包括地貌、土壤性质)因子较高的相关性。

3.3 艾里克湖湿地植被的 CCA 排序

应用典范对应分析法对艾里克湖地区 25 个样地 29 中植物进行排序分析,得到 CCA 二维排序图(图 3)。在排序图中,环境因子用带有箭头的线段表示,连线的长短表示样地、植物种类分布与该环境因子关系的大小,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小,箭头所指的方向表示该环境因子的变化趋势。分析时,可以做出某一种类(或样点)与环境因子连线的垂直线,垂直线与环境因子连线相交点离箭头越近,表示该种(或该样点)与该类环境因子的正相关性越大,处于另一端的则表示与该类环境因子具有负相关性。

植物群落的分布格局在图 3 以点的形式表示出来,种类点与环境因子箭头共同反映植物种类的分布沿每一环境因子梯度方向的变化特征。第 1 排序轴、第 2 排序轴、第 3 排序轴(未在图中显示)的特征值分别为 0.3019、0.2255 和 0.1708。第 1 排序轴与有机质呈正相关(0.8697),与 pH 呈负相关(-0.3986),第 2 排序轴与总盐呈正相关(0.4014),与全钾呈负相关(-0.6552)。

根据 7 个环境因子的分布特征,CCA 排序分析可将 29 中植物分为 4 个组,代表了 3 种不同生境下形成植物群落类型:

1)组Ⅰ包括 9、20、21、22、23 和 24 共 6 个物种,位于二、三象限的最右侧,形成以梭梭、无叶假木贼、琵琶柴等为建群种的群落,对应于土壤有机质、全氮、全磷的含量低的艾里克湖周边荒漠、戈壁地生境,伴生的物种有白茎盐生草、密植猪毛菜等。植物种类较单一,植被覆盖度低,只有 15% 左右,是干旱区湿地的背景植被类型。

2)组Ⅱ包括 1、2、3、4、5、17、18 和 19 共 9 个物种,绝大部分位于一、四象限,形成以胡杨、苦杨、柳属、尖果沙枣为优势种的荒漠河岸林,对应于土壤有机质、全氮、全磷的含量高的白杨河流域河谷林地生境,伴生有黑果枸杞、苦豆子、光果甘草、芨芨草等,植物种类丰富,盖度 60% ~ 70% 左右,是干旱区河流湿地的植被类型。

3)组Ⅲ包括 6、7、8、10、11、12、13、14、15、16、

26、27、28 和 29 共 14 个物种,位于二、三象限的左侧,形成以毛柺柳、盐穗木、盐爪爪等为建群种的群落,对应于土壤有机质、全氮、全磷的含量较高,土壤盐分高的洪积扇生境,株高 1 ~ 1.5 m,伴生的物种有盐生草、花花柴、芦苇等。植物种类较多,盖度 40% 左右,是湖泊湖滨湿地的植被类型。

4)组Ⅳ由 25 号这 1 个种组成,位于第四象限的左侧,形成以香蒲群落,对应于土壤有机质、全氮、全磷的含量较低的艾里克湖附近湿地生境,植物种类单一,株高 80 cm 左右,盖度约达 50%。样地的附近有成片的芦苇生长。香蒲群落和芦苇群落是典型的湿地植被类型。

组Ⅰ、组Ⅲ、组Ⅳ的植物位于图 4 的二、三象限,多分布于有机质、全氮、全磷较少的区域,且多数的种类向着总盐、pH 值降低的象限分布。

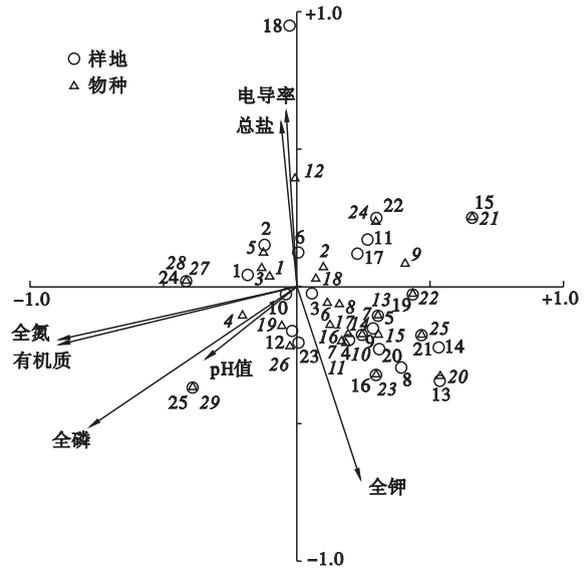


图 3 艾里克湖地区植物群落的 CCA 二维排序图
Fig. 3 A two-dimensional graph of CCA ordination for communities in the Alice Lake wetland
图中数字所代表的样地和种类同表 1,斜体代表物种序号。

