

新疆塔里木河下游断流河道输水与生态恢复

陈亚宁 李卫红 陈亚鹏 徐长春 张丽华

(中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011)

摘要 结合塔里木河下游输水过程中对 9 个地下水监测断面、18 个植被样地的实地监测资料,分析了塔里木河下游输水条件下的浅层地下水位变化和天然植被的响应和恢复情况。研究结果表明,塔里木河下游输水有效地抬升了河道两侧的地下水位由输水前的 6~8m 抬升到了 2~4m。在横向上,地下水位对输水的响应范围达到 850m,胡杨和柽柳对地下水位变化的响应范围分别达到 700 和 600m,但对草本植物的影响范围较窄,林间沙地活化现象仍未得到遏制。提出为扩大输水的生态效应和加快受损生态系统的恢复重建,应在目前沿自然河道“线型”输水的基础上,分段实施河水漫溢的面上供水方案,并通过加强流域水管理、推广农业节水技术和加大河道整治力度等措施,来确保塔里木河下游一定的生态用水量。

关键词 断流河道,生态输水,生态恢复,塔里木河

文章编号:1000-0933(2007)02-0538-08 中图分类号:P343,P941.77,Q146,X171 文献标识码:A

Water conveyance in dried-up riverway and ecological restoration in the lower reaches of Tarim River, China

CHEN Ya-Ning, LI Wei-Hong, CHEN Ya-Peng, XU Chang-Chun, ZHANG Li-Hua

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

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(2): 0538~0545.

Abstract: Based on the field data of groundwater table at nine sections and plants in eighteen sample plots, this paper analyses the change of groundwater table and the response and restoration of natural vegetation under the condition of water conveyance in the lower reaches of Tarim River. Results show that the water conveyance effectively lifted the groundwater table on both sides of riverway from 6—8m to 2—4m. In transverse direction the change of groundwater table responding to water conveyance reached as far as 850m, and affected *Populus euphratica* and *Tamarix L.* to 700m and 600m, respectively. However, the range of affected herbaceous plant was relatively close. The desertification process between forests has not been stopped. In order to maximize ecological benefits of water conveyance and accelerate the restoration of damaged ecology, it has been suggested that surface water conveyance be carried out by subsections in addition to the present practice of "linear watering" in natural riverway. Improving water management of the river basin, promoting the water-saving agricultural techniques, and augmenting the maintenance of riverway are among the measures useful to ensure the water supply for ecological restoration in the lower reaches of Tarim River.

Key Words: dried-up riverway; ecological water conveyance; ecological restoration; Tarim River

基金项目:中国科学院知识创新资助项目(KZCX2-XB2-03);国家自然科学基金资助项目(90502004,30500081)

收稿日期:2006-03-08;修订日期:2006-21-31

作者简介:陈亚宁(1958~),男,新疆人,博士,研究员,主要从事环境与生态学研究。E-mail:chenyn@ms.xjb.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KZCX2-XB2-03) and the National Natural Science Foundation of China (No. 90502004, 30500081)

Received date 2006-03-08; **Accepted date** 2006-12-31

Biography: CHEN Ya-Ning, Ph. D., Professor, mainly engaged in environment and ecology. E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

干旱区内陆河流的生态保育恢复是当前社会各界关注的热点问题,不少学者对此进行过研究,探讨干旱区生物过程和生态系统稳定性,分析地下水变化对天然植物生长发育的影响,讨论植物生命活动的主要限制因子^[1~5],此外,还有一些学者对河流生态恢复提出了标准^[6],这些研究为分析塔里木河流域的生态退化与恢复提供了重要借鉴。塔里木河地处我国西北干旱区新疆,全长 1321 km,是我国最长的内陆河,也是世界著名的内陆河之一,具有自然资源丰富和生态环境脆弱双重性特点,以其鲜明的地域特色和突出的水资源与生态问题著称于世。近 50 a 来,塔里木河在以水资源开发利用为核心的大强度人类经济、社会活动的作用下,流域自然生态过程发生了显著变化,水资源开发过程中的经济与生态的矛盾日趋突出。特别是塔里木河下游以天然植被为主体的生态系统和生态过程因人为对自然水资源时空格局的改变而受到严重影响,生态环境严重退化,河道断流,湖泊干涸,地下水位大幅度下降,以胡杨林为主体的荒漠植被全面衰败,沙漠化过程加剧,面积扩大,生物多样性严重受损,浮尘、沙尘暴灾害性天气增加,成为塔里木河流域最严重的生态灾难区。国内外专家多次发出“拯救塔里木河下游绿色走廊”的呼吁,众多学者也纷纷从不同角度分析塔里木河水资源变化及消长过程,研究水资源开发过程中的经济与生态的关系,探讨生态退化与保护对策^[7~9],国家把塔里木河流域的综合治理列入“十五”计划进行综合治理,中国科学院把塔里木河生态环境建设纳入中国科学院西部行动计划,新疆人民政府针对塔里木河下游日趋严峻的生态与环境问题,于 2000 年开始实施紧急向塔里木河下游输水工程,以挽救塔里木河下游濒临消亡“绿色走廊”。本文结合近几年塔里木河下游生态输水过程及其监测资料的研究,针对断流河道间歇性输水对浅层地下水、地表天然植被的影响以及维系塔里木河下游生态安全的最低需水量等科学问题进行分析,提出塔里木河下游断流河道输水与生态恢复的具体建议,旨在为塔里木河下游生态环境保育、拯救“绿色走廊”提供科学依据。

