

新疆塔里木河下游物种多样性与地下水位的关系

郝兴明^{1 2 3}, 陈亚宁^{1 2,*}, 李卫红^{1 2}

(1. 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 依据塔里木河下游 7 个监测断面 36 眼地下水位观测井和 36 个植物样地野外采集的数据,应用 Margalef 丰富度指数、Shannon-Weiner 信息指数、Alatalo 均匀度指数和修正的 Simpson 多样性指数以及含参数的 Hill 指数,对塔里木河下游物种多样性特征进行了分析。结果表明,塔里木河下游物种多样性与地下水埋深有显著的关联性,随着地下水埋深增大,塔里木河下游物种丰富度和多样性均表现出递减趋势,而均匀度指数的变化趋势则不甚明显。Hill 指数的分析表明,以地下水埋深 6m 和 10m 为界,多样性变化明显分为 3 个不同的变化阶段,其中地下水埋深在 6m 以下时,多样性锐减,且曲线最终趋于平直。综合野外调查和样地资料分析,认为塔里木河下游物种多样性受损的临界地下水位为 6m 左右。

关键词 物种多样性,地下水埋深,环境梯度,塔里木河下游

文章编号: 1000-0933 (2007)10-4106-07 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

The relationship between species diversity and groundwater table in the low reaches of the Tarim River, Xinjiang, China

HAO Xing-Ming^{1 2 3}, CHEN Ya-Ning^{1 2,*}, LI Wei-Hong^{1 2}

1 Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environmental, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

3 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4106 ~ 4112.

Abstract : Based on the monitoring data of 36 groundwater-monitoring wells and vegetation plots in the lower reaches of the Tarim river from 2004 to 2006, the characteristics of species diversity was analyzed by using the formulas of Margalef's richness indices, Shannon-Weiner's indices, Alatalo's evenness indices, correctional Simpson's indices and the Hill indices. The results showed that the species diversity is closely related to the groundwater table and the groundwater plays a dominant role in the species diversity in the lower reaches of Tarim river. Along with the increase of groundwater depth from the upper reaches to the lower reaches of the monitoring sections of the Tarim River, the plant species become less, the structure of plant communities becomes simpler, and both the diversity and richness index of the species are in an obvious decrease status. The evenness indices, however, didn't show the same change trend. The Hill species diversity indices

基金项目: 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-03); 中国科学院重要方向资助项目 (KZCX2-YW-127); 国家自然科学基金资助项目 (90502004, 40671014)

收稿日期: 2007-03-02; 修订日期: 2007-09-11

作者简介: 郝兴明 (1978 ~) 新疆人, 博士, 主要从事干旱区资源与环境研究. E-mail: hxmmhy@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenyn@ms.xjlb.ac.cn

Foundation item : The project was financially supported by Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-03, KZCX2-YW-127); National Natural Science Foundation of China (No. 90502004, 40671014)

Received date 2007-03-02; **Accepted date** 2007-09-11

Biography : HAO Xing-Ming, Ph. D., mainly engaged in arid resources and environments. E-mail: hxmmhy@126.com

showed that the species diversity has distinct changing characteristics at the groundwater depth among 2—6m 6—10m and >10m. Once the depth of groundwater lower than 6 meter , the diversity values become small and the trend of diversity curve becomes smooth. Combining the field investigation and the analysis of the plots , it is considered that the critical groundwater depth for the damaged species diversity is about 6 meter in the lower reaches of the Tarim River.

Key Words : species diversity ; groundwater depth ; environmental gradient ; the lower reaches of the Tarim River

物种多样性是指在物种水平上的生物多样性^[1],是生物多样性在物种水平上的表现形式。其包括两个方面,一是指一定区域内物种的总和,主要从分类学、系统学和生物地理学角度对一个区域内物种的状况进行研究,也称区域物种多样性;二是指生态学方面物种分布的均匀程度,常常是从群落组织水平上进行研究,也称为生态多样性或群落多样性^[2]。归纳起来,物种多样性具有3方面的涵义:种的丰富度(species richness),种的均匀度(species evenness)或平衡性(equitability)以及种的总多样性(total diversity)^[3]。群落物种多样性是一个群落结构和功能复杂性的量度^[4],不同群落在组成、结构、功能和动态演替等方面表现的差异与物种多样性的关系十分密切,因此,物种多样性的研究已经成为群落生态学研究的重要课题。生物及其群落多样性在国内外研究较为普遍^[5~12],但相关的荒漠植物群落多样性的研究较少,尤其极端干旱地区物种多样性变化与环境因子间关系的研究仍很有限。