3.4 植物群落特征指数

艾里克湖周边荒漠、戈壁地生境中 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、优势度指数、PIE 指数、植被盖度的值分别为 0.04 ~ 0.67、0 ~ 1.25、0.28 ~ 1、0 ~ 0.67、0.05 ~ 0.29; 白杨河流域河谷林地及洪积扇生境中各指数的值分别为 0 ~ 0.76、0 ~ 1.59、0.18 ~ 1、0 ~ 1、0.04 ~ 1.44; 艾里克湖附近湿地生境中各指数的值分别为 0、0、1、0、0.53。比较其指数可看出,艾里克湖周边荒漠、戈壁地及湖附近湿地生境的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、PIE 指数、

植被盖度的值均偏小,优势度指数的值偏大,表明该生境中植物种类不多,物种贫乏,而白杨河流域河谷林地及洪积扇生境中的各指数的值与之相反,表明该生境中的植物种类较多,物种较丰富。

3.5 植物群落特征指数与土壤因子关系

植物群落和群落环境是矛盾的复杂统一体。采

用 SPSS 软件,对研究区域植物群落特征指数与土壤因子(有机质、全氮、全磷)的关系进行了相关分析。结果表明,植被盖度与土壤因子之间呈显著相关($P < 0.01$) (表 2)。另由于该研究区域地处平原,海拔不是影响物种多样性的因子(刘世梁等,2003),所以多样性指数与土壤因子之间没有相关性。

表 2 艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤环境因子的显著性水平

Tab.2 Significance level between plant community character index and soil factors in the Alice Lake wetland

	优势度指数	辛普森指数	香农指数	植被盖度	PIE 指数	有机质	全氮	全磷
优势度指数	-							
辛普森指数	0.000	-						
香农指数	0.000	0.000	-					
植被盖度	0.678	0.511	0.513	-				
PIE 指数	0.000	0.000	0.000	0.486	-			
有机质	0.383	0.404	0.357	0.000	0.386	-		
全氮	0.371	0.367	0.325	0.000	0.354	0.000	-	
全磷	0.745	0.632	0.516	0.001	0.596	0.000	0.000	-

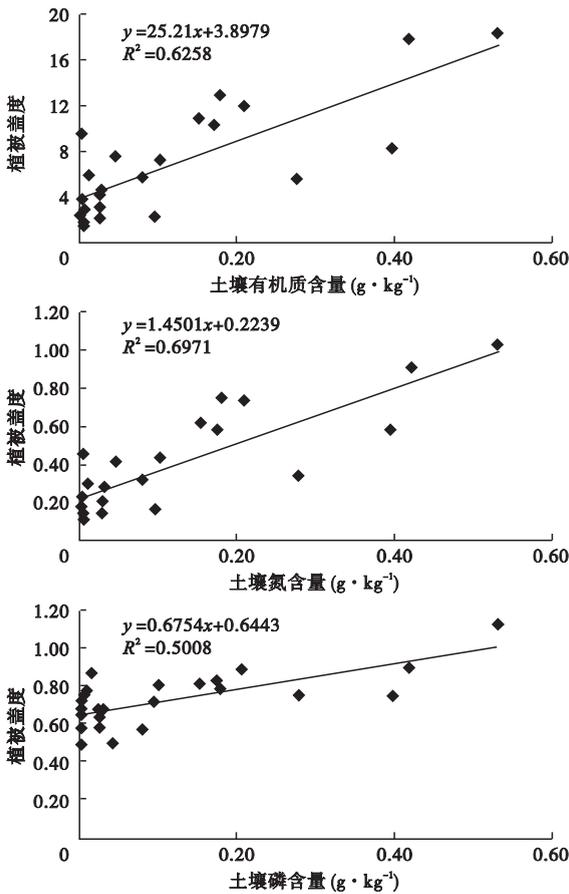


图 4 艾里克湖湿地土壤有机质、全氮、全磷与植被盖度之间的回归分析

Fig.4 Regression analysis on relationship between soil organism, total nitrogen, total phosphorus and plant coverage in the Alice Lake wetland

从图 4 可见,植被盖度与土壤因子之间具有相关性。因此可认为在景观尺度研究范围内,土壤有机质、全氮、全磷的含量影响着植物群落类型的分布,这与该地区植物群落的分布和生境条件是基本吻合的。同时,不同群落类型的分布格局还受所处地形、地貌、温度、光照及人类活动干扰等因素的影响,导致植被分布格局的复杂性和多变性。