2 研究区梗概与资料采集

2.1 研究区梗概

塔里木河流域是环塔里木盆地的阿克苏河、和田河、叶尔羌河、车尔臣河、克里亚河、迪纳河、喀什噶尔河、开都河—孔雀河、渭干河等九大水系 114 条河流的总称,流域面积为 $102 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。从水文学角度讲,塔里木河流域是一个封闭的集水区,是一个在空间上靠近中国最大沙漠—塔克拉玛干沙漠的独特的淡水生态系统。塔里木河干流自身不产流,目前主要靠阿克苏河、和田河、叶尔羌河三大源流与此有地表水利联系。其中,和田河只在每年的 7~9 月份洪水期才有水量进入塔里木河,叶尔羌河 1986 年至 2002 年 17 a 中,仅有 1 a (1994 年)在洪水期有水补给塔里木河,其余 16 a 均无水输入塔里木河干流。在汇入塔里木河干流的三源流中,阿克苏河是塔里木河干流水量的主要补给来源,补给量占 73.2%,和田河为 23.2%,叶尔羌河只占 3.6%^[10]。

研究区位于塔里木河下游的大西海子水库至台特玛湖(图 1),地处塔克拉玛干沙漠和库鲁克沙漠之间。该地区属大陆性暖温带荒漠干旱气候,气候干燥,多风沙天气,平均年降水量在 17.4~42.0 mm 之间,而平均年蒸发力高达 2500~3000 mm。1972 年大西海子水库的建成,拦截了塔里木河,致使其下游 321 km 河道断流,加之区域降水量稀少,无地表径流补给,地下水位随之大幅度下降,英苏以下水位大都下降到 8~12 m,由地下水维系的植被群落出现严重退化,以芦苇、罗布麻、骆驼刺等为主的草本植物大片死亡,柽柳、胡杨大面积衰败,风蚀沙化加剧,土地荒漠化过程加强。

2.2 资料采集

针对塔里木河下游输水可能产生的生态效应,沿塔里木河下游输水河道——齐文阔尔河建立地下水监测断面 9 个(图 1),每个断面间距约 20 km,由大西海子水库以下,分别是阿克墩(A)、亚合甫马汗(B)、英苏(C)、阿布达勒(D)、喀尔达依(E)、吐格买莱(F)以及阿拉干(G)、依干不及麻(H)和考干(I)等 9 个断面。其中,后 3 个断面的间距为 45 km,并在断面上,横向布设地下水监测井 40 眼(井深在 8~17 m),监测输水过程中地下水位、水盐动态变化,建立植物样地 18 个,样方 55 个,了解天然植被分布状况,监测输水前后天然植被的响应过程,进行了连续的实时监测和采样分析。

