

# 塔里木河下游植被覆盖度变化与地下水质关系

陈永金<sup>1,2</sup>, 陈亚宁<sup>2</sup>, 刘加珍<sup>1</sup>

(1. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252059 2 中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 植被覆盖度的变化是地球内部作用与外部作用的共同结果, 但在短期内主要受人类活动的影响. 人类对自然植被覆盖度的影响最常见的就是通过对水分和水质状况的改变而影响植被覆盖度的变化. 本研究基于 2002~2007 年间塔里木河下游地下水化学特征变化的监测资料和植被覆盖度的适时监测, 探讨了植被覆盖度与地下水质之间的关系. 结果表明, 植被覆盖度在沿河道方向上, 从 A 断面的 > 80%, 下降到 I 断面的不足 10%; 在垂直河道方向上表现为距离输水河道越近植被覆盖度越高的特点; 地下水 pH 值也表现出沿河道方向从上段到下段, 从距离河道近处向距离河道远处下降的变化趋势. 回归分析发现, 胡杨覆盖度随地下水 pH 值的升高而指数增加, 柽柳覆盖度则随地下水 pH 值的增加而降低. 胡杨和柽柳与地下水质的关系是造成胡杨主要分布于距离河道近处而柽柳则分布在远离河道处的因素之一.

**关键词:** 地下水质; 覆盖度; 胡杨; 柽柳; 塔里木河

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)03-0612-06

## Correlations Between the Coverage of Vegetation and the Quality of Groundwater in the Lower Reaches of the Tarim River

CHEN Yong-jin<sup>1,2</sup>, CHEN Ya-ning<sup>2</sup>, LIU Jia-zhen<sup>1</sup>

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China 2 Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

**Abstract** The variations vegetation coverage is the result of conjunct effects of inner and outer energy of the earth, however, the human activity always makes the coverage of vegetation change a lot. Based on the monitoring data of chemistry of groundwater and the coverage of vegetation from 2002 to 2007 in the lower reaches of Tarim River, relations between vegetation coverage and groundwater chemistry were studied. It is found that vegetation coverage at Sector A was more than 80%, and decreased from sector to sector, the coverage of Sector I was less than 10%. At the same sector, samples near to water source owned high coverage index, and samples far away from the river had low coverage index. The variations of pH in groundwater expressed similar regulation to vegetation coverage, that is, Sectors near the water source had higher pH index comparing than those far away. Regression between groundwater quality and vegetation coverage disclosed that the coverage of *Populus euphratica* climbed up along with increase of pH in groundwater, change of *Tamarix ramosissima* coverage expressed an opposite trend to the *Populus euphratica* with the same environmental factors. This phenomenon can interpret spatial distribution of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* in lower reaches of the Tarim River.

**Key words** groundwater quality; vegetation coverage; *Populus euphratica*; *Tamarix ramosissima*; Tarim River

水、盐是影响植被的生理生态特征的最重要环境因子<sup>[1]</sup>. 相关研究表明, 保持较好的水质才能保证物种多样性的最大化<sup>[2]</sup>, 植被群系最大盖度与地下水矿化度具有极显著相关性<sup>[3]</sup>; 在干旱内陆盆地, 潜水矿化度对植物生长状态产生显著影响<sup>[4]</sup>, 地下水水质恶化和水位下降是造成疏勒河流域下游植被退化的主要原因<sup>[5,6]</sup>. 对梭梭柴、头状沙拐枣、盐穗木、沙枣 4 种耐盐植物进行不同矿化度水灌溉造林试验的结果是, 随着矿化度的增加, 植物成活率下降, 生长量也减少<sup>[7]</sup>, 有关胡杨的研究证实, 胡杨的生存状态不仅依赖于水源条件, 还取决于水土的盐分条件<sup>[8]</sup>. 植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标<sup>[9,10]</sup>, 植被覆盖度的变化是地球

内部作用(土壤母质、土壤类型等)与外部作用(气温、降水)的综合结果, 是区域生态系统环境变化的重要指标<sup>[11,12]</sup>.

