

渭干河—库车河三角洲绿洲土壤盐分对 植被分布格局的影响

王雪梅^{1,2}, 柴仲平³, 塔西甫拉提·特依拜²

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 对渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被进行双向指示种分类和模糊数学排序, 结果显示: 以怪柳和芦苇为优势种的群落Ⅴ具有最强的耐盐能力; 以怪柳、盐穗木和盐节木为共优势种的群落Ⅲ耐盐能力次之; 以梭梭为单优势种的群落Ⅳ耐盐能力相对较弱; 其他植物群落则属于中间过渡类型。怪柳、盐穗木在高盐环境下, 具有很强的种间竞争能力, 是绿洲盐渍化环境下的优势物种; 芦苇具有很强的生态适应能力, 常常成为其他群落的重要伴生种。同时认为, 土壤盐分是土壤化学因子中影响渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被分布的主要因子。

关键词: 渭干河—库车河三角洲绿洲; 土壤盐分; 盐生植被; 分布格局

中图分类号: Q945.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0219-05

盐生植物作为地球上广泛分布的一类特殊的植物类群, 是人类难得的基因宝库, 对绿洲—荒漠复合生态系统平衡的维持起着积极的作用。因此, 随着盐土农业的兴起, 利用盐生植物, 开发盐渍土地资源, 改善盐渍荒地, 对我国干旱区解决人口增长和土地资源矛盾具有重要的现实意义。同时利用盐生植物改良盐渍土, 遏制干旱区土地荒漠化, 是解决我国干旱区资源问题和生态与环境问题的有效对策^[1,2]。国内外已有一些学者就土壤盐分因子与植被分布的相关关系做了广泛探讨^[3~5]。一些具体研究也证明了土壤盐分因子对植被的分布起着关键作用, 但研究多侧重于对盐沼植被及其生境的研究^[6~9], 对于干旱区盐生植被的研究还有待深入。

渭干河—库车河三角洲绿洲位于新疆维吾尔自治区南部的塔里木盆地北缘, 具有典型的干旱特征, 辖区范围包括库车、沙雅和新和 3 个县。该区光热资源丰富, 降水少, 蒸发量大, 气温差异显著, 日照期长, 夏季干热、冬季干冷, 无霜期长, 风力强。该区年均降水量为 58.0 ~ 69.1 mm, 其中, 沙雅县最低, 库车县最高。年均蒸发量为 1 175.0 ~ 1 506.0 mm, 干旱指数为 17.3 ~ 21.8, 属大陆性暖温带极端干旱气候。年平均气温为 10.5℃ ~ 14.4℃, 极端最高温为

39.8℃ ~ 41.0℃, 极端最低温 -27.0℃ ~ -28.7℃。区内灌溉水来源主要是渭干河和库车河, 此外还有少量的水来自塔里木河和泉水。由于地下水位高, 土地下层构成物颗粒细, 透水性差, 因而造成该区土壤盐渍化现象比较普遍, 在古河道、河漫滩、泉水溢出带等地下水浅埋区, 分布着大面积的盐渍化土和盐土。土壤中的盐类主要为氯化物, 同时伴有少量的硫酸盐—氯化物类^①。

本文选择渭干河—库车河三角洲绿洲为研究区域, 利用双向指示种分析法和模糊数学方法, 分析表层土壤 pH 值、含水量、电导率 (EC)、溶解性总固体 (TDS)、含盐量和八大盐离子等 12 项土壤化学因子对渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被空间分布的影响, 此研究将有利于揭示干旱区盐生植被生态系统形成和发育的机理, 为干旱区盐生植被的开发与保护提供科学依据。

1 主要植被物种

在本研究区内, 植被群落主要由乔木、灌木和草本植物群落构成。其中, 草本植物主要有芦苇 (*Phragmites australis*)、甘草 (*Glycyrrhiza inflata*)、罗布麻 (*Poacynum hendersonii*)、骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia*)。