3 结果分析

塔里木河下游生态输水工程于 2000 年 5 月开始启动。河水主要来自我国最大内陆淡水湖博斯腾湖。从

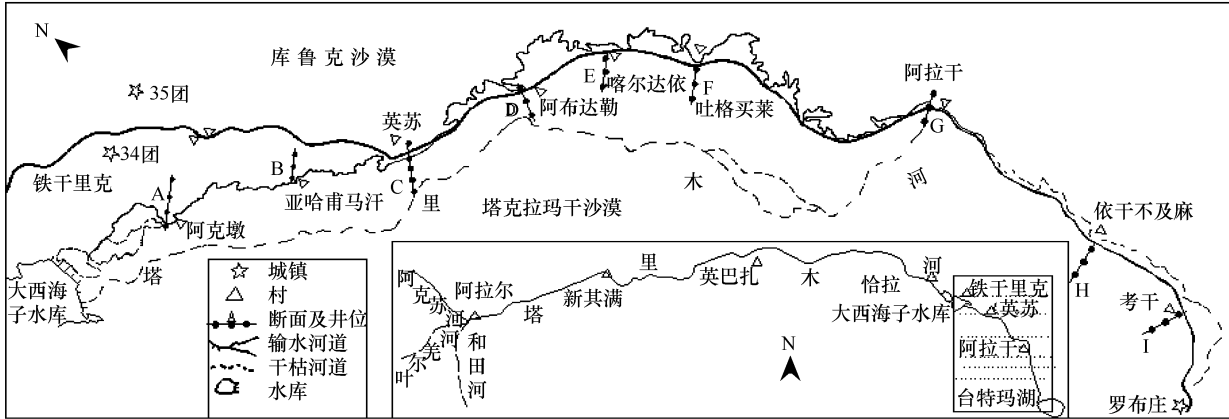


图1 塔里木河下游生态输水监测断面布局

Fig. 1 Sketch map of water delivery waterway and monitoring sections

博斯腾湖调水至大西海子水库,然后,由大西海子水库集中沿塔里木河下游大支流——齐文阔尔河自然河道下泄。

3.1 生态输水与浅层地下水位抬升

塔里木河下游生态输水目前采取的输水方案是沿自然河道呈线性输水过程,目的是通过向断流河道输水,补给和抬升河道附近的浅层地下水,使其升高至天然植被适合生长的范围,以挽救日益衰败的天然植被,保护“绿色走廊”,恢复和重建塔里木河下游严重退化的生态系统。

分析塔里木河下游输水对地下水位的影响表明,地下水位抬升与输水过程、输水量密切相关。图2是塔里木河下游中段英苏断面(距河道150m处观测井)的地下水位变化过程线,I、II、III、IV分别为第1、2、3、4次输水起始时间,由图2可见,地下水位随输水次数增加,而呈不断上升趋势。在4次输水过程中,地下水位分别由输水前的9.87m升高到第1次输水后的7.74m、第2次的3.79m、第3次输水的3.61m和3.16m以及第4次输水的2.66m,升幅分别是21.6%、66.4%、34%和42.3%以及55.74%(表1)。其中,第2次和第4次的升幅最大。究其原因,主要有两个方面:一是与输水量和输水持续时间的长短有关。分析4次输水过程可见(表1)塔里木河下游的4次输水过程中,有3次(第2次、第4次和第3次输水的第2阶段)的日均输水量超过 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中,第2次、第4次输水持续时间超过100d,输水总量都在 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。所以,第2次和第4次输水对地下水位影响最大,第3次输水的第2阶段持续时间短,仅67d,输水量不足 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$,因而对地下水的影响比前者小。二是与输水季节有关。比较第2和第4次输水持续时间和输水量发现,前者均小于后者,然而,前者的地下水抬升幅度却大于后者,这是因为第2次输水主要发生在冬季(2001年11月3日~2月14日),气温已降至零度以下。在输水过程中,河面蒸发损失少,绝大部分河水下渗补给了浅层地下水。

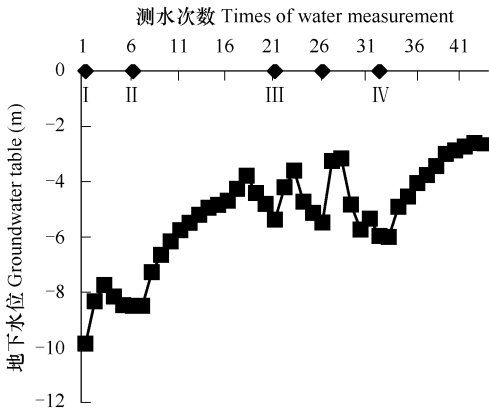


图2 塔里木河下游输水与地下水位变化

Fig. 2 Process of water delivery and groundwater tables in the lower reaches of Tarim River