4 结论

艾里克湖湿地主要植被类型中,大多数植物物种丰富度较低。该地区最常见的种类是胡杨,其次是毛柺柳,再次为芦苇和西伯利亚泡泡刺,由其组成的群落是干旱区典型的隐域性植被类型。干旱区湿地是在荒漠景观背景下的隐域性景观,其植物群落的数量特征充分说明了这一点。应用 TWINSpan 多元分类法把 25 个样地的 29 种植物划分成 3 种不同生境下的 4 种植被类型,并通过 CCA 排序和回归分析验证了植物群落分布与土壤环境因子的关系。即在土壤有机质、全氮、全磷高的荒漠河岸林里的植物种类较多,群落结构复杂,盖度大,底层分布着许多浅根系一年生的草本植物;在土壤有机质、全氮、全磷含量较高的洪积扇上的物种较少,群落结构较为简单,盖度较高;在土壤有机质、全氮、全磷的含量低的艾里克湖周边荒漠、戈壁样地中物种少,群落结构简单,盖度小;在土壤有机质、全氮、全磷的含量低的艾里克湖附近湿地的物种单一,群落结构单一,由

于土壤水分条件好,盖度较大。

艾里克湖不同植被类型中土壤有机质、全氮、全磷含量的差异反映了在同一气候和土壤条件下,土壤的理化性质有差异,所覆盖的植被也类型不同,土壤特性除了与成土母岩、气候和自然理化性质有密切关系外,植被的作用也不可忽视。在干旱区背景下形成的生境和植物群落类型都相对较为单一,湿地在分布上也呈明显的不连续性,而且面积相对不大,具有独特的湿地过程和景观生态格局,并且与荒漠基质有着密切的生态过程联系。对于干旱区湿地的保护,实际上是对干旱区水源、生物多样性及其人类生存环境的保护。对艾里克湖湿地植物群落学特征指数与土壤环境因子关系的研究,是为了挽救干旱区逐渐缩小的湿地。

致谢 在论文写作和植物标本鉴定方面得到张立运教授的指教和帮助,在野外考察中得到吴世新副研究员、钱亦兵研究员的指教和帮助,参加野外考察的还有杨涵、王芳芳同学,在此特表示感谢。

参考文献

- 陈宜瑜. 1995. 中国湿地研究, 长春: 吉林科学技术出版社.
- 丁勇, 牛建明, 杨持. 2006. 沙质草原植物群落退化与沙化演替. 生态学杂志, **25**(9): 1044 - 1051.
- 高俊峰, 马克明, 冯宗炜. 2006. 景观组成、结构和梯度格局对植物多样性的影响. 生态学杂志, **25**(9): 1087 - 1094.
- 江洪, 黄建辉, 陈灵芝, 等. 1994. 东灵山植物群落的排序、数量分类与环境解释. 植物学报, **36**(7): 539 - 551.
- 刘康, 王效科, 杨帆, 等. 2005. 红花尔基地区沙地樟子松群落及其与环境关系研究. 生态学杂志, **24**(8):

858 - 862.

- 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 2003. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, **27**(4): 496 - 50.
- 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 2003. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响. 干旱区地理, **26**(3): 217 - 222.
- 吴东丽, 上官铁梁, 张金屯, 等. 2005. 滹沱河流域湿地植被的数量分类和排序. 西北植物学报, **25**(4): 648 - 654.
- 张江英, 周华荣, 高梅. 2007. 白杨河-艾里克湖湿地及周边植物群落与环境因子的关系. 干旱区地理, **30**(1): 101 - 107.
- 张文辉, 卢涛, 马克明, 等. 2004. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析. 生态学报, **24**(3): 552 - 559.
- 张元明, 陈亚宁, 张道远. 2003. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系. 地理学报, **58**(1): 109 - 117.
- 张元明, 陈亚宁, 张小雷. 2004. 塔里木河下游群落分布格局及其环境解释. 地理学报, **59**(6): 903 - 910.
- 周小春. 2001. 安徽湿地植被类型及其利用、保护现状. 安徽师范大学学报(自然科学版), **24**(3): 250 - 253.
- Ter Braak C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**: 1167 - 1179.
- Ter Braak C.J.F. 1991. Canoco: A FORTRAN program for canonical community ordination by [Partial] [Detrended] [Canonical] Correspondence Analysis, Principle Component Analysis and Redundancy Analysis. New York: Cornell University Press.

作者简介 张江英, 女, 1978年生, 硕士研究生。主要从事植物生态学及环境评价研究。E-mail: zhangjiangying@126.com
责任编辑 刘丽娟