

# 博斯腾湖湖滨湿地植被数量分类与排序

张海燕<sup>1,2</sup>, 刘彬<sup>1,2\*</sup>

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆特殊环境物种多样性应用与调控实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:** 应用双向指示种分析(TWINSPAN)方法对湿地植物群落进行分类, 采用除趋势对应分析(DCA)、典范对应分析(CCA)对群落进行排序, 以明确博斯腾湖湖滨湿地的主要植物群落类型及影响植被类型变化和分布的主要环境因子。结果表明, 博斯腾湖湖滨湿地植被可分为7个主要群丛, 分别为长苞香蒲(Ass. *Typha angustata*)、芦苇+长苞香蒲(Ass. *Phragmites australis*+*Ty. angustata*)、芦苇+水烛(Ass. *P. australis*+*Ty. Angustifolia*)、多枝柽柳-芦苇(Ass. *Tamarix ramosissima*-*P. australis*)、胡杨-多枝柽柳(Ass. *Populus euphratica*-*Ta. ramosissima*)、旱柳-多枝柽柳(Ass. *Salix matsudana*-*Ta. ramosissima*)和多枝柽柳(Ass. *Ta. ramosissima*), 它们分布于湖滨浅水带、湖滨沼泽带、湖岸乔灌林带和旱生灌丛带; TWINSPAN分类产生的7个主要群丛在DCA排序图上被很好地反映出来。CCA排序与DCA排序结果基本一致, 说明土壤含水量和土壤总含盐量是决定该地区植被分布格局的主要环境因子。博斯腾湖湖滨湿地植被种类单一, 生态结构简单, 水盐动态及其相互作用是影响该地区植被分布的主要因素之一。因此, 在对博斯腾湖湖滨湿地进行植被保护与重建过程中, 需重点考虑土壤含水量和土壤总含盐量这2个主要环境因子的影响, 合理开发、利用水资源, 防止土壤盐渍化的发生。

**关键词:** 湿地植被; 双向指示种分析; 除趋势对应分析; 博斯腾湖湖滨湿地

中图分类号: Q948.15<sup>+</sup>8

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2015)01-0036-08

## Quantitative Classification and Ordination of Plant Vegetation in the Bosten Lake Wetlands

Zhang Hai-Yan<sup>1,2</sup> Liu Bin<sup>1,2\*</sup>

(1. Life Sciences Institute, XinJiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Key Laboratory of Species Diversity Application and Control in Xinjiang, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** TWINSPAN, DCA and CCA methods were used to classify plant community types and determine the relationship between vegetation and environmental factors in order to evaluate the influence of environment regulation on vegetation in the Bosten Lake wetlands in Xinjiang. TWINSPAN results showed that the vegetation in this region could be divided into seven associations, which were distributed along the wetland shallow water zone, marsh zone, bush and tree lakeshore zone and xeric shrub zone. These associations were: Ass. *Typha angustata*, Ass. *Phragmites australis*+*Ty. angustata*, Ass. *P. australis*+*Ty. angustifolia*, Ass. *Tamarix ramosissima*-*P. australis*, Ass. *Populus euphratica*-*Ta. ramosissima*, Ass. *Salix matsudana*-*Ta. ramosissima*, Ass. *Ta. ramosissima*. These associations were also well reflected in the DCA ordination graph. The CCA results were basically consistent with the DCA results, and showed that the vegetation distribution patterns correlated with major environmental variables of soil water content and total dissolved solids. The species characteristics and ecological structures of wetland vegetation in the Bosten Lake wetlands were single and simple.

收稿日期: 2014-04-18, 退修日期: 2014-05-26。

基金项目: 国家自然科学基金(31360039); 新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目(XJEDU2011I39)。

作者简介: 张海燕(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究(E-mail: zhanghy55@163.com)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: lb@xjnu.edu.cn)。

Dynamics and interactions of water and salt were the main factors that influenced the distribution of vegetation in the area. This study confirmed that planners and managers of nature reserves in this area should take the two major environmental factors of soil water content and total dissolved solids, and species characteristics into account during decision-making processes.

**Key words:** Wetland vegetation; Two-way indicator species analysis (TWINSpan); Detrended correspondence analysis (DCA); Bosten Lake wetlands