I、II、III、IV 分别为第1、2、3、4次输水时间 I、II、III、IV is the 1st, 2nd, 3rd, and 4th times for water delivery, respectively

表 1 塔里木河下游输水与地下水位抬升

Table1 The relationship between water delivery and the groundwater table

项目 Itme	输水次数 Times of water delivery				
	第 1 次 First	第 2 次 Second	第 3 次 Third		第 4 次 Fourth
			第 1 阶段 First phase	第 2 阶段 Second phase	
地下水位抬升量 (m)	2.31	4.71	1.77	2.32	3.45
Lifting amount of groundwater table					
地下水位抬升幅度 (%)	21.6	66.4	34	42.3	55.4
Lifting percentage of groundwater table					
输水持续时间 (d)	61	104	97	67	110
Duration of water delivery					
日均输水量 ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	162.02	211.54	189.68	294.03	266.37
Daily mean water delivery volume					

分析塔里木河下游输水对地下水位的影响范围表明,在纵向上,浅层地下水对河道输水的响应程度,由河道上游至下游呈明显减弱态势。表现为愈靠近上游输水水源——大西海子水库,地下水抬升幅度愈大。随着远离输水水源,地下水位的抬升幅度依次减小。如距大西海子水库 20km 的第一断面(阿克墩)4 次输水均经过该断面,输水历时长,地下水位抬升幅度最大,达 84%,而下游第九断面,仅受到第 3、第 4 次两次输水的影响,抬升幅度仅为 6%;在横向上,对输水河段两侧的地下水位横向响应范围监测表明,随着输水次数的增加,地下水位的响应范围逐渐扩大,由第 1 次输水的 450m 增加到第 4 次输水的 850 m (图 3),但地下水位的抬升幅度随远离输水河槽中轴线而减小。在距河道 150m 范围内,浅层地下水位的抬升达 5m 以上,对河道输水响应较为敏感,输水过程中的地下水位抬升和输水停止后地

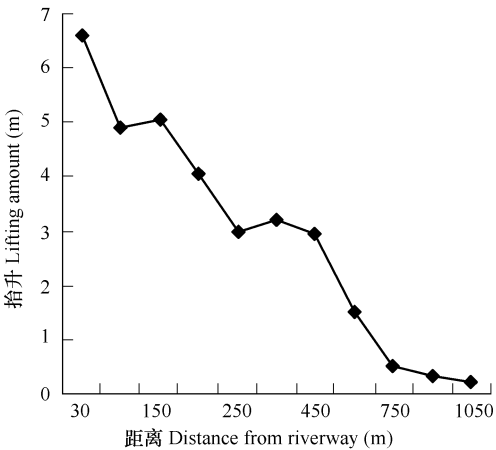


图 3 塔里木河下游输水与地下水位横向变化

Fig. 3 Water delivery and the transverse change of the groundwater table in the lower reaches of Tarim River

下水位回落过程都十分明显,150~450m 范围内的地下水响应程度不如前者敏感,但地下水位随着第 2、第 3 和第 4 次输水,仍然呈逐级抬升过程,在 850 m 范围外,地下水位仅受到第 4 次输水影响,并且影响甚微,水位抬升幅度也很小。

3.2 生态输水与天然植被恢复

塔里木河下游以荒漠河岸林为主体的植物具有伴河生长的特征,输水前,地下水埋深接近植物的死亡深度或抑制生长的深度,使植物群落严重衰败;输水后,距河道 300m 范围内,由于地下水位上升到了适宜的深度,此范围内植物群落得到迅速恢复^[1]。在输水前后,植物的生长状况则与地下水位变化密切联系着(表 2)。横向上,随着远离河道主轴线和浅层地下水埋深加大,植物种类减少和趋于简单,植物主要分布在距离河岸 500m 范围内,而随着远离河道一些浅根系物种纷纷消失,在距离河岸 800~1000m 的地方,只有胡杨、怪柳和少量黑刺、骆驼刺等植物生长;纵向上,由塔里木河下游阿克墩至依干不及麻,表现为,愈向下游,随地下水位不断下降,植被盖度、密度、丰富度减少(图 4),物种多样性指数降低,群落结构愈趋向简单,生态系统退化加重,这种情形反映了塔里木河下游天然植被对地下水和土壤水的依赖以及干旱区水分胁迫对物种多样性及生态系统的强烈影响。