从 20 世纪 70 年代塔里木河下游开始断流起, 沿岸植被就开始出现退化, 20 世纪末, 沿塔里木河下游河道的“绿色走廊”濒临崩溃. 从 2000 年起开始实施生态输水, 随着输水的进行, 植被出现复苏, 专家学者们对输水过程中地下水位变化与植被的关系进行了大量的研究<sup>[13~18]</sup>. 本文从地下水化学特征

收稿日期: 2009-04-11; 修订日期: 2009-07-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(90502004); 国家自然科学基金项目(40871239, 40871276, 40871059)

作者简介: 陈永金(1968~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态水文学, E-mail: yongjinch@2004@yahoo.com.cn

变化与植被覆盖度的关系入手,研究塔里木河下游断流河道两侧输水后植被覆盖度变化与地下水水质变化之间的关系,以期干旱内陆河流域生态保护和水资源合理配置提供科学参考。

## 1 研究区概况

塔里木河位于新疆南部,全长 1 321 km,是我国最长,也是世界著名的内陆河。其上游为肖夹克至英巴扎段,中游为英巴扎至卡拉水库段,下游为卡拉水库至台特玛湖。由于流域处于塔克拉玛干沙漠,气候极其干旱,水是塔河流域生态环境最敏感的因子<sup>[16]</sup>,自过去半个世纪以来,人们对土地的过度开垦和水资源的无序开发和过度浪费,使流域水资源的自然配置被严重异化,导致下游来水量急剧减少,依靠河道径流补给的地下水位日渐下降<sup>[19,20]</sup>,地下水矿化度升高,水质恶化。流域生态系统退化,下游地区的绿色走廊濒临消失的边缘。

研究区地势起伏和缓,平均海拔 825 m,主要地貌类型有冲洪积、冲积、风积和河湖积地貌<sup>[19,20]</sup>,地层结构简单,主要为第四系上更新统、全新统地层,地表岩性以砂、亚砂土和粘土为主。研究区分布有第四系孔隙水,含水层主要是粉砂,间有亚砂土和亚粘土。受沉积环境、含水层介质及补给源少等因素作用,区内潜水含水层富水性较差。由于本区干旱少雨,年降水量 40 mm,降水对地下水补给意义不大,地下水的补给主要靠河道径流和水库入渗及田间水的入渗。地下水在向下游缓慢运移过程中溶滤了河湖相地层中的盐分,使得化学组分含量沿径流方向逐渐增加,地下水水质变差,矿化度升高。

该区属于典型的暖温带大陆性干旱气候区<sup>[21]</sup>,根据铁干里克气象站的观测资料,年均气温 10.5℃,平均年降水量 17.4~42.0 mm,年潜在蒸发量 2 500~3 000 mm,沙尘暴日数 8.2 d/风沙危害严重。由于多年断流,地下水位大都下降到 8~12 m,地下水含盐量及矿化度都很高。植物区系包括亚洲中部成分、中亚成分、古地中海成分和少量泛热带成分<sup>[21]</sup>,主要植物有胡杨(*Populus euphratica*)、怪柳(*Tamarix ramosissima*)、黑刺(*Lycium ruthenicum*)、铃铛刺(*Halimolobos halimolobos*)、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。

为了保护塔里木河下游河道两侧植物群落,保护绿色走廊生态系统,自 2000 年开始从博斯腾湖开

始调水到大西海子水库,然后向下游的齐文阔勒河道输水,2003 年,实施了通过齐文阔勒河和塔里木河双河道输水。

## 2 数据采集与分析

沿输水河道设置了 9 监测断面(A~I),见图 1,用于监测生态输水后地下水位、水质以及植被的响应,在每个监测断面分别设置了 3~8 眼监测井,共计 40 眼监测井。对每眼监测井进行定期的地下水埋深和地下水采样测定,其测定方法为导线法,同时采集地下水水样,水样采集后当场密封,送入实验室进行化学分析。内容包括:矿化度、pH 值、总碱度、总硬度、电导率、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 等 13 项指标。本研究主要用到地下水 pH 值指标, pH 用 HHS-2C 型数字式酸度计测定,根据现场测定与室内分析存在一定差异,实验室分析的结果高于现场近 5%,将实验室分析的结果做了相应的调整,以更好地反映真实情况。