新疆塔里木河位于塔克拉玛干沙漠北缘,是中国最长的内陆河,也是世界著名的内陆河。在过去的50a里,塔里木河在以水资源开发利用为核心的高强度人类经济、社会活动的作用下,流域自然生态过程发生了显著变化。塔里木河下游321km河道自1970年以来彻底断流,河流尾间湖泊-罗布泊和台特玛湖分别于1970年和1972年相继干涸,地下水位大幅度下降,由地下水维系的天然植被极度退化,以芦苇(*Phragmites communis*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等为主的草本植物大片死亡,胡杨(*Populus euphratica*)、怪柳(*Tamarix* spp.)等乔灌木大面积衰退,风蚀沙化加剧,土地荒漠化过程加强。

针对干旱荒漠区植被的研究,已发现单纯的地表水灌溉不能改变荒漠植被的水分状况,而保持地下水位稳定才对维持植被正常生长至关重要^[13]。塔里木河下游降水稀少,蒸发强烈,气候极为干旱,稀少的降水对植物的生长发育无实际意义,植物生存主要依靠地下水,而地下水在自然和人为影响下又处于不断的消长变化中。因此,干旱荒漠区植被对地下水位动态响应的研究一直是水文学、土壤学、生态学等学科共同关注的问题。该方面研究对揭示荒漠生态系统演变的水文学机制,理解维持荒漠生态系统的稳定性等方面都有重要意义。

本文利用3a野外实地调查和地下水动态变化的实时监测资料,通过对衡量物种多样性的物种丰富度、物种均匀度等多样性指标的计算,探讨塔里木河下游生态输水后地下水埋深变化与植被恢复过程;同时,通过引用Hill多样性指数排序的方法,定量分析地下埋深对物种多样性的影响,为塔里木河下游受损生态系统的恢复提供科学依据。

1 研究区概况

塔里木河下游位于新疆东南部的塔克拉玛干沙漠和库鲁克两大沙漠之间,属大陆性暖温带、干旱沙漠性气候,生态环境极为脆弱,年降水量变化在17.4~42.0mm之间,气候干燥,多大风天气,是我国最干旱的地区之一。近30a来,由于河水断流,加之缺乏地表径流的补给,地下水位大幅度下降,由地下水过程维系的天然植被严重衰败,塔里木河下游主要建群种——胡杨大面积衰败,林间沙地活化。在植被类型上,塔里木河下游沿河分布着荒漠河岸植被,局部地段有盐生荒漠植被发育,结构单纯,主要植物有胡杨(*Populus euphratica*),多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、刚毛怪柳(*T. hispida*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、芦苇(*Phragmites communis*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、大花罗布麻(*Apocynum venetum*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)等。

2 研究方法

2.1 资料采集

结合塔里木河下游生态输水工程,沿塔里木河下游输水河道,自亚合甫马汗至依干布及麻,设置了7个观测断面,前5个断面间距约20km,后2个断面的间距为45km。在垂直河道方向上,间隔100m或200m布设地下水监测井一眼,各断面共布设地下水位监测井36眼(图1)。地下水位监测频率为2两个月1次,输水过程中,增加监测次数。同时,根据植被情况,沿地下水监测断面,在亚合甫马汗(B)、英苏(C)、阿布达勒(D)、喀尔达依(E)、吐格买莱(F)、阿拉干(G)和依干不及麻(H)7个断面布设了36个植物样地,每个样地均与地下水位监测井对应。每个断面样地设置数目为:亚合甫马汗4个、英苏6个、阿布达勒5个、喀尔达依6个、吐格买莱5个、阿拉干5个、依干不及麻5个。样地大小为50m×50m,在每个样地中,再以25m为间隔设置成4个25m×25m的乔木灌木样方,记录每种乔木(或灌木)的个体数、盖度、胸径、基径、高度、冠幅等指标;同时,样方内设置4个5m×5m的草本样方,分别记录每种草本的个体数、盖度、高度、冠幅、频度等指标,并以GPS进行定位,记录每个样地的海拔高度、经纬度及各样地的地下水埋深等。