湿地植被是湿地生态系统的关键属性之一, 其结构、功能和生态学特征能综合反映湿地生态环境的基本特点和功能特性<sup>[1,2]</sup>。湖滨湿地植被在涵养水源、缓解污染、促淤造地、维持生物多样性和生态平衡等方面具有十分重要的作用, 是湖泊天然的保护屏障和重要的组成部分<sup>[3]</sup>。数量分析在揭示植被与环境之间的生态关系等方面具有客观性与准确性的优点, 已成为植被生态学研究的重要手段<sup>[4,5]</sup>。数量分类和排序作为数量分析的常用方法, 在群落分析中结合使用可以更好地揭示植物种、植物群落与环境之间的生态关系<sup>[6]</sup>。环境因子与植物群落格局的关系一直是生态研究的热点领域<sup>[7,8]</sup>, 对植物群落随生境因子的变化规律进行研究, 有利于揭示植物群落的结构、分布格局及其生态学发生过程。博斯腾湖地处干旱区恶劣的生境下, 其湖滨湿地植被格局受到环境因子的影响与制约较为明显。目前应用数量分析方法对我国湿地植物群落的研究多集中在河流<sup>[8-10]</sup>、沼泽<sup>[11-13]</sup>和湖泊<sup>[14-16]</sup>等, 对博斯腾湖的研究多集中于湖泊水位<sup>[17]</sup>、土壤盐分<sup>[18]</sup>、矿化度<sup>[19]</sup>、浮游植物<sup>[20]</sup>等方面, 而针对湖滨湿地植被进行数量分析的报道较少。本实验拟采用双向指示种分析 (TWINSpan) 方法分类和除趋势对应分析 (DCA)、典范对应分析 (CCA) 排序, 以明确博斯腾湖湖滨湿地的主要植物群落类型及影响植被类型变化和分布的主要环境因子, 为博斯腾湖湖滨湿地的合理调水及植被恢复与重建提供理论依据。

## 1 研究区域概况

博斯腾湖 (41°56'~42°14'N, 86°40'~87°56'E) 位于新疆南天山的焉耆盆地最低处, 东西长 50~60 km, 南北宽 20~25 km, 面积约 1000 km<sup>2</sup>, 是我国最大的内陆淡水湖泊。博斯腾湖是开都河-孔

雀河水系的中间调节水库, 既是开都河的归宿, 又是孔雀河的源头, 湖区生物资源丰富, 具有蓄洪灌溉、改善焉耆盆地及塔里木河下游生态环境的功能<sup>[21,22]</sup>。博斯腾湖处于最高水位 1048.5 m 时, 水面面积为 1210.5 km<sup>2</sup>, 容积为 90×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 平均水深 7.5 m, 湖水最深处约 16 m<sup>[23]</sup>。

博斯腾湖湖滨湿地属于湖漫滩湿地, 地处中纬度地区, 远离海洋。湖滨湿地因受博斯湖水域的调节, 形成夏季炎热, 冬季寒冷, 春季气候多变, 秋季降温迅速的大陆性荒漠气候和南北疆过渡气候特点。博斯腾湖流域干旱少雨, 年降水量仅 47.7~68.1 mm, 年蒸发量 1880.0~2785.8 mm, 年平均气温 8.2℃~11.5℃, 1 月平均气温 -7.8℃~-12.3℃, 7 月平均气温 22.9℃~26.0℃, 极端最高气温 37.1℃~40.0℃, 极端最低气温 -25.3℃~-31.6℃<sup>[24]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查取样

2012 年 7 月上旬至 9 月中旬, 对博斯腾湖湖滨湿地植被进行了野外调查。分别在博斯腾湖入湖口至扬水站设置了 6 个样带进行固定样方的调查, 样带间相距约 5~10 km; 共设固定样地 28 个, 完成 73 个乔灌木样方调查和 178 个草本样方调查。植被调查过程中, 在垂直于博斯腾湖湖滨的方向且距湖滨 100、300、500、700、1000 m 处, 分别选取具有代表性的典型样地 28 个 (大小为 50 m×50 m), 并以 GPS 进行地理位置定位。在选择的一每样地中, 再以 20 m 为间隔设置 3 个 10 m×10 m 的乔灌木样方, 记录样方内每种乔木 (或灌木) 的个体数、盖度、胸径、冠幅、高度等, 同时在一每样方内随机设置 2~3 个草本小样方 (大小为 1 m×1 m), 并记录每种草本植物的个体数、盖

度、高度等。环境因子调查包括海拔、土壤含水量等；此外，在每一个样地沿对角线 3 等分处取表层 0~30 cm 土样，混合均匀后带回实验室，测定土壤总含盐量、pH 等。

2.2 数据分析

采用重要值(importance value, IV)作为每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，反映其在群落中的分布格局状况，具体计算公式为：

乔木层的重要值=(相对密度+相对频度+相对显著度)/3；

灌木层的重要值=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3<sup>[25]</sup>。

对博斯腾湖湖滨湿地植被分类和排序采用优势种的重要值与样地组成的矩阵作为基础数据进行计算。在不影响表达群落特征的前提下，删去盖度小于 1%的植物种<sup>[26]</sup>，最终得到 28×32 的样地——植物种的原始数据矩阵；环境数据包括 4 个环境因子(海拔、pH、总含盐量、土壤含水量)，组成 28×4 的样地——环境因子矩阵用于植被数量分类和排序。应用双向指示种分析(two-way indicators species analysis, TWINSpan)方法对植物群落进行分类，划分出博斯腾湖湖滨湿地的植物群落类型；采用除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)和典范对应分析(canoni-

cal correspondence analysis, CCA)方法对群落进行排序，以研究群落分布格局与环境因子的关系。在分析环境因子对植物群落格局的影响时，利用前向选择方法剔除冗余变量，同时应用 Monte Carlo 检验检测环境变量和植物群落组成之间是否存在统计意义上的显著相关关系<sup>[27,28]</sup>。