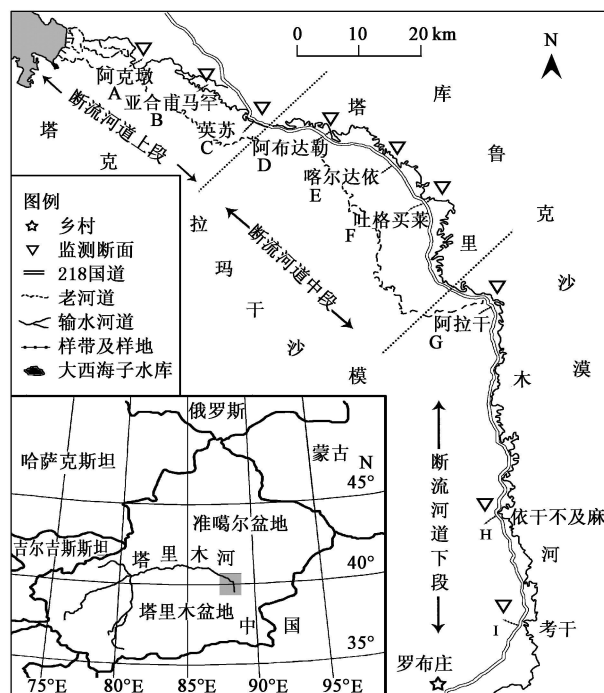


图 1 塔里木河下游植物样地与地下水监测井布设示意

Fig 1 Distributions of transects and investigating sections in the lower reaches of the Tarim River

同时,在每个断面每一监测井附近设置了植物调查样地。因各断面植被长势不同,设置样地的大小有所差异,其中,5 m × 5 m 的样地布设于草本群落的段面;30 m × 30 m 的样地布设在植被生长稀疏或基本无草本植物的段面,以 15 m 为间隔设置 4 个 15 m ×

15 m 的乔灌木样方; 50 m × 50 m 的样地布设在乔、灌、草植被都占一定比例的段面, 以 25 m 为间隔设置 4 个 25 m × 25 m 的乔灌木样方, 样方内设置 5 m × 5 m 的草本样方. 分别记录每个样方中的种类组成、植被盖度、个体数目、株高、冠幅、乔木胸径等指标.

塔里木河下游生态输水开始于 2000 年, 然而, 直到 2002 年才影响到整个下游和对植被产生积极作用. 本研究所采用的数据资料取自 2002 ~ 2007 年.

### 3 结果与分析

#### 3.1 植被覆盖度的变化

##### 3.1.1 植被覆盖度的时间变化

图 2 是塔里木河下游英苏断面的 C3 样地、阿布达勒的 D1 样地和阿拉干的 G6 样地植被覆盖度的变化情况. 总体看, 植被覆盖度有逐渐增加的态势, 如阿布达勒的 D1 样地, 2002 年的植被覆盖度是 11.1%, 2003 年增长到 29.34%, 2004 年突然猛增到 47.28%, 2005 年到 2007 年分别是 30.63%、26.38% 和 31.36%. 不论英苏断面还是阿布达勒断面, 2004 年的植被覆盖度都是最大的, 阿拉干断面的 G6 样地的植被盖度的最高值出现在 2005 年. 2004 年植被覆盖度值最大的原因是平均一年一次的输水, 每次输水量都在  $1 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 而 2003 年实施的 2 次输水历时半年多, 输水量达到  $6.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 而且第 2 次输水从 2003 年 8 月持续到 11 月, 秋冬季节水分蒸发损耗减少, 大部分都补充到地下, 抬升了地下水位, 从而使得 2004 年的植被有了非常显著的变化. 阿拉干断面距离河道 1 200 m 处的 G6 样地, 由于远离河道, 而且阿拉干断面本来就处在塔里木河下游的下段, 从大西海子水

库放下来的水, 一路下渗、蒸发蒸腾等的损耗, 到达阿拉干断面后河流流量就已经很小, 而 G6 监测井更难以受到稀有水分的补给, 因此, 2002 年和 2003 年植被覆盖度的变化非常微弱, 2003 年实施双河道输水后, G6 样地比较接近塔里木河老河道, 故受影响比较明显, 覆盖度的增加幅度加大. 因此对输水的响应更迟缓, 直到 2005 年才对高强度的输水做出积极响应.