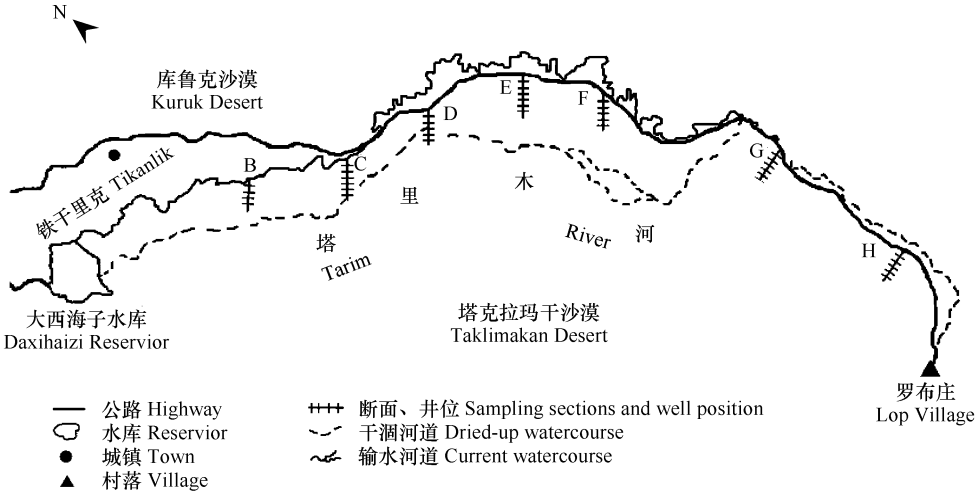


图1 研究区概况

Fig. 1 The sketch map of study area

B 亚合甫马汗 Yahopmarhan C 英苏 Yengsu D 阿布达勒 Abudalai E 喀尔达依 Kardayi F 吐格买莱 Tugmailai G 阿拉干 Aragan H 依干布及麻 Yikanbujima

2.2 分析方法

群落或生境内物种多样性的衡量可以利用物种丰富度和均匀度指数的测量获得。物种丰富度是指一个群落或生境中物种数目的多少,是物种多样性的测度方法,物种均匀度是指一个群落或生境中全部物种的个体数目的分配情况,它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度,而物种多样性指数是物种丰富度和物种均匀度的综合指标^[3]。因此,本文相应选取了反应物种丰富度的 Margalef 指数;反映物种均匀度 Alatalo 指数;以信息公式表示多样性的 Shannon-Wiener 指数;以及综合反映物种丰富度和均匀度的修正的 Simpson 指数。以上多样性指数都是一个固定的值,在取样面积一定的情况下,每个样方可以计算出一个指数值。在自然群落中,各种生态关系是比较复杂的,一个固定值往往不能反映物种多样性特征,因此含有参数的多样性指数受到越来越多的重视。含参数的多样性指数是指在方程中含有一个或多个可变的参数,参数取不同的值,多样性指数就不同。这样的指数有利于揭示环境的变化或时空尺度的变化对多样性的影响,也有利于多样性大小的生态解释。鉴于此,本文引入了含参数 Hill 多样性指数^[3]。各指数计算公式如下:

Margalef 丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln N$$

(1)

Alatalo 均匀度指数
$$E = \left(1 / \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 - 1 \right) / \left(\exp \left(- \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} \right) - 1 \right) \tag{2}$$

Shannon-Wiener 信息指数
$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i) \tag{3}$$

综合反映物种丰富度和均匀度的修正的 Simpson 指数
$$D = - \ln \left[\sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \right] \tag{4}$$