对博斯腾湖湖滨湿地植被分类和排序的分析中，采用 PC-ORD for Windows (Version 5.0) 软件包进行 TWINSpan 分类，采用 CANOCO for Windows (Version 5.0) 软件包进行前向选择、DCA 排序、CCA 排序和 Monte Carlo 检验<sup>[29]</sup>。

3 结果与分析

3.1 TWINSpan 分类

以样地为实体，植物种的重要值为属性，对 28 个样地的植物群落进行 TWINSpan 等级分类，并且将 TWINSpan 分类结果与实际的生态学意义相结合，最终划分为 7 个主要植物群丛类型(图 1)。参照《中国植被》<sup>[30]</sup>和《中国湿地植被》<sup>[1]</sup>的分类系统，将图 1 中 I~Ⅶ分类组分别命名为相应的群丛。

群丛 I 为长苞香蒲(Ass. *Typha angustata*)，包含样地 9、11 和 12，主要分布于博斯腾湖开都河入湖口湿地和大湖西岸 8 km 且距湖滨约 50~100 m 处，海拔 1039.5~1042.8 m，是由湖泊和

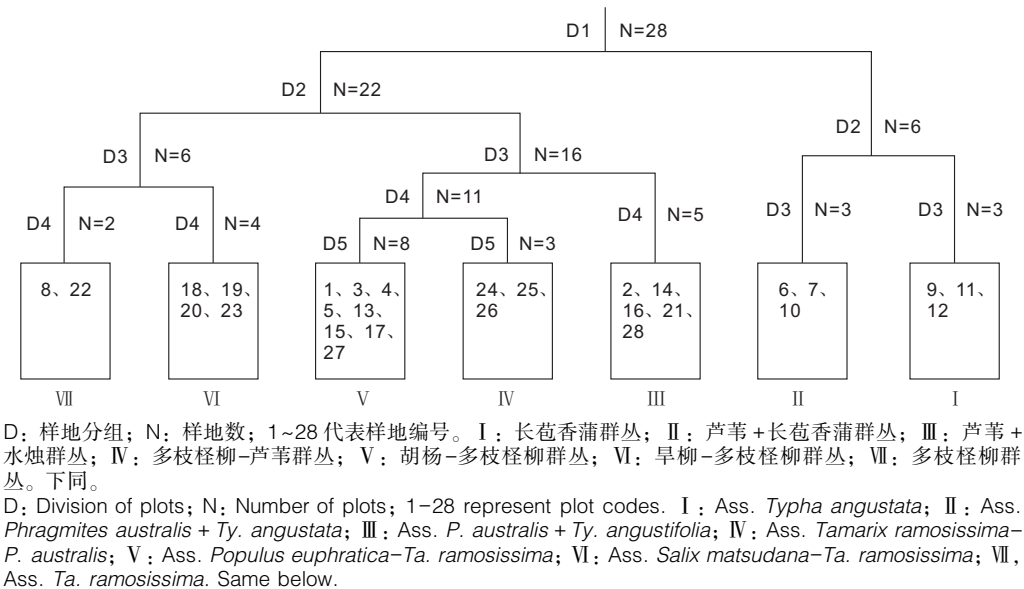


图 1 博斯腾湖湖滨湿地植物群落 28 个样地的 TWINSpan 分类树状图

Fig. 1 Dendrogram of TWINSpan classification of 28 plant communities plots in Bosten Lake wetlands

沼泽等景观构成。该系统是由长苞香蒲组成的单优种水生草本植物群落。植被总盖度高, 通常为 60%~80%。

群丛 II 为芦苇+长苞香蒲 (Ass. *Phragmites australis* + *Ty. angustata*), 包含样地 6、7 和 10, 主要分布于博斯腾湖大湖西岸 8 km 且距湖滨 300 m 处, 海拔 1037.1~1045.4 m。植物群落中沿河岸分布的芦苇、长苞香蒲多呈长方形斑块状镶嵌, 常伴生有碱蓬 (*Suaeda glauca*)、藏蓟 (*Cirsium lanatum*)、稗 (*Echinochloa crusgalli*) 等。植被总盖度较高, 通常为 50%~70%。

群丛 III 为芦苇+水烛 (Ass. *P. australis* + *Ty. angustifolia*), 包含样地 2、14、16、21 和 28, 主要分布于大湖西岸一号桥、本布图镇落霞湾湖漫滩和扬水站景区湖漫滩 500 m 处, 海拔 1034.9~1046.1 m, 偶见有水的小坑塘或湿洼地。芦苇、水烛多呈斑块状镶嵌, 常伴生有轮叶狐尾藻 (*Myriophyllum verticillatum*)、乳苣 (*Mulgedium tataricum*)、中亚滨藜 (*Atriplex centralasiatica*)、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*) 等。芦苇群落内有收割迹象, 部分区域被种植玉米等作物。植被总盖度通常为 40%~60%。