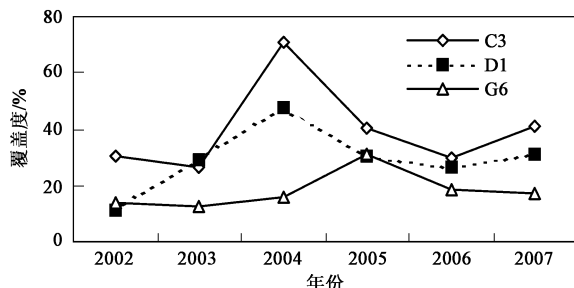


图 2 塔里木河下游不同断面植被覆盖度的年度变化

Fig 2 Annual changes of vegetation coverage in different sectors in the lower reaches of the Tarim River

##### 3.1.2 植被覆盖度的空间变化

塔里木河下游植被总覆盖度在 9 个监测断面呈现依次降低的规律, 距离输水水源地较近的阿克墩和亚合甫马罕断面植被总覆盖度 80% 以上, 是输水的最大受益区. 而距离大西海子水库最远的依干布及麻和考干 2 个断面植被覆盖度在 20% 以下, 生态环境依然十分恶劣. 乔木和草本植物的覆盖度与总覆盖度的空间分布格局相似, 灌木类植被的盖度阿克墩和吐格买莱断面之间有增加的趋势 [图 3 (a)]. 选取阿布达勒断面为例说明植被覆盖度在垂直河道方向上的变化特点, 从图 3 (b) 可以看出, 距离输水河道愈近, 植被的覆盖度愈高, 符合水分变化

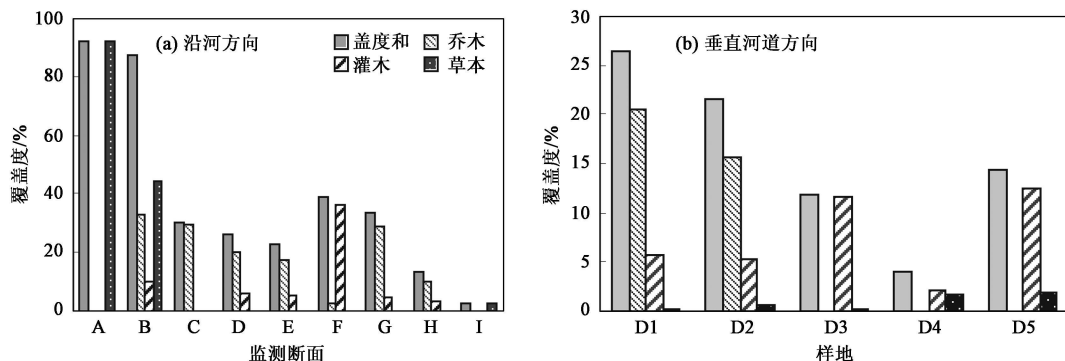


图 3 塔里木河下游植被覆盖度沿河道方向和垂直河道方向的变化

Fig 3 Variations in vegetation coverage along the river and upright the river in the lower reaches of Tarim River

的梯度规律,以胡杨为主的乔木仅在 D1和 D2样地有分布,更远处的样地只有灌木和草本,灌木的分布特点与总覆盖度相反,愈远处覆盖度愈高.

3.2 地下水 pH 值变化

表 1是 2002年到 2007年塔里木河下游 9个监测断面 pH 均值的变化,从中可以看出,沿河道方向,

地下水 pH 值基本呈下降变化,较靠前的断面的地下水 pH 值高于接近尾端的断面.在同一断面距离输水河道远近不同 pH 值也有明显差异,表 1列出了英苏断面 C1~ C7(距离输水河道 50~ 1 050 m ) 2006年地水平均 pH 值,从中不难发现,距离输水河道越近,地下水中 pH 值越高,越远越低.

表 1 塔里木河下游地下水 pH 值沿河道方向和垂直河道方向的变化  
Table 1 Vertical and transverse variations on pH in groundwater at the lowerTarin River

| 断面   |      |      |      |      |      |      |      |     | 样井   |    |      |      |     |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|------|------|-----|------|------|
| A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I   | C1   | C2 | C3   | C4   | C5  | C6   | C7   |
| 7.46 | 7.72 | 7.71 | 7.57 | 7.52 | 7.56 | 7.61 | 7.51 | 7.2 | 8.56 | —  | 8.12 | 8.04 | 7.9 | 7.84 | 7.67 |