含参数的 Hill 多样性指数
$$N_{\alpha} = \left(\sum_{i=1}^S P_i^{\alpha} \right)^{1/1-\alpha} \tag{5}$$

式中 $\alpha \geq 0$ $\alpha \neq 1$,规定 $\alpha = 1$ 时 $N_{\alpha} = e^H$ H 为 Shannon-Wiener 信息指数 $\alpha = 0$ 时 $N_{\alpha} = S$ 。 P_i 表示第 i 个种的多度比例 ; N_i 表示样方中第 i 个种的个体数 N 表示样方中全部种的个体数 S 表示样方内的物种数。

3 结果分析

3.1 物种多样性的时空变化

根据样地资料监测结果 ,研究区内共出现 17 种植物 ,其中乔木 1 种 ,灌木及半灌木 6 种 ,草本植物 10 种。本文以各断面试调查样方的多样性指数平均值作为该断面物种多样性的测度指标。通过对亚合甫马汗至依干布及麻 7 个监测断面多样性指数的计算分析 (图 2) ,得出如下结果 :反映物种分布均匀程度的 Alatalo 指数较低 ,变化幅度为 0.63 ~ 0.88 ,其次为反映物种丰富度的 Margalef 指数 ,变化幅度 0.38 ~ 1.17 ,再次为综合反映物种丰富度和均匀度的修正的 Simpson 指数 ,变化幅度 0.27 ~ 1.27 ;Shannon-Wiener 信息指数最高 ,变化幅度为 0.39 ~ 1.45。从图 2 可以看出 ,从 B 断面 (亚合甫马汗)至 H 断面 (依干布及麻)修正的 Simpson 指数 ,Shannon-Wiener 信息指数以及 Margalef 指数均表现出明显的下降趋势。这反映出塔里木河下游随着输水河道的延伸 ,地下水位的逐步下降 ,物种多样性、丰富度和均匀度都随之表现出与之相应的递减趋势。同时 ,这些多样性指数都具有较为明显的年际变化 ,2006 年的调查样地的多样性指数明显高于 2004 年的计算结果 ,这说明了断流河道屡次生态输水后 ,河岸植被逐步的得到了恢复。然而 ,图 2 中 2006 年多样性指数较 2005 年低 ,这可能是由于输水量多少所造成的。2005 年塔里木河下游累积输水达 $2.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右 ,而 2006 年输水量仅为 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

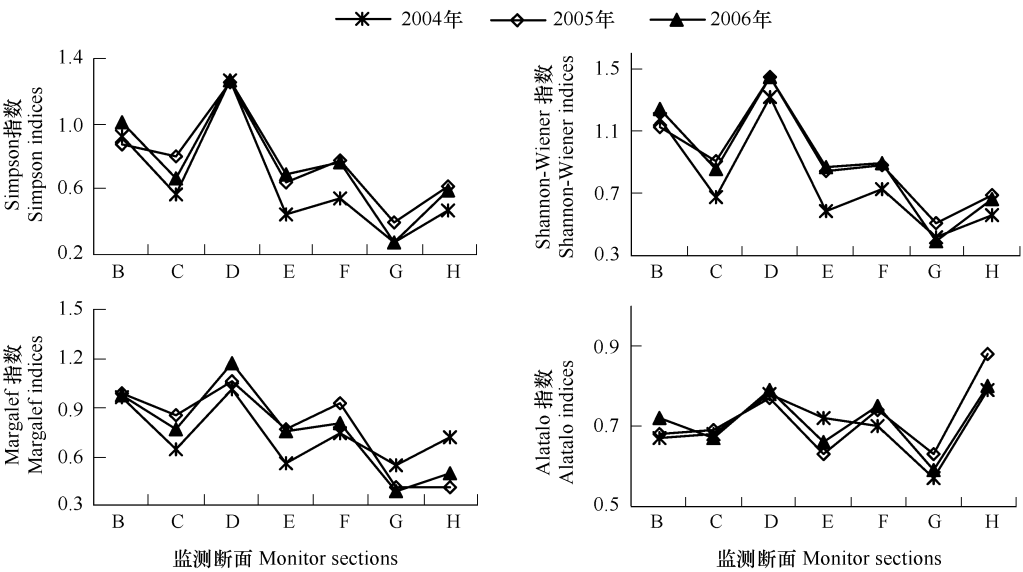


图 2 塔里木河下游多样性时空变化特征

Fig. 2 The changing trend of species diversity index in the lower reach of Tarim River