收稿日期: 2010-04-11
基金项目: 新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”基金 (XJDX0909-2010-08); 新疆师范大学博士后科研启动基金 (xjnubs1005); 国家自然科学基金 (40261006); 教育厅重点项目 (060008); 自治区科技攻关 (含重大专项) 和重点项目计划课题 (200731136-5); 新疆师范大学校级重点实验室“干旱区湖泊环境演变实验室”基金
作者简介: 王雪梅 (1976—), 女, 江苏铜山人, 博士生, 讲师, 主要研究方向为干旱区资源环境及遥感应用研究。
通讯作者: 塔西甫拉提·特依拜, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为遥感技术及其应用研究。
①新疆渭干河流域管理处. 渭干河流域水盐监测技术报告. 2003: 11—32.

folia)、猪毛菜(*Salsola arbuscula*)等,灌木主要为柽柳(*Tamarixram osissina*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、盐节木(*Halocnemum strobilaceum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、铃铛刺(*Halinodenron halodendron*)等,乔木主要是胡杨(*Populus euphratica*)。该区植被为多汁肉质盐生灌丛和泌盐植物,这些植被含有大量可溶性盐分,残落物和残体经矿化分解归入土壤,可加剧土壤积盐过程。

2 数据采集及处理

2.1 样地布设及数据采集

为保证样品代表性,研究组以 2007 年的 ALOS 影像为工作底图,在 GPS 技术支持下,在土壤图、地形图和土地利用等辅助信息基础上先进行室内布点,使采样点尽可能遍及研究区范围内主要的土地利用类型和植被类型,尽可能使样点分布具有随机规律。先后于 2007 年 7 月和 2008 年 4 月在研究区内展开详细调查,共调查样地 81 个,剔除植被稀少和调查数据不全样方,最终确定了 49 个样地。每个样地随机调查 1 个 30 m × 30 m 乔木样方,3 个 10 m × 10 m 的灌木样方和 3 个 1 m × 1 m 的草本样方,对于上述每一调查样方,测定其植被组成、数量及其各植物种的密度、多度、盖度和株高等数据。取每个样地中 3 个灌木和草本调查样方各物种上述指标的平均值作为该样地的计算参数。考虑到采样点周围土壤性质相对成因一致,环境因子类似,异质性较小,在每个样地内随机设置 3 个采样点,于表层 0 ~ 10 cm 土层处采集土样。将同一样地的 3 份土样混合均匀,用于土壤各指标的测量。野外工作使用统一的野外调查记录表,并按照野外调查的要求进行详细记录。每个样点均进行统一编号,进行 GPS 定位和景观描述。

2.2 室内实验分析

土壤样品带回室内风干,分析方法参照《土壤农业化学常规分析方法》^[10]进行,将预处理后土样按 5: 1 水土比进行浸提,用 Orion 115A + 仪器测定浸提液 25℃ 时的电导率、含盐量、TDS (Total Dissolved Solids,即溶解性总固体,单位: mg/L); pH 值的测定是按 2: 1 水土比浸提,SM210 型数字式酸度计测定;土壤含水量采用烘干法测定; CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 采用双指示剂中和法测定; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法测定; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法测定; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 采用阴阳离子平衡法测定^[11]。

2.3 植被数量指标的计算

通过对各样地植被物种的各项调查数据进行处理后,采用重要值 (Important value, IV) 作为各物种在群落中的优势度指标^[12]。在不影响表达群落特征的前提下,除去了盖度小于 1% 且出现几率较小的植物种,以 49 个样地 11 个植物种的重要值组成样地—物种矩阵。以 49 个样地 12 个土壤化学因子数据组成样地—环境因子矩阵。重要值计算公式如下:

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对盖度}) / 200$$

其中,相对多度 = 某个种的多度 / 所有种的多度之和 × 100%; 相对盖度 = 某个种的盖度 / 所有种的盖度之和 × 100% (灌木盖度 = 东西冠幅 × 南北冠幅 / 样地面积)。

3 研究方法

目前对于植被数量特征的定量分析,国内外常用的主要方法是分类和排序^[13~18]。基于此,本研究使用了双向指示种分析法和模糊数学排序,对研究区的植被群落类型进行了划分和排序。

3.1 双向指示种分析

双向指示种分析法 (Two-Way Indicator Species Analysis, TWINSpan), 是 20 世纪 80 年代以后至今使用最多的植物群落分类方法,也是目前最有效的群落定量分类方法。该方法是一种等级分类法,以整个数据矩阵为基础,以二歧式的分割法来划分群落类型,可以同时给出群落分类结果和物种分类结果。双向指示种分类法能同时完成对群落种类和样地分类。它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两类以此类推,直至达到所要求的划分水平为止。该分析可通过 Win TWINS Version 2.3 软件完成。