3.3 植被覆盖度与地下水质的关系

图 4(a)是英苏断面距离河道 50 m 处的 C2植物样地调查所得的 2002~ 2007年植被覆盖度和 C2井地下水中 pH 值的情况.从图 4(a)可以看到,除了开始的 2002 年外,地下水水质与植被覆盖度的变化趋势十分吻合,植被覆盖度随着地下水中 pH 值的升降而变化;阿布达勒断面距离河道 50 m 处植物样地

的植被覆盖度与地下水中 pH 值的年度变化曲线,从图 4(b)可以看出它们在走势上基本一致,说明植被盖度变化与地下水中 pH 的变化具有较密切的关系;图 4(c)是喀尔达伊断面试植被覆盖度与地下水 pH 值变化曲线图,从中可以看出,除了 2002 年以外,它们的走势基本一致;阿拉干断面 G6样地植被覆盖度依然与地下水 pH 值变化方向相同[图 4(d)].

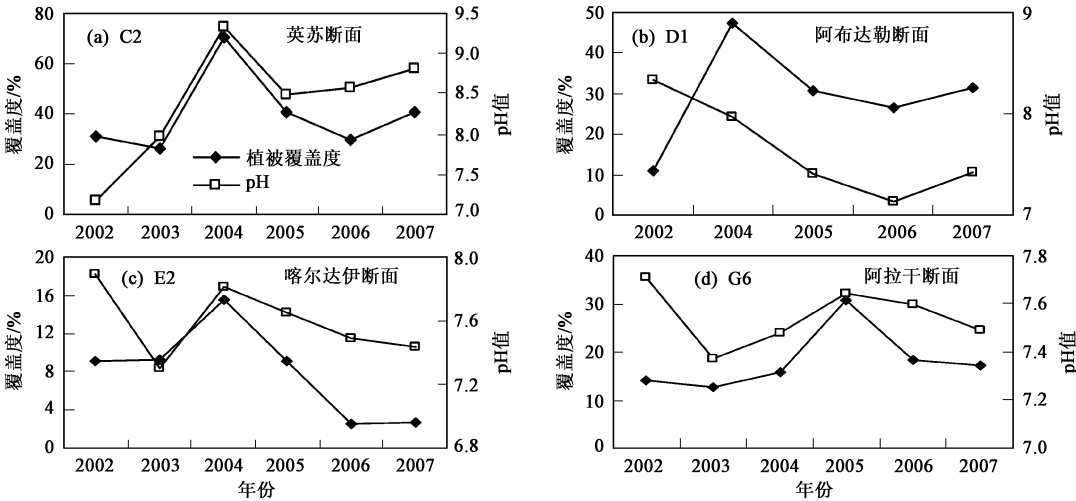


图 4 塔里木河下游地下水 pH 值与植被盖度的关系  
Fig 4 Correlations between groundwater pH and vegetation coverage in the lowerTarin River

以上 4个植物样地都是处于距离河道较近的地方 (G6距离老塔里木河较近, 2003年开始也从该河道输水),在植物组成上以胡杨占绝对优势,同时兼有少量柽柳分布.这可能说明,胡杨与地下水 pH 之间具有某种关系.基于这种假设,本研究把塔里木河下游胡杨、柽柳和草本植物覆盖度分别与地下水 pH 值进行拟合,结果表明:胡杨的覆盖度与 pH 值之间的关系符合二次多项式模型(图 5),随着地下水 pH 值的增加,胡杨覆盖度呈显著上升态势;而柽柳则相

反,随着地下水 pH 值的增加,柽柳覆盖度呈指数降低,其模型为:

$$C_b = 440\,884e^{-1.5202W_p}$$
$$(R^2 = 0.2358 \quad p < 0.001)$$

式中,  $C_b$  为柽柳的覆盖度 (%),  $W_p$  为地下水 pH 值;草本植物覆盖度与地下水 pH 值没有显著相关性.

