

生态输水后塔里木河下游合理水位探讨

徐海量, 宋郁东, 陈亚宁

(中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 塔里木河下游应急生态输水工程改善了该区水资源匮乏的现状, 地下水的平均水位从输水前的 8.25 m 升至输水后的 4.13 m。相应地, 地表植被也出现明显的响应。但是, 在不同河段由于过水时间、耗水量等因素的差异, 造成输水后水位差异较大。以既能减少地下水强烈蒸发返盐, 又不造成土壤干旱而影响植物生长的合理生态水位作为评价标准, 对输水后不同河段的地下水位进行分析。结果显示, 目前英苏—阿拉干段的地下水位 2.97~4.8 m 是比较理想的水位; 大西海子—英苏段水位较高, 可能出现次生盐渍化; 阿拉干—台特玛湖段地下水位太低, 不利于植被的自然恢复。

关键词: 输水; 塔里木河下游; 地下水位; 生态水位

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)05-0022-04

中图分类号: P333

Reasonable Ground-water Level at Lower Reaches of Tarim River After Water Transfer

XU Hai-liang, SONG Yu-dong, CHEN Ya-ning

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academic of
Science, Urumqi 830011, Xinjiang Wei Autonomous Region, China)

Abstract: According to monitoring and analysis of ground-water and vegetation response at the lower reaches of Tarim river in the last 3 years, the water resource deficit situation changed after the project of transferring water. It was found that the average ground-water level rose from 8.25 m below ground surface before water transfer to 4.13 m below ground surface after water transfer. Correspondingly, the vegetation health improved in this region. However, due to differences in timing and quantity of water transfer to different parts of the lower reaches of the Tarim river, the ground-water level varies in the region. Judging by the criteria for ecologically sound ground-water levels, which indicate conditions to prevent salinization, desertification and damage to the growth of some xerophytic trees and bushes in this region. The problem, whether the ground-water level in different parts at the lower reaches of the Tarim river reasonable is analyzed. The results show that the ground-water level (between 2.97 and 4.8 m below ground surface after water transfer) from Yingsu to Alagan is comparatively reasonable. The ground-water level (between 0.1 and 2.47 m below ground surface after water transfer) from Daxihaizi reservoir to Yingsu is too high and may cause salinization. Conversely, the ground-water level at the downstream part from Alagan to Taitema lake is too low to prevent land from desertification and to improve vegetation restoration. Therefore going on translating water to raise the ground-water level is necessary.

Keywords: water transfer; the lower reaches of Tarim river; ecological ground-water level

塔里木河下游是新疆乃至全国生态环境最脆弱的地区之一,也是整治生态环境、防治沙漠化的前沿地区^[1]。为此,众多学者对其退化的过程和原因进行了详尽的分析,认为塔里木河下游断流引起的地下水位大幅下降,是该地区环境退化的一个重要原因^[1-4]。为此,国家组织了塔里木河下游的应急生态输水工程。随着 $1.01 \times 10^9 \text{ m}^3$ 生态水的下泻,输水后

的地下水位是多少?是否满足生态恢复的需要?本文正是基于这一思路对塔里木河下游生态输水后的水位问题进行讨论。

1 塔里木河下游环境概况

塔里木河下游主要位于罗布泊微弱拗陷区,构造稳定,第四纪沉积物厚约 350 m,沉积物以黏土质的

河、湖相沉积为主;地形平坦,微向东倾斜,坡度3%左右;沿河生长着以胡杨为主的荒漠河岸林,形成阻隔东部库鲁克沙漠和西部塔克拉玛干沙漠的一条“绿色走廊”;由于该区气候极端干旱,年均降水量仅为20~50 mm,而蒸发量(潜势)却高达2 500~3 000 mm。因此,降水对植被生长的作用不大,而水文地质条件却是影响植被类型和植被分布的主要因素^[4,6]。然而,从20世纪50年代起,为满足上中游农业发展的需要,在塔里木河干、支流上共修建大、小水库70多座,这些水库的修建造成下游来水量日趋减少,以至于1972年,大西海子水库以下基本断流,地下水位大幅下降。由此带来一系列环境问题如:天然植被的全面衰败、绿色走廊逐渐变窄、土地荒漠化日益严重。至2000年,该区沙化土地面积已超过90%,并且仍呈不断增长的趋势^[7,8]。

2 研究方法

由于塔里木河下游地域广阔、环境恶劣,对该地区地下水的长期监测一直是个空白。为全面、准确地掌握输水前后地下水位的动态变化,于2000年5月起,沿输水河道每隔约40 km共布设了9个监测断面,在每个断面1 000 m范围内,按一定间距布设地下水监测井,采用电导法分输水期5~10 d和停水期10~20 d对全部井位进行水位的监测;用SPSS统计软件,对输水前后上万组数据进行统计、分析。同时,对该地区的植被、土壤、沙化进行全面调查,结合地下水位资料研究输水后的响应,为今后大规模生态恢复和重建工作提供科学依据。

3 生态输水与下游地下水位

鉴于塔里木河下游日趋严重的环境问题,于2000年7月政府组织并实施了塔里木河下游应急生态输水工程。截止2002年12月,已向该地区输水5次(如将2001年4月和9月输水合为1次则为4次输水)。累计放水443 d,共输送生态水 $1.01 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