群丛 IV 为多枝怪柳-芦苇 (Ass. *Tamarix ramosissima*-*P. australis*), 包含样地 24、25 和 26, 主要分布于博斯腾湖大湖西岸煤渣路两侧且距湖滨 700 m 处、扬水站景区和本布图镇落霞湾且距湖滨约 700 m 处, 海拔 1030.9~1039.5 m。植物群落中优势种有多枝怪柳、芦苇, 伴生草本有钝叶独行菜 (*Lepidium obtusum*)、地肤 (*Kochia scoparia*)、盐穗木 (*Halostachys caspica*)、高碱蓬 (*S. altissima*) 等。植被总盖度高, 通常为 60%~80%。

群丛 V 为胡杨-多枝怪柳 (Ass. *Populus euphratica*-*Ta. ramosissima*), 包含样地 1、3、4、5、13、15、17 和 27, 主要分布于博斯腾湖大湖西岸 8 km 且距湖滨约 700 m 处、孔雀河南侧小湖区, 海拔 1036.1~1047.7 m。植物群落中优势种有胡杨、多枝怪柳、芦苇, 常伴生有白茎盐生草 (*Halogeton arachnoideus*)、花花柴 (*Karelinia caspica*)、狗尾草 (*Setaria viridis*) 等。植被总盖度较高, 通常为 50%~70%。

群丛 VI 为旱柳-多枝怪柳 (Ass. *Salix matsudana*-*Ta. ramosissima*), 包含样地 18、19、20 和 23, 主要分布于博斯腾湖开都河入湖口且距湖滨 800 m 处, 海拔 1021.6~1042.7 m。植物群落以旱柳幼苗占绝对优势, 湖水水位较低时土壤肥沃的湖漫滩成为旱柳种子定居的适生环境, 伴生种有白榆 (*Ulmus pumila*)、花花柴、新疆乳菀 (*Gala-tella songorica*)。植被总盖度通常为 30%~40%。

群丛 VII 为多枝怪柳 (Ass. *Tamarix ramosissima*), 包含样地 8 和 22, 主要分布于大湖西岸煤渣路入口且距湖滨约 800~1000 m 处和湖滨积水处, 海拔 1039.7~1041.1 m。土壤盐渍化较重, 可见盐斑。植物群落以多枝怪柳占绝对优势, 在盐碱化程度较重的地段, 常伴生有高碱蓬、田旋花 (*Convolvulus arvensis*) 等。植被总盖度通常为 30%~60%。

### 3.2 DCA 排序

采用 species-sample(种类-样地)数据对博斯腾湖湖滨湿地植物群落进行 DCA 分析, 发现第 1 轴梯度长度的值(4.58)大于 4.0(当第 1 轴梯度长度的值大于 4.0 时, 应选单峰模型; 在 3.0~4.0 之间, 选单峰和线性模型均可; 若小于 3.0, 则选线性模型), 故本实验选择单峰模型对 28 个样地进行 DCA 分析。结果显示, 4 个排序轴的特征值分别为 0.7409、0.4518、0.2413、0.1770, 其中, 第 1 轴特征值最大, 反映出最多的生态信息; 第 2 轴特征值次之; 前 2 个排序轴共提供了 60.8% 的信息量, 因此采用前 2 个排序轴做二维排序图。

从图 2 中可以看出, DCA 排序较好地反映了植物群落之间以及植物群落与环境之间的关系。DCA 排序结果与 TWINSpan 分类所划分的各群丛类型基本吻合, 7 个群丛的树状分类图能较好地反映博斯腾湖湖滨湿地植被群落的分布特点, 其分类结果是比较可信的。排序第 1 轴表现为土壤水分梯度, 从水平方向看由左到右土壤含水量逐渐减少, 据此可将 28 个样地划分为 I、II、III、IV、V、VI、VII 7 个区(图 2)。从排序轴看, 群丛主要沿着第 1 轴从左到右表现出明显的梯度变化(图 2), 分别为湖滨湖漫滩沼泽水生草甸、沼泽湿生草甸、荒



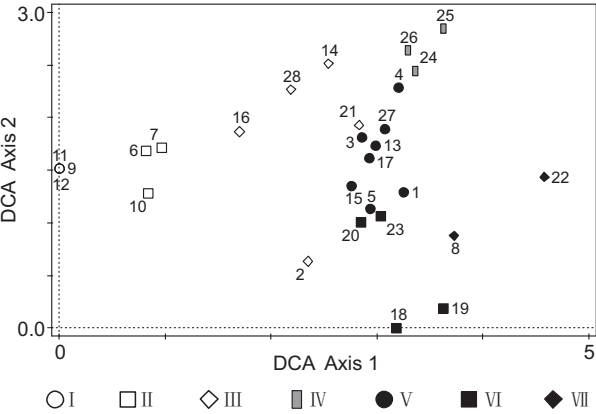


图 2 博斯腾湖湖滨湿地植被 28 个样地的 DCA 二维排序图  
Fig. 2 Two-dimensional graph of DCA ordination for the 28 plant communities plots in Bosten Lake wetlands