通过实施向塔里木河下游生态输水工程,河道附近的浅层地下水位得到抬升,并且,随着地下水位的回升,输水河道附近的天然植被表现出明显响应。输水河道沿岸一些草本植被,如甘草、骆驼刺、罗布麻、芦苇、

猪毛菜、鹿角草、花花柴等又重新成片地出现在一些地区。而一些耐旱的乔、灌木随着地下水位升至其生长的适宜水位,长势也得以重新恢复,特别是塔里木河下游的主要建群种胡杨响应明显,最突出的表现是胡杨的冠幅和郁闭度呈显增加态势,而且对输水后的响应范围达 700m 左右,其中在 400m 范围的响应较敏感。怪柳的响应范围约在 600m 左右,其中在 250m 范围响应较敏感。由此也反映了胡杨与怪柳根系的埋深和抗旱能力。

表 2 不同立地输水前后 (2001 年与 2005 年)主要植物种类组成调查统计表

植物名称 Species	距离河道 Distance from riverway											
	100m		200m		300m		500m		800m		1000m	
	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
怪柳 <i>Tamarix. sp.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		+		
罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		+		
铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>		+	+	+	+	+	+	+		+		
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	+	+	+	+	+	+						
花花柴 <i>Karelinia caspica</i>	+	+		+						+		
沙枣 <i>Elaeagnus angustifolia</i>		+				+						
河西苣 <i>Hexinia polydichotoma</i>		+								+		
藜子朴 <i>Inula salsoloides</i>		+										
小獐茅 <i>Aeluropus pungens</i>		+										
蒲公英 <i>Taraxacum sp.</i>		+										

从效应物角度看,不同植物由于对地下水的生长要求深度不一样,因而,不同植被受水分胁迫的忍耐程度及其反应也不同。在草本植物中,芦苇的各项叶特征指标对地下水位变化反应敏感,各样地平均数差异显著,反应敏感区横向范围约在 150 ~ 250 m 区间,在对胡杨各断面叶相对含水量、平均叶重量、胡杨叶长度、胡杨平均当年生小枝长度等项指标的测试表明,横向影响范围在 700m 左右^[2]。

3.3 生态输水对物种优势度和群落物种组成的影响

综合优势比是评价植物种群在群落中相对作用大小的一种综合性数量指标。在植物群落中,优势种对群落结构和环境的形成有明显的控制作用^[13],分析塔里木河下游生态输水过程中不同物种在植物群落中的优势地位有助于了解植被恢复状况、探讨植物群落的结构类型变化、认识植物的生态特性。

在塔里木河下游生态输水过程中,由于不同区段地下水位埋深的差异,各断面植被恢复状况不尽一致,植物群落的种类和结构特征也表现出明显不同(图 5)。从植被类型分析,综合优势比增幅最大的是草本,其次为乔木,灌木的相对有所下降。其中,在塔里木河下游中上游段的英苏和阿布达勒断面的草本中,芦苇和甘草的综合优势比增加明显,中段喀尔达依断面增幅最大的是骆驼刺;从群落物种的生活型来看,各断面乔木的综

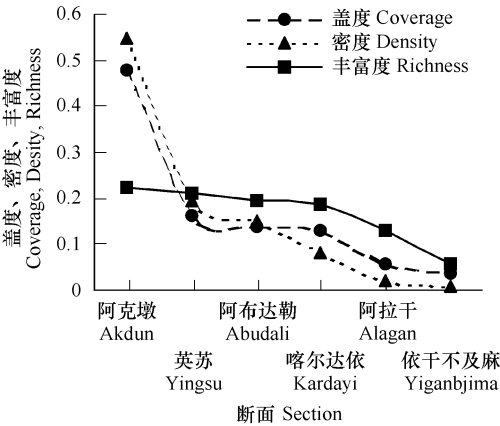


图 4 塔里木河下游主要断面植被退化特征

Fig. 4 Sketch map of plant regression features at main sections in the lower reaches of Tarim River