3.2 模糊数学排序

模糊数学排序 (Fuzzy set ordination, FSO) 是植被排序方法中的一种新方法,它是基于模糊数学理论的一种直接梯度分析,能够很好地揭示植被与环境的关系。这一排序方法以一个或多个环境梯度为坐标轴,以环境模糊子集和样地相似矩阵计算各样地在选定的环境梯度排序轴上的坐标。本文根据各样地中植物种的重要值矩阵首先计算了各样地间的欧氏距离矩阵,并将其转化为样地相似矩阵,以样地相似矩阵分别与样地—环境因子矩阵计算了各样地在排序轴上的坐标,并绘制成排序图。该分析可通过 CANOCO for Windows 4.5 完成。

4 结果与分析

4.1 植被群落类型的确定

为了分析干旱区盐生植被类型的空间分异规律,用双向指示种分析法 (TWINSpan) 对渭干河—库车河三角洲绿洲 49 个样地 11 个主要植物种进行分类。分类时将物种重要值分为 0~0.10,0.10~0.25,0.25~0.50,0.50~0.75,0.75~1.00 共 5 个等级。采用第三级的划分结果,最终将渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被划分为 6 个群落类型。各群落类型的名称依据其优势种和 TWINSpan 分类时的指示种确定,命名方法参考《中国植被》^[19] 和文献^[20]和^[21]。分类结果如图 1 所示(图中 *D* 表示对应的分类级别,*N* 表示所包含的样地数)。

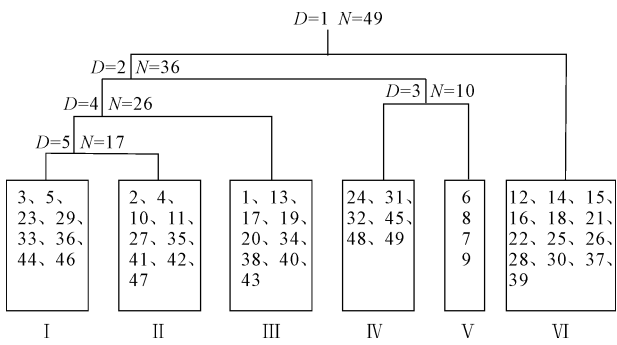


图 1 TWINSpan 分类结果

Fig. 1 The classified result of TWINSpan

群落 I: 怪柳 + 梭梭群落。包括样地 3、5、23、29、33、36、44 和 46,以怪柳和梭梭为主要优势种。怪柳盖度(平均盖度,下同)约为 17.8%,梭梭盖度约为 10%。一般怪柳的优势度要略高于梭梭,是 TWINSpan 分类时该群落的指示种。此外,样地 44 中有少量骆驼刺出现,样地 46 中有胡杨出现。

群落 II: 骆驼刺 + 梭梭群落。包括样地 2、4、10、11、27、35、41、42 和 47,以骆驼刺为优势种,骆驼刺盖度约为 28.3%,梭梭盖度约为 10.7%,但仅在样地 10、11 和 27 中出现。另有个别样地中伴生有少量盐节木和盐穗木。

群落 III: 怪柳—盐穗木 + 盐节木群落。包括样地 1、13、17、19、20、34、38、40 和 43。该群落以怪柳和盐穗木、盐节木为共生优势种,怪柳盖度约为 12.7%,盐穗木盖度约为 12.4%,盐节木盖度仅为 4.8%。在 TWINSpan 分类时怪柳和盐穗木为该群落的指示种,而盐节木仅在样地 38 和 43 中出现。

群落 IV: 梭梭群落。包括样地 24、31、32、45、48 和 49,梭梭盖度约为 25.0%。该群落以梭梭为单优势种和指示种,群落结构十分简单,基本不存在其他

伴生种。

群落 V: 怪柳 + 芦苇群落。包括样地 6、7、8 和 9。该群落以怪柳和芦苇为优势种,怪柳盖度约为 33.7%,芦苇盖度约为 25.5%。在 TWINSpan 分类时怪柳为该群落的指示种。此外,在样地 7 中有少量盐穗木相伴出现。