漠河岸灌木林、荒漠河岸乔木林、荒漠旱生灌木等植被类型，表明第 1 轴代表着土壤含水量的变化，植物群落生境由沼泽逐渐过渡到荒漠戈壁。DCA 第 1 轴从右往左土壤含水量逐渐增多，地下水位增高，溶解于地下水中的盐分随水流蒸散到地表导致盐分积聚于土壤表面，造成土壤盐渍化，因此土壤盐分较大<sup>[31]</sup>。由于生境条件的差异以及人为因素的干扰等，DCA 第 2 轴上的植被类型变化差异较大，变化所指示的环境特征没有第 1 轴明显，推测 DCA 第 2 轴应代表土壤含盐量的变化。

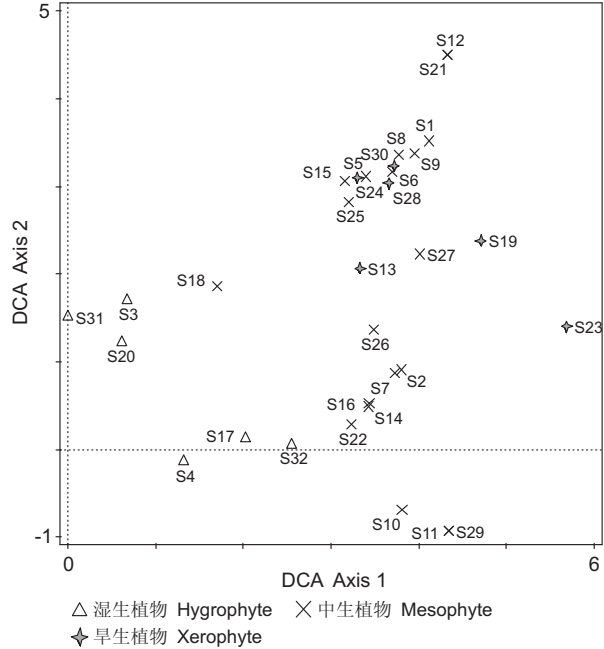
从植物群丛的类型来分析，各群丛类型在排序图上的分布呈现一定的规律性，即 7 个群丛由左到右逐步从湿生类型向旱生类型过渡。其中，群丛 I（长苞香蒲）、II（芦苇 + 长苞香蒲）和 VII（多枝怪柳）分布在排序图的两端，相距较远，说明这些群丛在物种组成、环境梯度等方面差异较大；群丛 III（芦苇 + 水烛）、IV（多枝怪柳-芦苇）、V（胡杨-多枝怪柳）和 VI（旱柳-多枝怪柳）分布在排序图的中央。群丛 I ~ III 的生境属于沼泽/湿生草甸；群丛 IV ~ VII 的植被属于荒漠河岸乔灌木；群丛 IV 的植被中由于已经出现荒漠旱生成分，与群丛 V、VI、VII 生境条件之间的差别相对缩小，因此相距较近，且主要分布在排序图右端。

由博斯腾湖湖滨湿地植被 28 个样地的 DCA 二维排序图(图 2)和各群丛植物种在 DCA 排序图中的分布(图 3)可以看出，各群丛优势种的分布格局与样地的分布格局基本相似，如长苞香蒲和芦苇(S31 和 S18)及以长苞香蒲和芦苇为优势种的群

丛 I、II 均分布于 DCA 排序图的最左端，其它优势种同对应群丛在 DCA 排序图的分布位置也基本相似。优势种的分布格局反映了其土壤含水量的梯度变化，对博斯腾湖湖滨湿地植被的生境梯度有一定的生态指示作用，如长苞香蒲、水烛指示了湿生植物的生境，多枝怪柳、胡杨和旱柳指示了旱生植物的生境。

3.3 环境因子对植物群落格局的影响

利用前向选择结合 Monte Carlo 检验确定各环境变量的单因素影响 (simple effects) 及条件影响 (conditional effects)，深入了解各环境变量同植物群落之间在统计意义上的相关关系<sup>[27,28]</sup>。单因