值得注意的是与修正的 Simpson 多样性指数 ,Shannon-Wiener 信息指数以及 Margalef 丰富度指数形成鲜明对照的是反映物种分布均匀程度的 Alatalo 指数 ,其空间变化差异不大 ,分布较为集中 ,同时 ,其指数变化也

未显示出沿输水河道自上而下(亚合甫马汗至依干布及麻断面)的递减趋势,而且在依干布及麻(H)断面均匀度指数远高于其它断面。这主要是因为 输水后退化植被得到了一定程度的恢复,且植被恢复的程度是沿输水河道自上而下逐步下降的,也就是说依干布及麻以上断面由于植被的部分恢复,部分丢失物种重新出现在调查样地中,打破了原有的“平衡”状态,因而使依干布及麻以上断面的物种均匀度相对有所下降^[13]。

3.2 环境梯度下多样性变化

不同地下水位梯度上,以胡杨为优势种的群落其种类组成及木本植物所占比例各不相同,主要胡杨林群落有:(1)胡杨林-柽柳-芦苇(Ass. *Populus euphratica*, *Tamarix*, *Phragmites communis*)。该群落位于地下水埋深1~4m的河岸生境,群落垂直结构可分为乔、灌、草3层,草本植物种类较为丰富,芦苇为草本优势种,在水平结构上形成芦苇与胡杨、柽柳之间的斑块镶嵌分布。(2)胡杨林-柽柳-骆驼刺(Ass. *Populus euphratica*, *Taramix*, *Alhagi spasifolia*)。该群落位于地下水埋深在4~6m的河岸生境,群落垂直结构可分为乔、灌两层;草本植物丰富度减少,零散分布,其优势种为骆驼刺、花花柴、罗布麻等。群落水平结构上表现为复合型分布,如胡杨林-柽柳、黑果枸杞群落或胡杨林-罗布麻、骆驼刺-柽柳群落。(3)盐生灌丛胡杨林(Ass. *Populus euphratica*, *Lycium ruthenicum*)或柽柳灌丛胡杨林(Ass. *Populus euphratica*, *Tamarix*)。此群落的地下水埋深约6~8m,灌木植物有柽柳(*Tamarix* spp.)、黑刺、铃铛刺等。群落垂直结构为乔、灌两层,植被长势较差,草本植物中偶见骆驼刺。(4)衰退胡杨林(Ass. *Populus euphratica*)或单一柽柳灌丛(Ass. *Tamarix*)。此类群落的地下埋深大于8m,群落结构单一,胡杨长势衰败,林下稀疏柽柳。单一柽柳群落多分布在远离河道的生境,柽柳长势衰败。

为了更清晰的刻画塔里木河下游物种多样性与地下水位之间的关系,本文引入含参数的 Hill 多样性指数,来定量的反映以地下水埋深为环境梯度的物种多样性变化(图3)。首先,以各地下水位监测井多年平均值为依据(2004~2006年,每2个月监测1次),将地下水埋深划分为2~4m、4~6m、6~8m、8~10m以及>10m,5个地下水位变化梯度,然后对每个地下水位梯度所对应的植被调查样方进行统计,植被样地调查时间为2004~2006年(每年7月份)。本文分析物种多样性变化特征时对多年调查数据取平均值,以消除可能存在人为因素所造成的误差。