通过对地下水 pH 值与作为乔木的胡杨以及以柽柳为代表的灌木覆盖度关系的统计分析,可以解

释为何依干布及麻断面植被覆盖度与地下水 pH 值变化趋势不一致,在塔里木河下游越靠近上段的断面胡杨的分布越广泛和密集,越靠近尾段的地段植被覆盖度越低,尤其是胡杨越少,考干断面则没有胡杨分布。在阿拉干断面是由于齐文阔勒河和老塔里木河的交汇处,双河道输水使生态受益面积更广。

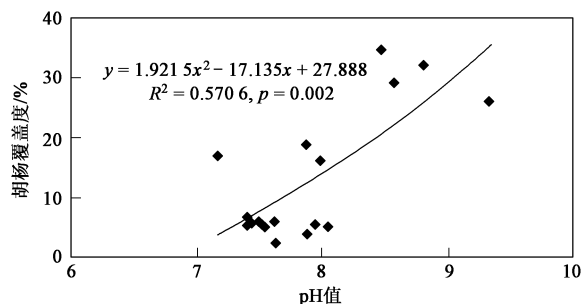


图 5 塔里木河下游胡杨覆盖度与地下水 pH 关系拟合

Fig 5 Curve estimation of the relations between the coverage of *Populus euphratic* and groundwater pH

#### 4 讨论

干旱区植被一般都具有抗干旱耐盐碱的特征,一些学者研究了柽柳属植物中与耐盐有关的形态学适应特征,泌盐适应机理包括盐腺的结构、发育、分泌离子种类以及保护性物质等,将柽柳划为盐生植物<sup>[22~24]</sup>。陈少良和张霞等<sup>[25,26]</sup>就胡杨与内地普通杨树进行了耐盐、抗盐的对比试验,郗金标和吴平等<sup>[27,28]</sup>将胡杨列为盐生植物。

胡杨是塔里木河下游荒漠河岸林的建群种,也是干旱区唯一成林的乔木树种,塔里木河地区是世界胡杨林分布面积最大的地区,胡杨的生长状况决定着塔里木河下游绿色走廊的稳定与否。柽柳是塔里木河下游地区最重要的灌木植物,也是研究区分布最广的物种。实地勘查调查发现胡和柽柳虽然同属盐生植物,但它们的生态位重叠较少,在距离河道 250 m 以内的范围主要以胡杨为主,而且胡杨林下很少有柽柳分布;柽柳的分布范围则从胡杨的外围一直向荒漠区延伸。通过把植被覆盖度与地下水 pH 值进行相关分析和回归分析表明,胡杨具有对碱性水土生境较高适应性的特点,而柽柳则相反。这说明胡杨和柽柳虽然同属盐生植物中的泌盐类,但它们的小生境还是有明显差别的,而它们与地下水 pH 值之间的不同关系是造成它们目前空间分布格局的主要因素之一。

本研究讨论分析了植被覆盖度与地下水水质之间

的关系,但并不否认植被覆盖度与地下水位的关系,实际上,胡杨覆盖度与地下水 pH 值之间拟合方程的  $R^2$  仅为 0.5 多一点,说明了还有别的因子在起作用,毋庸置疑,这个因子应该是地下水位,但限于篇幅,植被覆盖度与地下水位的关系没有讨论。