S1: 白茎盐生草 *Halogeton arachnoideus*; S2: 白榆 *Ulmus pumila*; S3: 轮叶狐尾藻 *Myriophyllum verticillatum*; S4: 水烛 *Typha angustifolia*; S5: 地肤 *Kochia scoparia*; S6: 钝叶独行菜 *Lepidium obtusum*; S7: 多枝怪柳 *Tamarix ramosissima*; S8: 高碱蓬 *Suaeda altissima*; S9: 狗尾草 *Setaria viridis*; S10: 旱柳 *Salix matsudana*; S11: 蒿 *Artemisia* sp.; S12: 红干酸模 *Rumex rechingerianus*; S13: 胡杨 *Populus euphratica*; S14: 花花柴 *Karelinia caspica*; S15: 灰绿藜 *Chenopodium glaucum*; S16: 戟叶鹅绒藤 *Cynanchum sibiricum*; S17: 石龙芮 *Ranunculus sceleratus*; S18: 芦苇 *Phragmites australis*; S19: 碱蓬 *S. glauc*; S20: 欧亚旋覆花 *Inula britanica*; S21: 蒲公英 *Taraxacum* sp.; S22: 乳苣 *Mulgedium tataricum*; S23: 野滨藜 *Atriplex fera*; S24: 藏蓟 *Cirsium lanatum*; S25: 田旋花 *Convolvulus arvensis*; S26: 盐穗木 *Halostachys caspica*; S27: 新疆乳菟 *Galatella songorica*; S28: 中亚滨藜 *A. centralasiatica*; S29: 杨 *Populus* sp.; S30: 稗 *Echinochloa crusgalli*; S31: 长苞香蒲 *Typha angustata*; S32: 酸模叶蓼 *Polygonum lapathifolium*。下同 (Same below)。

图 3 博斯腾湖湖滨湿地主要植物物种的 DCA 二维排序图  
Fig. 3 Two-dimensional graph of DCA ordination for the main plant species in Bosten Lake wetlands

素影响反映了该环境变量对植物群落物种组成的影响状况，而条件影响是剔除前变量后，该变量对群落的影响状况<sup>[27]</sup>。在前向选择过程中，利用 Monte Carlo 检验对 4 个环境变量的单因素影响及条件影响变化状况的分析(表 1)表明，环境变量中的土壤含水量对植物群落的影响最大(贡献量分别 43.9 和 44.3)；这 2 个环境因子(土壤含水量和总含盐量)在前向选择过程中通过 Monte Carlo 检验 ( $P<0.05$ ) 共提取了 71.4% 的环境信息量，其中土壤含水量提供的环境信息量最多(44.3%)。

表 1 前向选择中各变量的单因素影响和条件影响  
Table 1 Simple and conditional effects of each variable obtained from the forward selection

环境因子 Environmental factors	单因素影响 Simple effects		
	贡献量(%) Contribution	F 值 F value	P 值 P value
土壤含水量 Soil water content	43.9	2.7	0.002
总含盐量 Total dissolved solids	26.7	1.6	0.054
pH	16	0.9	0.614
海拔 Altitude	13.2	0.7	0.758

环境因子 Environmental factors	条件影响 Conditional effects		
	贡献量(%) Contribution	F 值 F value	P 值 P value
土壤含水量 Soil water content	44.3	2.7	0.002
总含盐量 Total dissolved solids	27.1	1.7	0.034
pH	17.1	1.1	0.38
海拔 Altitude	11.4	0.7	0.81

对野外采集的环境因子数据进行最大值标准化预处理后作为 CANOCO 环境数据源，以植物重要值指标为 CANOCO 种类数据源构成环境因子与植物物种数据矩阵，应用 CCA 方法对博斯腾湖湖滨湿地 32 种植物进行排序分析，获得 CCA 二维排序图(图 4)。图 4 中环境因子用带有箭头的线段表示，线段的长短表示样地、植物种类分布与该环境因子关系的大小，线段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。

植物物种的分布格局以点的形式、环境因子以箭头的形式在图 4 中表示出来，植物物种与环境因子共同反映出植物种的分布沿每一环境因子的梯度

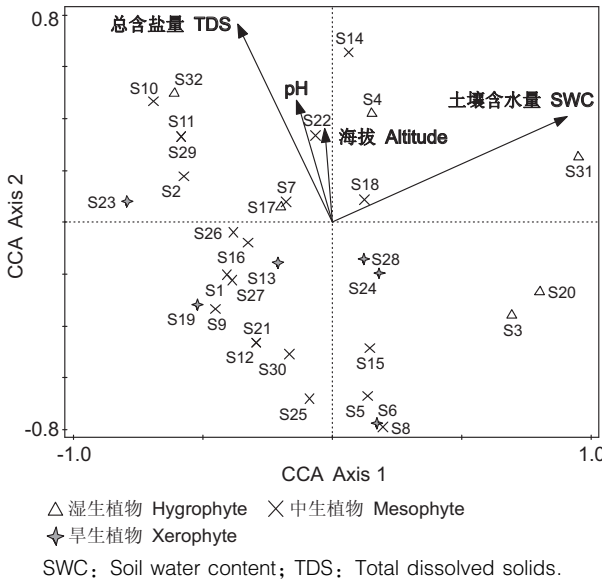


图 4 博斯腾湖湖滨湿地植物种的 CCA 二维排序图  
Fig. 4 Two-dimensional graph of CCA ordination for species in Bosten Lake wetlands

方向变化特征。第 1 排序轴、第 2 排序轴的特征值分别为 0.4668 和 0.3013。第 1 排序轴与土壤含水量呈极显著正相关关系 ( $R=0.8725$ ,  $P=0.002$ )；第 2 排序轴与土壤总含盐量呈显著正相关关系 ( $R=0.8729$ ,  $P=0.034$ )，与土壤 pH 值呈正相关关系 ( $R=0.7021$ ,  $P=0.38$ )，与海拔呈正相关关系 ( $R=0.7451$ ,  $P=0.81$ )。