群落 VI: 芦苇 + 骆驼刺群落。包括样地 12、14、15、16、18、21、22、25、26、28、30、37 和 39。该群落以芦苇和骆驼刺为主要优势种,芦苇盖度约为 44.0%,骆驼刺盖度仅为 5.0%。在 TWINSpan 分类时芦苇为该群落的指示种,而在个别样地中有少量白刺和河西苜蓿相伴而生。

4.2 植被群落的模糊数学排序

通过对渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被与土壤化学因子进行模糊数学排序。分析结果表明(表 1):排序图的前两个轴保留了物种—环境关系总方差的 58.386%。Gauch 指出,如果前 3 个主要特征向量的方差占总方差的 40% 以上,则排序效果是满意的^[22]。因此,本文只保留排序图的前两轴,就能很好地反映渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被与土壤化学因子之间的关系。在排序图中,土壤化学因子用连线表示,连线的长短表示植物种类分布与该因子关系的大小,连线所处位置代表土壤化学因子与排序轴之间的正负相关性,连线与排序轴的夹角表示该因子与排序轴相关性的大小^[23]。

表 1 主要排序轴的特征值与方差百分比

Table 1 Eigen values and percentage variance for the axes of FSO

主要排序轴 Axis of FSO	特征值 Eigen value	方差百分比 Percentage variance(%)	累积方差百分比 Cumulative percentage variance(%)
第一 Axis 1	16.057	40.478	40.478
第二 Axis 2	15.749	17.908	58.386

结合表 2 和图 2 分析排序轴与土壤化学因子之间的相关关系,从中可以看出,第一排序轴主要与土壤中含盐量($r = 0.949, P < 0.001$)、 K^+ 和 Na^+ ($r = 0.933, P < 0.001$)、电导率($r = 0.929, P < 0.001$)、TDS($r = 0.903, P < 0.001$)、 Cl^- ($r = 0.800, P < 0.001$)和 SO_4^{2-} ($r = 0.527, P < 0.001$)有极显著的正相关性,而与 Ca^{2+} 有一定的正相关性($r = 0.469, P < 0.01$),充分说明第一排序轴主要代表了土壤的盐度水平;第二排序轴与含盐量($r = 0.873, P < 0.001$)、 K^+ 和 Na^+ ($r = 0.886, P < 0.001$)、电导率($r = 0.777, P < 0.001$)、TDS($r = 0.773, P < 0.001$)、 Cl^- ($r = 0.660, P < 0.001$)和 SO_4^{2-} ($r = 0.571, P < 0.001$)有极显著的正相关性,同时还与 Mg^{2+} ($r =$

0.425, $P < 0.01$)、 HCO_3^- ($r = 0.357$, $P < 0.01$) 和 pH 值 ($r = 0.328$, $P < 0.01$) 也有显著的正相关性, 表明第二排序轴除了反映土壤的盐度水平还代表了土壤碱化度的高低; 而土壤含水量和 CO_3^{2-} 与两个排序轴的相关性都不高, 与植被群落分布的关系不大。

表 2 主要排序轴与土壤化学因子相关性分析
Table 2 Correlation coefficients of the axes of FSO
with soil environment factors

土壤化学因子 Soil environment factor	排序轴 Axis of set ordination	
	第一 Axis 1	第二 Axis 2
pH 值 pH value	0.100	0.328 **
含水量 Water content	0.092	0.170
电导率 EC	0.929 ***	0.777 ***
TDS	0.903 ***	0.773 ***
含盐量 Salt content	0.949 ***	0.873 ***
CO_3^{2-}	0.124	0.023
HCO_3^-	0.038	0.357 **
Cl^-	0.800 ***	0.660 ***
SO_4^{2-}	0.527 ***	0.571 ***
Ca^{2+}	0.469 **	0.185
Mg^{2+}	0.193	0.425 **
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	0.933 ***	0.886 ***

注: 表中数值为 Spearman 相关性分析的相关系数; * 表示在置信度 (双测) 为 0.01 时, 相关性是显著的; ** 表示在置信度 (双测) 为 0.001 时, 相关性是显著的。

Note: The values in the table are correlation coefficients of Spearman analysis; * denotes significant correlativity at 0.01 level, while ** denotes significant correlativity at 0.001 level.