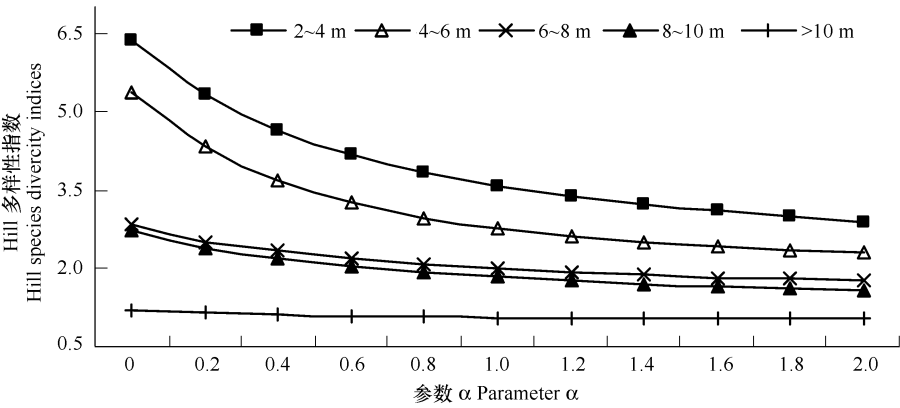


图3 塔里木河下游 α 参数统一多样性沿地下水位梯度的变化
Fig. 3 The change trend of Hill index along groundwater gradient

Hill 多样性指数的分析结果显示:以地下水埋深为环境梯度,物种多样性随着地下水埋深的增加表现出逐步降低的趋势。按多样性从高到低的顺序,相对应的地下水埋深分别为2~4m、4~6m、6~8m、8~10m和>10m。

其次,Hill 指数分析结果还显示出塔里木河下游物种多样性随地下水埋深的变化表现出了3个显著的阶段性趋势。第1个阶段性趋势为地下水埋深2~6m:在这一范围内,不同地下水位下多样性曲线的走势基本一致,而且随着参数 α 的调整多样性指数变化明显,曲线的响应较灵敏。第2个阶段性趋势为地下水埋深

6~10m :在这一范围内不同地下水位下多样性曲线的走势趋于平直化 ,且随着参数的调整 ,多样性指数变化不明显 ,曲线的响应也不灵敏。第 3 个阶段性趋势为地下水埋深 > 10m :此时 ,由于水资源的严重不足 ,植被类型也退化为单一的柽柳群落 ,其中 :主要以多枝柽柳占优势 ,间或分布有刚毛柽柳。而此时的多样性曲线变化很不明显 ,几乎成一条直线。显然 ,就多样性变化与地下水埋深的关系而言 ,地下水埋深超过 6m 时 ,塔里木河下游物种多样性开始明显锐减。根据群落类型与地下水位的关系 ,多样性的显著降低 ,主要是由于地下水位下降超过了草本植物的适宜生态水位 ,致使草本植物死亡、消失 ;同时 ,过低的地下水位也使部分半灌木和灌木也开始衰退 ,种类和数量骤减。

4 结论与讨论

(1) 塔里木河下游的天然乔、灌、草植被对水的依存性表现极为明显 ,人类社会经济活动对流域水资源时空分布的改变 ,是导致塔里木河下游植被衰败、生态退化的重要原因。塔里木河下游地区 ,至上而下从 B 断面至 H 断面随地下水埋深加大 ,物种多样性指数和丰富度指数减小、植物种类减少、群落结构趋向简单的生态系统退化态势 ,反映了水分是影响植被分布和生存的主要因素 ,地下水位不断下降和土壤含水率大大丧失是引起塔里木河下游植被退化的主导因子。对断流河道屡次生态输水后 ,物种多样性年际变化呈现增长态势 ,河岸植被逐步得到了恢复。因此 ,地下水是塔里木河下游植被生长的重要因素 ,继续实施塔里木河下游生态输水工程 ,对恢复植被、保育生态有着重要的实际意义。

(2) 与修正的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 信息指数以及 Margalef 丰富度指数变化趋势不同 ,反映物种分布均匀程度的 Alatalo 指数 ,其沿河道纵向变化趋势不是很明显。说明样地内有些物种的个体数目较多 ,有些较少 ,分布极不均匀。在极端干旱的塔里木河下游 ,用均匀度指数分析输水条件下物种多样性变化有时并不能真实的反映植被多样性状况。