CCA 排序图(图 4)第 1 轴反映了植物群丛环境因子中的土壤含水量，第 2 轴主要同土壤总含盐量有关。从图 4 中可以看出，土壤含水量、总含盐量是所有环境因子中对植物种的分布起决定性作用的因子。随着土壤含水量的增大，溶解于地下水中的盐分随水流蒸散到地表，导致盐分积聚于土壤表面，造成土壤盐渍化，因此土壤的总含盐量也发生明显变化。CCA 排序图(图 4)与 DCA 排序图(图 3)总体上具有明显的相似性。

4 讨论

本实验博斯腾湖湖滨湿地植物群落的研究结果具有一定的现实意义和代表性。从数量分类结果来看，TWINSpan 能把不同类型的湿地植物群落分开，第一级划分首先把湿地植被分为两组，第一组的样地基本都分布在博斯腾湖湖滨水边滩地，人为活动干扰较少，植物以水生和湿生为主，如长苞香

蒲、芦苇；第二组主要分布在湖岸边和景区附近，有一定的人为干扰，植物以湿生、中生和旱生为主，如水烛、芦苇、多枝怪柳、胡杨。从群丛 I (长苞香蒲) 到群丛 VII (多枝怪柳)，群落建群种由水生、湿生种类逐渐过渡为旱生种类，TWINSpan 分类结果比较客观地反映了植物群丛与水文条件的生态关系。

从 DCA 排序结果看，与 TWINSpan 分类树状图 (图 1) 基本一致，本研究对博斯腾湖湖滨湿地植被数量分类和排序的分析结果表明，该地区植被可以分为 7 个群丛类型，分别为长苞香蒲、芦苇 + 长苞香蒲、芦苇 + 水烛、多枝怪柳-芦苇、胡杨-多枝怪柳、旱柳-多枝怪柳和多枝怪柳；7 个群丛分布于湖滨浅水带 (Ass. I、Ass. II)、湖滨沼泽带 (Ass. III)、湖岸乔灌林带 (Ass. IV、Ass. V、Ass. VI)、旱生灌丛带 (Ass. VII) 4 个生境中。

植被是环境特征的综合反映，一定的植物群丛对其生境梯度具有一定的指示性<sup>[32]</sup>。本研究 DCA 排序结果表明，制约博斯腾湖湖滨湿地植物群落类型、植物种分布格局的主要环境因子是土壤含水量和土壤总含盐量。CCA (图 4) 和 DCA 排序图 (图 3) 总体上具有明显的相似性，其中，CCA 第 1 排序轴与土壤含水量呈极显著正相关关系 ( $R = 0.8725$ ,  $P = 0.002$ )；第 2 排序轴与土壤总含盐量呈显著正相关关系 ( $R = 0.8729$ ,  $P = 0.034$ )。这 2 个环境因子 (土壤含水量和总含盐量) 共贡献了 71.4% 的环境信息量，其中土壤含水量提供的环境信息量最多 (44.3%)。通过 CCA 排序分析，验证了博斯腾湖湖滨湿地植物群落物种及格局变化的主要环境因子是土壤含水量和土壤总含盐量。杨东等<sup>[33]</sup>应用 TWINSpan 和 DCA 对长江河道湿地植被进行了数量分类和排序，结果也表明生境的水分条件是影响群丛分布格局的主导生态因子。张元明等<sup>[34]</sup>应用数量分类和排序方法对新疆塔里木河中游地区植被进行了多元统计分析，认为 CCA 排序图直观地揭示了决定塔里木河中游地区植物群落分布的主要环境因子 (地下水位和土壤含水量)。本研究仅从土壤环境因子 (如土壤含水量、土壤含盐量等) 来探讨荒漠植被分布格局与环境的关系，在一定程度上解释了植被与土壤环境的关系，今后

还需加强植被与地下水环境因子关系的研究。

## 5 结论

作为干旱区的湖泊，博斯腾湖湖滨湿地植被种类单一，生态结构简单，植被稀疏，植被覆盖度较低，群落格局分异明显，土壤含水量与土壤总含盐量的变化是决定植物群落物种及类型变化的主要原因。博斯腾湖湖滨湿地植物物种丰富度相对贫乏，从而使得该湿地生态系统在水分条件恶劣的环境下抵抗力十分脆弱。同时，环境因子与植物物种的相关关系分析表明，水盐动态及其相互作用是影响博斯腾湖湖滨湿地环境因子变化的主要因素。因此，从管理的角度出发，在对博斯腾湖湖滨湿地进行受损生态系统的恢复与重建过程中，要重点考虑土壤含水量和总含盐量这 2 个主要环境因子，尤其要重视水资源的合理开发与利用，防止土壤盐渍化的发生<sup>[26]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 陈宜瑜. 中国湿地研究 [M]. 长春: 吉林出版社, 1995.
- [2] Burke A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountains, Namibia [J]. *J Veget Sci*, 2001, 12(1): 53–60.
- [3] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 邓红兵, 许秋瑾. 湖滨带的功能及其管理 [J]. *生态环境*, 2005, 14(2): 294–298.
- [4] Pinder JE, Kroh GC, White JD, May AB. The relationships between vegetation type and topography in Lassen Volcanic National Park [J]. *Plant Ecolo*, 1997, 131(1): 17–29.
- [5] 张峰, 张金屯. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释 [J]. *生态学报*, 2003, 23(3): 421–427.
- [6] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 吴东丽, 上官铁梁, 张金屯, 薛红喜. 淳沱河流域湿地植被的物种多样性研究 [J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 42(2): 195–199.
- [8] Zhang YM, Chen YN, Pan BR. Distribution and floristics of desert plant communities in the lower reaches of Tarim River, southern Xinjiang, People's Republic of China [J]. *J Arid Envir*, 2005, 63(4): 772–784.