合优势比略微在增加,灌木植物的综合优势比变化不一致,但草本植物都表现出增加的趋势,尤其是英苏断面的芦苇和甘草。从不同物种综合优势比分析发现,输水后各断面物种的综合优势比普遍增加。塔里木河下游上段的英苏断面,在植物群落中居优势地位和次优势地位的物种虽然未发生明显变化,但草本植物中芦苇和甘草的综合优势比显著增加,芦苇从 2.09% 增长到了 17.18%,甘草则从 5.49% 增加到 15.19%。综合优势比最大物种和最小物种的差值由输水初期的 78.2%,减小到目前的 71.27%;中段喀尔达依断面的植物群落中物种的综合优势比也表现出明显响应,综合优势比最大的物种刚毛柽柳和最小的物种甘草的二者差值从 73.24% 减小到 68.69%。综合优势比增幅最大的是骆驼刺,增加了 5.26%。塔里木河下游下段的依干不及麻断面,植物种类少,样地中仅有胡杨和多枝柽柳,物种的综合优势比变化较之上、中段不甚明显。

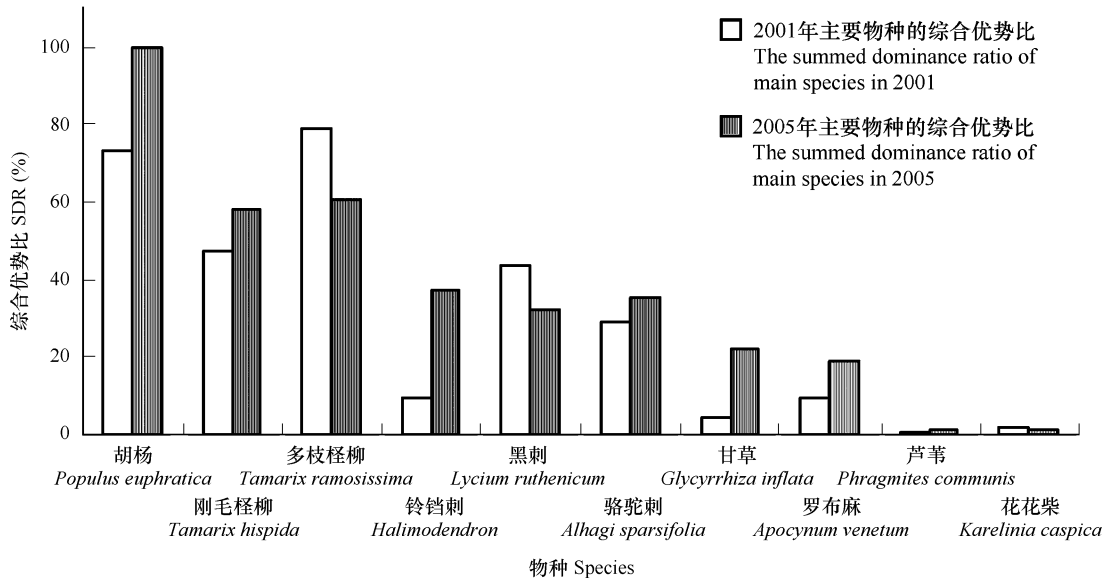


图5 2001年和2005年主要物种的综合优势比对比
Fig. 5 Comparison between the summed dominance ratio in 2001 and that in 2005

对输水过程中群落物种组成的调查发现,实施生态输水后,塔里木河下游植物种类由输水前期的 18 种,分属于 9 科,15 属,增加到 2005 年的 20 种植物分属于 10 科 19 属。较 2001 年有所增加,但物种的增加仅限于草本植物,如藜子朴、小獐毛等,在生态输水过程中,乔木植物无新物种出现。

4 讨论与建议

通过上面的分析就塔里木河下游输水与生态恢复问题提出以下建议供讨论:

(1)塔里木河下游生态输水对抬升地下水位、挽救下游河流两岸附件的天然植被起到了明显的效果,在塔里木河下游输水河道的上、中游段靠近河道地方,地下水位抬升到了 2~4m,已经可以满足胡杨、柽柳等塔里木河下游主要建群种的生存。但在距河道 250m 以外范围,地下水位仍埋深较低,植被生存仍处在干旱胁迫状态^[4]。再则,目前的塔里木河下游输水是一种间歇性输水,在研究区域内,河道有水时,塔里木河河道水位高于地下水位,河水补给地下水,河水与地下水水力联系密切。河水补给引起地下水位变动,其变化幅度随着远离河流而越来越小,变化时间随远离河岸越来越推迟,变动速率也随远离河流越来越小。河水补给地下水时,地下水变动范围相对较小,其主要受河水位变幅,河底组成物质的透水性能和饱水性能,河流过水时间等因素的控制。而当停止输水时,地下水位出现回落现象,这表明了地下水位的不稳定状态。因此,需要坚持长期输水,方能保证一定的地下水位,以满足塔里木河下游天然植被的生长和生态恢复。