(3) Hill 多样性指数分析结果表明 ,以地下水埋深 6m 和 10m 为界 ,多样性变化明显区分 3 个不同的变化阶段 ,其中地下水埋深在 6m 以下时 ,多样性锐减 ,且曲线最终趋于平直。由此判断 ,地下水埋深 6m 可能为塔里木河下游影响物种多样性的临界地下水位。

(4) 自 2000 年以来 ,已先后 8 次向塔里木河下游输水 ,河道附近的地下水位明显抬升 ,在塔里木河下游输水河道的上、中游段许多地方 ,地下水埋深抬升到了 2~4 m ,地下水位基本能够满足该地区一些耐旱乔、灌木植物的生长 ,甚至个别低洼地带呈现出长势良好的状态 ,反映生态输水对下游植被的恢复起到积极作用。然而 ,目前采取的沿河道“线形”输水方式 ,虽然对提升河道附近地下水位、拯救日益衰败的天然植被起到了积极作用 ,但难以实现胡杨、柽柳等植物的更新 ,林间沙地活化现象仍然存在 ,为此 ,应采取适当工程措施 ,逐步逐段实施河水漫溢工程 ,激活土壤种子库 ,为植物的落种更新提供条件 ,以扩大输水的生态效应 ,实现生态系统的可持续性 [14]。

以往有关塔里木河生物多样性的研究 [15,16] 主要聚焦于退化生态系统下的多样性变化以及多样性变化与地下水位的关系 ,但未能进一步反映地下水位变化梯度下多样性的响应以及影响多样性的临界地下水位。目前 ,反映物种多样性与环境关系的研究 ,多采用 β 多样性进行计算分析 [17,18] ,也有以含参数的 Hill 指数来说明多样性沿时空尺度的变化 [19]。本文采用含参数的 Hill 指数 ,结合地下水位变化梯度 ,分析地下水位对多样性的影响 ,方法简便 ,且能说明问题。由于资料和篇幅的限制 ,本文未能就塔里木河下游群落物种格局分布与植被恢复环境因子间的关系进行更深入的研究 ,同时 ,物种多样性与多维环境因子 (地下水位、土壤盐分、养分等) 间耦合关系及量化研究仍需进行大量工作。

References :

[1] Zhang J T ,Chen Y G. Plant species diversity of ShenWeiGou in GuanDiShan Mountains (ShanXi) I richness ,evenness and diversity indexes. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology 2000 6 (5) :406 -411.

[2] Wang D P ,Ji S Y ,Chen F P. A Review on species diversity of plant community. Chinese Journal of Ecology ,2001 ,20 (4) 55 -60.

[3] Zhang J T. Quantitative Ecology. Beijing : Science Press 2004.

[4] Yue M , Ren Y , Dang G D. Species diversity of higher plant communities in Foping National Reserve. Biodiversity Science ,1999 7 263 — 269.

[5] Riis T , Hawes I. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. Aquatic Botany , 2002 74 :133 — 148

[6] Uowolo A L , Binkley D , Adair E C. Plant diversity in riparian forests in northwest Colorado :Effects of time and river regulation. Forest Ecology and Management ,2005 218 :107 — 114

[7] Nagaïke T , Hayashi A , Kubo M , Takahashi K , Abe M and Arai N. Changes in plant species diversity over 5 years in Larix kaempferi plantations and abandoned coppice forests in central Japan. Forest Ecology and Management ,2006 ,236 278 — 285

[8] Alhamad M N. Ecological and species diversity of arid Mediterranean grazing land vegetation. Journal of Arid Environments ,2006 ,66 698 — 715

[9] Yuan J Y , Zhang J T , Xi Y X. Species diversity of subalpine shrub and meadow communities on Guandi Mountain , Shanxi China. Acta Prataculturae Sinica ,34 — 39.

[10] Li Y X , ShangGuan T L. Plant species diversity of woody plant communities in midpiece of Zhongtiao Mountain. Bulletin of Botanical Research , 2006 26 (2) :163 — 168.

[11] Du Q , Shen H L , Wang J H. Plant community structure and species diversity of desert steppe in Ningxia. Chinese Journal of Ecology ,2006 25 (2) 222 — 224.