#### 5 结论

(1)在生态输水影响下,塔里木河下游以胡杨和柽柳为主的植被覆盖度呈增加变化。

(2)胡杨覆盖度的变化与地下水 pH 值之间表现出明显的同步性,柽柳的覆盖度则随着地下水 pH 值的增加而降低,草本植物与地下水水质之间未表现出明显相关性。

(3)胡杨、柽柳与地下水质的关系是造成这 2 种植物在塔里木河下游空间分别格局的主要原因之一。

(4)胡杨盖度与地下水 pH 之间呈现正相关关系,表明胡杨不仅耐盐碱,而且尤其喜欢在地下水碱性较强的环境生存,这将对胡杨群落的维护和人工抚育更新起到积极意义。

#### 参考文献:

- [1] Murgai R, Ali M, Byerlee D. Productivity growth and sustainability in post-green revolution agriculture: the case for the Indian and Pakistan Punjab [J]. World Bank Res Observ, 2001, 16: 199-218.
- [2] Cárdenas S, Casado C, Bemues M, et al. Ecological study of Las Tablas De Daimiel National Park (Ciudad Real, Central Spain): Differences in water physico-chemistry and vegetation between 1974 and 1989 [J]. Biological Conservation, 1996, 75: 211-215.
- [3] 莫治新,尹林克.塔里木河中下游不同植被群系下土壤盐分及地下水特征研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19 (1): 163-166.
- [4] 张长春,邵景力,李慈君,等.内陆干旱半干旱区盆地地下水生态环境指标研究 [J]. 湘潭矿业学院学报, 2003, 18 (1): 24-27.
- [5] 王昭,陈德华.疏勒河流域水资源开发及其对生态环境的影响 [J]. 地球学报, 2002, 23 (B03): 14-17.
- [6] 马兴华,王桑.甘肃疏勒河流域植被退化与地下水位及矿化度的关系 [J]. 甘肃林业科技, 2005, 30 (2): 53-54.
- [7] 李红忠,李生宇,雷加强,等.塔克拉玛干沙漠不同矿化度水灌溉造林试验研究 [J]. 干旱区地理, 2005, 28 (3): 305-310.
- [8] 朱朝阳,张玲,于军.塔里木河胡杨林生境特性及其治理措施 [J]. 新疆环境保护, 2000, 22 (2): 101-104.
- [9] Dodd G L, Donovan L A. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs [J]. American Journal of Botany, 1999, 86 (8): 1146-1153.
- [10] Dodd G L, Donovan L A. Water potential and ionic effects on

- germination and seeding growth of two cold desert shrubs [ J]. American Journal of Botany, 1999, **86**( 8): 1146-1153
- [ 11] 潘耀忠,李晓兵,何春阳. 中国土地覆盖综合分类研究: 基于 NOAA/AVHRR 和 Holdridge PE [ J]. 第四纪研究, 2000, **20**( 3): 170-281.
- [ 12] 程皓,李霞,侯平,等. 塔里木河下游不同覆盖度灌木防风固沙功能野外观测研究 [ J]. 中国沙漠, 2007, **27**( 6): 1022-1026
- [ 13] Chen Y N, Zhang X L, Zhu X M, *et al* Analysis on the ecological benefits of the stream water conveyance to the dried-up river of the lower reaches of Tarim River[ J]. China Science in China Set D( Earth Sciences), 2004, **47**( 11): 1053-1064.
- [ 14] 陈亚宁,李卫红,徐海量,等. 塔里木河下游地下水位对植被的影响[ J]. 地理学报, 2003, **58**( 4): 542-549
- [ 15] 张元明,陈亚宁. 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
- [ 16] 徐海量,叶茂,李吉玫. 塔里木河下游输水后地下水动态变化及天然植被的生态响应[ J]. 自然科学进展, 2007, **17**( 4): 460-470.
- [ 17] 陈永金,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河下游输水条件下浅层地下水化学特征变化与合理生态水位探讨[ J]. 自然科学进展, 2006, **16**( 9): 1130-1137
- [ 18] 叶朝霞,陈亚宁,李卫红. 基于生态水文过程的塔里木河下游植被生态需水量研究[ J]. 地理学报, 2007, **62**( 5): 451-461
- [ 19] 陈亚宁,张小雷,祝向民. 新疆塔里木河下游河道输水的生态效应分析[ J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 2004, **34**( 5): 475-482
- [ 20] 海米提·依米提,杨川德. 塔里木河流域水资源、环境与管理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 84-91
- [ 21] 刘培君,朱峰. 塔里木河两岸的自然地理条件 [ A]. 见: 塔里木河两岸资源与环境遥感研究 [ C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990. 13-16.
- [ 22] 李芊. 新疆柽柳属植物抗盐机理研究 [ D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2002
- [ 23] 武金华. 盐胁迫下紫杆柽柳 cDNA 文库构建及表达序列标签 (EST)分析 [ D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004
- [ 24] 张文军,玉井重信,矢部胜彦,等. 利用柽柳改良盐碱地土壤的机制与措施初报 [ J]. 内蒙古林业科技, 2003 ( 4): 3-7
- [ 25] 陈少良. 胡杨抗盐性的生理生化基础 [ M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [ 26] 张霞,曾幼玲,李金耀,等. 胡杨的耐盐性 [ J]. 植物生理学通讯, 2006, **42**( 6): 1190-1194
- [ 27] 吴平,赵健,王文丽,等. 额济纳绿洲胡杨生物生态学特性的调查 [ J]. 内蒙古草业, 2005, **17**( 3): 4-6
- [ 28] 郝金标,张福锁,陈阳,等. 新疆绿化观赏盐生植物及其利用潜力分析 [ J]. 中国野生植物资源, 2004, **23**( 5): 17-20.