(2)塔里木河下游输水目前采取的是沿自然河道“线形”输水方式,是一个拯救生命过程,在开始期间,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重要作用,但难以实现胡杨、柽柳等植物的更新,植被恢复过程缓慢,并且恢复的是一条线,而不是面,恢复范围是极为有限的。虽然,一些大型的乔灌木植

物得到拯救和复壮,但草本植物改善不明显,尤其下游段,林间沙地活化现象仍未得到遏制。在纵向上,从上游至下游,随着输水距离的增加,生态输水对地下水位的影响减弱,植被恢复状况也较差;在横向上,地下水位对输水的响应范围在 850m 以内,并随远离输水河道而影响强度趋缓,到 850m 以外,输水过程对地下水水位基本没有影响。为此,为扩大输水的生态效应,加速天然植被的恢复,塔里木河下游生态输水应结合一定工程措施,分段逐步实施河道漫溢的面上放水方案。根据植物生理特点和水文条件,确立每年 8~9 月份为最佳输水时段,使植物落种与输水时间相吻合,为植物的落种更新提供条件,以实现生态系统的可持续性;另一方面,这期间河道来水量大,可以采取河道漫溢和面上放水,激活土壤种子库,从而增加地表覆盖,加速天然植被的恢复。

(3)塔里木河下游生态恢复问题核心是一个“水”字,有没有水输入塔里木河下游是关键。塔里木河的前 4 次输水均由其相邻的博斯腾湖调水,这期间正时逢开都河丰水期,博斯腾湖水位高涨,有水可调,从而保证了前 4 次向塔里木河下游的生态输水。然而,当博斯特湖处于平水期和枯水期时,则很难保证给塔里木河下游的调水,存在极大风险性。因此,要彻底解决塔里木河下游的河道断流问题,塔里木河流域自身的综合整治则至关重要。

(4)要进一步加强塔里木河水资源利用过程中经济与生态协调发展的问题研究,将塔里木河流域“水-社会经济-生态环境”作为一个巨系统,综合评价水资源利用效率与安全性,以地方与兵团的水资源统一配置关系、上游与下游配置关系、经济与生态用水配置关系以及多水源调配等水资源配置问题为主线,以保障流域生态安全和社会经济可持续发展为原则,深入研究流域水-经济-生态相依相制的动态响应关系和耦合机制,提出水资源合理配置方案和调控对策。

(5)在政策和管理上,从塔里木河流域水-生态-经济的综合考虑出发,要加快实施塔里木河流域水资源的统一管理,打破水资源发生和利用过程中的多元主体边界。以流域生态过程完整性的保持和上、中、下游各族人民可持续发展的平等权力为基本准则,将生存与发展的道德规范从局域延伸到整个流域,从干旱区人类延伸到生物生态系统,确保塔里木河流域各族人民“公共利益”的持续存在和发展,建立生态补偿机制,保证一定量的水输给塔里木河干流;再则,建立水市场调节机制。把经济生产用水引入市场调节机制,通过水资源的有偿使用,提高其空间配置的经济高效性,使稀缺资源在保障生存的基本前提下,向高效产业、高效区域流动,实现管理促进发展的目的;三是,要大力推广各种农业节水措施,发展节水农业,调整种植物结构,提高水资源的有效利用率。同时,加快和完善灌区的灌溉网络建设,废弃耗水大、效率低的平原水库,加强塔里木河干流河道的管理和整治,杜绝随意开口引水的现象,封堵跑漏水口,以保证给下游一定量的生态用水。

Reference :

- [1] Yuan S L. Preliminary study on ecological exploitation volume of groundwater in oasis of desert of Minqin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1987, (2): 18—22.
- [2] Feng Q, Cheng G D, Tan Z G. The research on vegetation growth in oasis of desert and groundwater table. *Journal of Desert Research*, 1998, 18 (sup. 1): 107—109.
- [3] Zhao C Y, Wang Y C, Li B G. Coupling relationship between vegetation evolution and groundwater flow in internal continent river basin. *Shuili Xuebao*, 2003, 12: 59—65.
- [4] Si J H, Feng Q, Zhang X Y, *et al.* Vegetation Changes in the Lower Reaches of the Heihe River after its Water Import. *Acta Bot. Boreali. - Occident. Sin.*, 2005, 25 (1): 631—640.
- [5] Zhang G H, Shi Y X, Nie Z L. A study of the ecological fragility of Heihe River basin and its heavy dependence on the groundwater protection. *Journal of Safety and Environment*, 2002, (23): 31—33.
- [6] Palmer M A, Bernhardt E S, Allan J D, *et al.* Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42, 208—217.
- [7] Tang Q C, Qu Y G, Zhou Y C. *Hydrology and Water Resources and Their Utilization in Chinese Drought Region*. Beijing: Science Press, 1982. 3.