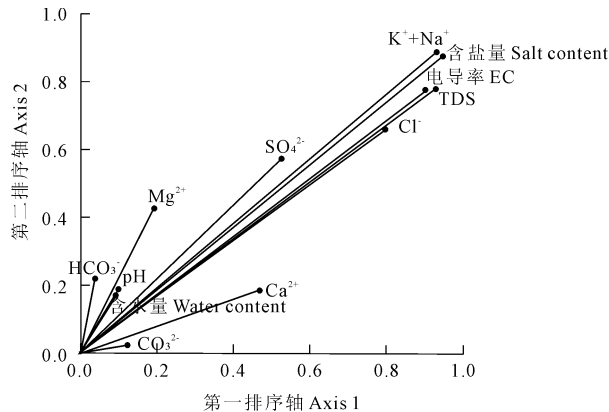


图 2 土壤因子模糊数学排序

Fig. 2 The distribution patterns of soil environment factors in the chart of fuzzy set ordination

根据模糊数学排序图 (图 2 和图 3) 可同时分析物种、样地与各土壤化学因子之间的关系。由 TWINSpan 划分而得的各种群落类型在排序图上虽然有交叉重叠, 但它们的相对位置仍然可从排序图

中看出。以怪柳和芦苇为共生优势种的群落类型 V, 其各个样地集中位于排序图的右上方, 表征了这些样地主要以耐盐碱植物为主; 以骆驼刺为优势种的群落类型 II 的各样地则主要分布在排序图 (图 3) 的右下方, 表征了这些样地主要以耐盐植物为主; 以怪柳和盐穗木、盐节木为共生优势种的群落类型 III 的各样地主要分布于排序图的左上方, 表征了这些样地主要以耐碱植物为主; 群落 I 和 VI 这两个类型主要与较低的土壤盐度和碱度对应, 位于排序图的左下方; 以梭梭为单一优势种的群落 IV 则与中等的盐分和较低的碱度对应, 位于排序图的中下方。

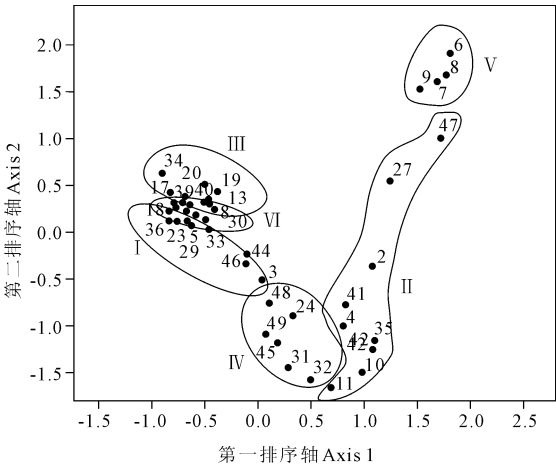


图 3 植被群落排序图

Fig. 3 The distribution patterns of vegetation communities in the chart of fuzzy set ordination

4.3 土壤化学因子与植被分布的相关关系

分析结果 (表 2 和图 2) 显示, 土壤盐分与 Cl^- 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的含量存在十分显著的线性关系, 土壤中盐分含量的变化能够表征 Cl^- 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 变异的绝大部分。而 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 也与土壤盐分呈显著的相关关系, 但土壤盐分解释 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 变异的能力有限。上述这些土壤化学因子都与第一排序轴和第二排序轴有显著的相关关系。而 pH 值、 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 仅与第二排序轴呈显著相关。土壤水分和 CO_3^{2-} 与这两个排序轴相关关系均不显著, 可认为土壤含水量对植被分布的影响并不显著。在所有分析的土壤化学因子中, 土壤盐分显然对植被群落的分布起着决定性作用。因此, 根据模糊数学排序结果, 并结合植被群落多样性与土壤化学因子之间的相关关系, 可以断定, 土壤盐分因子是土壤化学因子中影响渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被分布的主要因子。