[12] Liu J Z , Chen Y N , Li W H , *et al.* The process and mechanism of degradation of desert riparian vegetation. Acta Geographica Sinica ,2006 61 (9) 946 — 956.

[13] Li X M , Zhang X M. Water condition and restoration of natural vegetation in the south margin of the Taklimakan Desert. Acta Ecologica Sinica , 2003 ,23 (7) :1449 — 1453.

[14] Chen Y N , Zhang X L , Li W H , *et al.* Analysis on the ecological benefits of the steram water conveyance to the dried-up river of the lower reaches of Tarim River , China. Science in China ,2004 47 (11) :1053 — 1064.

[15] Zhang H F , Chen Y N , Li W H , *et al.* Grey incidence analysis between species diversity and groundwater level in the lower reaches of the Tarim River. Journal of Glaciology and Geocryology ,2004 26 (6) 705 — 711.

[16] Chen Y N , Zhang H F , Li W H , *et al.* Study on species diversity and the change of groundwater level in the lower reaches of Tarim River , Xinjiang , China. Advance in Earth Science ,2002 20 (2) :158 — 165.

[17] Guan W B , Ye M S , Ma K M , *et al.* The relationships between plant community species turnover rates and environmental factors in the arid valley of Minjiang River. Acta Ecologica Sinica ,2004 24 (11) 2367 — 2373.

[18] Cui B S , Zhao X S , Yang Z F , *et al.* The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica ,2006 26 (5) :1533 — 1541.

[19] Zhang J T , Chen Y G. A study on the biodiversity of plant communities in Guandi Mountain , Shanxi II ãunited diversity and ßdiversity. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition) ,2002 25 (2) :173 — 175.

参考文献：

[1] 张金屯 陈廷贵. 山西关帝山神尾沟植物群落物种多样性与环境关系的研究 I . 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 应用与环境生物学报 2000 6 (5) :406 ~ 411

[2] 汪殿蓓 暨淑仪 陈飞鹏. 植物群落物种多样性研究综述. 生态学杂志 2001 20 (4) 55 ~ 60.

[3] 张金屯. 数量生态学. 北京 科学出版社 2004.

[4] 岳明 任毅 党高弟 ,等. 佛坪自然保护区高等植物物种多样性. 生物多样性 ,1999 7 263 ~ 269.

[9] 袁建英 张金屯 席跃翔. 山西关帝山亚高山灌丛、草甸物种多样性的研究. 草业学报 2004 13 (3) 34 ~ 39.

[10] 李跃霞 上官铁梁. 中条山中段木本植物群落植物种多样性分析. 植物研究 2006 26 (2) :163 ~ 168

[11] 杜茜 沈海量 王季槐. 宁夏荒漠草原植物群落结构和物种多样性研究. 生态学杂志 2006 25 (2) 222 ~ 224

[12] 刘加珍 陈亚宁 李卫红 ,等. 荒漠河岸植被的受损过程与受损机理分析. 地理学报 2006 61 (9) 946 ~ 956.

[13] 李小明 张希明. 塔克拉玛干沙漠南缘自然植被的水分状况及其恢复. 生态学报 2003 23 (7) :1449 ~ 1453.

[15] 张宏锋 陈亚宁 李卫红 ,等. 塔里木河下游物种多样性与地下水位灰色关联分析. 冰川冻土 2004 26 (6) 705 ~ 711.

[16] 陈亚宁 张宏锋 李卫红 ,等. 新疆塔里木河下游物种多样性变化与地下水位的关系. 地球科学进展. 2002 20 (2) :158 ~ 165.

[17] 关文彬 冶民生 马克明 ,等. 混江干旱河谷植物群落物种周转速率与环境因子的关系. 生态学报 2004 24 (11) 2367 ~ 2373.

[18] 崔保山 赵欣胜 杨志峰 ,等. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应. 生态学报 2006 26 (5) :1533 ~ 1541.

[19] 张金屯 陈廷贵. 关帝山植物群落物种多样性研究 II . 统一多样性和 ß多样性. 山西大学学报 (自然科学版) 2002 25 (2) :173 ~ 175.