- [9] 李涛, 尹林克, 严成. 塔里木河中游天然植被的数量分类与排序研究[J]. 干旱区地理, 2003, 26(2): 173-179.
- [10] 上官铁梁, 贾志力, 张金屯, 张峰, 许念. 汾河太原段河漫滩草地植被的数量分类与排序[J]. 草业学报, 2001, 10(4): 31-39.
- [11] 张洁瑜, 马克明. 建三江农垦分局湿地植物群落分类和排序[J]. 湿地科学, 2008, 6(3): 359-365.
- [12] 刘文治, 张全发, 李天煜, 李伟, 吴文颖, 刘贵华. 丹江口库区湿地植被的数量分类和排序[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(3): 220-224.
- [13] Day RT, Keddy PA, McNeill J, Carleton T. Fertility and disturbance gradients: a summary model for riverine marsh vegetation[J]. *Ecology*, 1988, 69(4): 1044-1054.
- [14] 王合玲, 张辉国, 吕光辉. 艾比湖湿地植物群落的数量分类和排序[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 177-181.
- [15] 王君霞, 李素清, 武冬梅. 晋阳湖湿地植物群落的数量分类与排序研究[J]. 太原师范学院学报: 自然科学版, 2010, 9(1): 121-125.
- [16] Odland A, del Moral R. Thirteen years of wetland vegetation succession following a permanent drawdown, Myrkdalen Lake, Norway[J]. *Plant Ecol*, 2002, 162(2): 185-198.
- [17] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖水位变动对湿地生态环境的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 260-266.
- [18] 古丽克孜·吐拉克, 李新国, 宁赖, 阿斯耶姆·图尔迪. 博斯腾湖湖滨带绿洲土壤盐分特征分析[J]. 绵阳师范学院学报, 2013, 32(11): 105-110.
- [19] 李锐, 许秋瑾, 张光生, 成小英, 赛·巴雅尔图. 矿化度对淡水浮游植物生长及群落结构的影响[J]. 环境科学研究, 2013, 26(10): 1072-1078.
- [20] 王明珠, 张运林, 刘笑菡, 朱广伟, 汤祥明, 周永强. 不同营养水平湖泊浮游植物吸收和比吸收系数变化特征[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 505-513.
- [21] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.
- [22] 李静, 孙虎, 邢东兴, 王香鸽. 西北干旱半干旱区湿地特征与保护[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 67-71.
- [23] 周可法, 吴世新, 李静, 陈曦. 新疆湿地资源时空变异研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 405-408.
- [24] 王容, 杜勇. 博斯腾湖流域气候及湖陆风[J]. 干旱区地理, 1994, 17(3): 90-94.
- [25] 朱军涛, 于静洁, 王平, 王志勇. 额济纳荒漠绿洲植物群落的数量分类及其与地下水环境的关系分析[J]. 植物生态学报, 2011, 35(5): 480-489.
- [26] 张元明, 陈亚宁, 张小雷. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 903-910.
- [27] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO [M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [28] Franklin J, Wiser SK, Drake DR, Burrows LE, Sykes WR. Environment, disturbance history and rain forest composition across the islands of Tonga, Western Polynesia[J]. *J Veget Sci*, 2006, 17(2): 233-244.
- [29] McCune B, Grace JB, Urban DL. Analysis of Ecological Communities [M]. Gleneden Beach, OR: MjM Software Design, 2002.
- [30] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科技出版社, 1980.
- [31] 魏彬, 海米提·依米提, 王庆峰, 许宁, 李建涛. 克里雅绿洲地下水埋深与土壤含水量的相关性[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1110-1116.
- [32] 吴东丽, 上官铁梁, 张金屯, 薛红喜. 滹沱河流域湿地植被的数量分类和排序[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 648-654.
- [33] 杨东, 黎明, 程玉, 温华军, 李鹏飞, 徐飞, 李伟. 长江故道湿地植被的数量分类与排序[J]. 植物科学学报, 2011, 29(4): 467-473.
- [34] 张元明, 陈亚宁, 张道远. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 109-118.