[8] Ma J Z , Gao Q Z . Water resources system and Eco-environmental problems in the inland river basin of Arid northwest China. *Journal of Arid Land Resources and Environment* ,1997 ,11 (4) :15 — 21.

[9] Wang R , Gao Q Z , Lu J H , *et al.* Ecologic environment and prospects of the green corridor in the Lower reaches of Tarim River. *Journal of Arid Land Resources and Environment* ,1997 ,11 (3) :42 — 46.

[10] Chen Y N , Cui W C , Li W H , *et al.* Utilization of Water Resources and Ecological Protection in the Tarim River. *Acta Geographica Sinica* ,2003 ,58 (2) :215 — 177.

[11] Ruan X , Wang Q , Chen Y N , *et al.* Physiological response of desert plants to watering in hyper arid areas of Tarim River ,2005 ,25 (8) :1966 — 1973.

[12] Li W H , Chen Y P , Zhang H F , *et al.* Response of Vegetation to Water Input at Lower Dry Tarim River. *Journal of Desert Research* ,2004 ,24 (3) :301 — 305.

[13] Dong M , Wang Y F , Kong F Z , *et al.* Survey observation and analysis of terrestrial biocommunities. Beijing Standard Press of China ,1996 ,21 — 22.

[14] Chen Y N , Chen Y P , Li W H , *et al.* Response of the accumulation of proline in the bodies of *Populus euphratica* to the change of groundwater level at the lower reaches of Tarim River. *Chinese Science Bulletin* ,2003 ,48 (9) :958 — 961.

参考文献：

[1] 袁生绿. 民勤沙漠绿洲地下水生态开采量的初步研究. *水土保持学报* ,1987 , (2) :18 ~ 22.

[2] 冯起,程国栋,谭志刚. 荒漠绿洲植被生长与生态地下水位的研究. *中国沙漠* ,1998 ,18 (增刊 1) :107 ~ 109.

[3] 赵成义,王玉朝,李保国. 内陆河流域植被变化与地下水运动的耦合关系. *水利学报* ,2003 ,12 :59 ~ 65.

[4] 司建华,冯起,张小由,等. 黑河下游分水后的植被变化初步研究. *西北植物学报* ,2005 ,25 (1) :631 ~ 640.

[5] 张光辉,石迎新,聂振龙. 黑河流域生态环境的脆弱性及其对地下水的依赖性. *安全与环境学报* ,2002 , (23) :31 ~ 33.

[7] 汤奇成,曲耀光,周聿超. 中国干旱区水文及水资源利用. 北京:科学出版社,1992. 3.

[8] 马金珠,高前兆. 西北干旱区内陆河流域水资源系统与生态环境问题. *干旱区资源与环境* ,1997 ,11 (4) :15 ~ 21.

[9] 王润,高前兆,陆锦华,等. 塔里木河下游绿色走廊生态环境与前景. *干旱区资源与环境* ,1997 ,11 (3) :42 ~ 46.

[10] 陈亚宁,崔旺诚,李卫红,等. 塔里木河的水资源利用与生态保护. *地理学报* ,2003 ,58 (2) :215 ~ 177.

[11] 阮晓,王强,陈亚宁,等. 塔里木河流域荒漠河岸植物对应急输水的生理响应, *生态学报* ,2005 ,25 (8) :1966 ~ 1973.

[12] 李卫红,陈亚鹏,张宏峰,等. 塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应. *中国沙漠* ,2004 ,24 (3) :301 ~ 305.

[13] 董鸣,王义凤,孔繁志,等. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京:中国标准出版社,1996. 21 ~ 22.

[14] 陈亚宁,陈亚鹏,李卫红,等. 塔里木河下游胡杨脯氨酸累积对地下水位变化的响应. *科学通报* ,2003 ,48 (9) :958 ~ 961.