由 TWINSpan 划分而得的不同植被群落类型各自分布在其适宜的盐分范围内 (见图 3)。盐生植

被各自在土壤盐分上的差异可以从它们在植被群落排序图空间分布上明显看出。由怪柳和芦苇这些植物种为主所组成的群落Ⅴ耐盐能力最强;由以怪柳、盐穗木和盐节木这些植物种为主所组成的群落Ⅲ耐盐能力次之;以梭梭为单优势种的群落类型Ⅳ耐盐能力相对较弱;其他植物种和群落类型则属于过渡类型。

5 结论与讨论

由于盐生植物对土壤盐分的适应能力是决定其生态分布的关键因素之一。在含盐量较高处,植被群落以盐生植物如怪柳、骆驼刺等为主;在高含盐量处,以裸露的盐斑地为主。根据上述植物分布规律显示,怪柳、盐穗木和芦苇这 3 种盐生植物广泛分布于各种盐渍化生境,具有较宽的生态分布幅度,同时也表明怪柳、盐穗木和芦苇具有很高的耐盐能力,特别是怪柳和盐穗木在高盐环境下增强了种间竞争能力,是渭干河—库车河三角洲绿洲盐渍土上的优势植物。而芦苇则由于其具有很强的生态适应能力,常常成为其他群落的重要伴生种。

参 考 文 献:

[1] 郗金标,田长彦,阎平,等.新疆盐生植物区系初探[J].中国生态农业学报,2006,14(1):7—10.

[2] 郗金标,张福锁,田长彦,等.新疆盐生植物[M].北京:科学出版社,2006.

[3] Critchley C N R, Chambers B J, Fowbert J A, et al. Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English environmentally sensitive areas[J]. Grass and Forage Science, 2002,57:82—92.

[4] Abd EI - Ghani M M, Amer W M. Soil vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai Egypt[J]. Journal of Arid Environments, 2003,55:607—628.

[5] Silvestri S, Defina A, Marani M. Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation Estuarine[J]. Coastal and Shelf Science, 2005,62:119—130.

[6] 刘庆.青海湖北岸环境梯度上植物群落的生物量与物种多样性及其相互关系[J].西北植物学报,2000,20(2):259—

267.

[7] 王顺忠,陈桂琛,柏玉平,等.青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系[J].应用生态学报,2005,16(1):186—188.

[8] 贺强,崔保山,赵欣胜,等.黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系[J].生态学报,2009,29(2):676—687.

[9] 贺强,崔保山,赵欣胜,等.水盐梯度下黄河三角洲湿地植被空间分异规律的定量分析[J].湿地科学,2007,5(3):208—214.

[10] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983.

[11] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978:93—129.

[12] 张远东.荒漠绿洲过渡带植被与绿洲稳定性研究[D].沈阳:东北林业大学,4—8.

[13] 马明东,罗承德,张键,等.云杉天然林分生境条件数量分类与环境解释[J].中国生态农业学报,2006,(4):159—163.

[14] 刘秋锋,康慕谊,刘全儒.中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释[J].植物生态学报,2006,30(3):383—391.

[15] 刘秋锋,康慕谊,刘全儒.混沟森林植被物种多样性梯度分析与环境解释[J].西北植物学报,2006,26(8):1686—1692.

[16] Funk D W, Noel L E, Freedman A H. Environmental gradients plant distribution and species richness in arctic salt marsh near Prudhoe bay[J]. Alaska Wetlands Ecology and Management, 2004,12:215—233.

[17] 邱扬,张金屯.基于 DCCA 的排序轴分类及其在植被群落生态梯度分析中的应用[J].生态学报,2000,20(5):199—200.

[18] 张金屯.庞泉沟自然保护区植物群落的模糊数学分类与排序[J].北京师范大学学报(自然科学版),2004,40(2):249—254.

[19] 中国国植被编辑委员会.中国植被[M].北京:科学出版社,1980.

[20] 周晓红,李宪伟,白限丽.我国植被数量分析方法的研究概况和发展趋势[J].生态学杂志,2005,25(4):448—451.

[21] 张先平,王孟本,余波,等.庞泉沟国家自然保护区森林群落的数量分类与排序[J].生态学报,2006,(3):755—761.

[22] Gauch H G. 杨持,译.群落生态学中的多元分析[M].北京:科学出版社,1989.

[23] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2005:178—239.