3.1 输水前后地下水位对比

随着生态水流的下泻,在很大程度上缓解了该地区水资源极度短缺的现状,相应地,地下水位总体上发生明显的变化(见表1)。

表1是输水前和各次输水一结束的地下水位统计资料(输水间隔期,距河道远近不同的地下水位表现出不同的升降特点,一般距河道越远,地下水位持续上升的时间越长^[9])。从表1看:塔里木河下游的地下水位在输水前后发生明显变化,平均水位从输水前的8.25 m上升至输水后的7.65,5.96,5.53,4.44和

4.13 m,上升幅度分别为7%,28%,33%,46%和50%,说明地下水对生态输水的响应非常显著。仅2002年11月监测的4.13 m结果看,似乎通过生态输水实现地下水位升高到植被正常生长的水位目标已经实现。但是,输水后标准差值并没有因输水而减小,反而在前3次输水后出现大幅增加的趋势,从1.89升高到2.43和3.38,而第4,5次输水虽然有所减少,标准差仍高达2.88和2.83,这说明输水后本区各井位水位差在拉大,单看平均值并不能反映输水后的实际情况。同时,塔里木河下游长达321 km,由于过水时间不同、植被本身退化的程度不同。因此,有必要进一步分析输水前后不同河段地下水位的变化。

表1 塔里木河下游5次输水后地下水的基本资料

时 间	观测 时间	平均 水位/m	上升幅 度/%	标准差	95%置 信区间
输水前	200005	8.25	—	1.89	8.25+0.59
第1次输水	200008	7.65	7	2.43	7.65+0.76
第2次输水	200102	5.96	28	3.38	5.96+1.06
第3次输水	200107	5.53	33	3.30	5.53+1.04
第4次输水	200111	4.44	46	2.88	4.44+0.87
第5次输水	200211	4.13	50	2.83	4.13+0.89

3.2 不同河段地下水位的变化

塔里木河下游断流近30 a,多数段河道已被风沙掩埋,加之土地极度干旱,输水是逐步实现的。首次输水的 $9.88 \times 10^7 \text{ m}^3$ 水运行不足80 km就消耗殆尽,2,3次输水的 $4.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 水也仅过阿拉干,直至4,5次输水才实现全程过水。加之各河段断流时间、植被状况、下垫面条件等的差异,输水后的地下水位在3个河段差异明显。

表2 生态输水后不同河段植被恢复状况

河 段	表现最明显 的植被	主要表现	影响范围
大西海子 —英苏	草本植被	草本的 大量萌发	1~5 km
英苏 —阿拉干	乔木和灌木	胡杨和柽柳 长势的好转	800 m
阿拉干 —台特玛湖	个别灌木	河漫滩植被 长势转好	50~100 m

表2列出近2次输水后在不同河段在95%概率水平上地下水位的置信区间。从表中看,输水前后置信区间均不到2.5 m,说明每个区间的水位均比较集中,代表性较好。在输水前,这3个河段地下水位差距较大,输水后这种情况并没有改变。在大西海子—英苏段,输水前地下水位集中在5.83~7.46 m,已不适宜该区植被的生长。因此,植被大片衰败,植被类型以盐化草甸和盐柴类灌木为主,盖度不足15%。输水后

水位升至 0.10~2.47 cm 的高水位区间,这一水位对自然植被的恢复非常有利。相应地,在该段乔、灌、草植被均出现大面积的恢复,植被盖度局部达到 50%~80%左右,土地沙化明显得到控制,并出现不同程度的逆转;而在英苏—阿拉干段,输水前水位降至 7.35~8.57 m,植被类型以荒漠胡杨林和盐柴类灌木为主,由于水位低,在该段随处可见大片枯死的灌木林,活植株盖度仅在 2%左右。当输水后水位升至 2.97~4.80 m 区间时,由于这一水位适宜深根系耐旱乔、灌木的生长,大片铃铛刺、黑刺等重新焕发生机,而胡杨、怪柳由于生境的改变长势也明显转好,而草本植被受到水位的制约仅出现在河道周围(2002 年 9 月调查)。但是在阿拉干以下的河道,输水前水位降到 8.97~11.18 m 区间,这一水位就是对具有极强抗旱能力的胡杨、怪柳也难以生存,胡杨顶部已完全枯死,长在红柳沙包上的怪柳也多以枯枝为主,成带状的怪柳灌丛仅生长在河床两边数百米的范围内,且断断续续,多数地区为仅残存个别植株的荒漠,地表也基本为流沙或盐壳覆盖。输水后,地下水位有一定程度的提高,从输水前的 8.97~11.18 m 升高到 5.79~8.13 m。但是,这一水位仅能满足尚存的个别深根系植被救命之用,无法实现自然植被的生态恢复。综上,在不同河段地下水位的变化是不一样的,地下水位的变化与地表植被的响应在总体上具有一致性,但植被对水位的响应有一个滞后期。

3.3 合理生态水位的探讨

形成于第四纪的塔里木河流域,在风化形成过程中的盐分及其它各种化学元素致使各种沉积物和土壤中的盐分含量普遍很高,加上上、中游的易溶性盐类被地表和地下水带到下游,使下游成为流域的聚盐地^[4]。无论是地表水还是地下水都很容易溶解其中的盐分,使矿化度升高,输水前(2000 年 5 月)在阿克墩、英苏、卡尔达依、阿拉干、烤干等地的地下水矿化度分别是 2.84, 1.66, 1.69, 4.16, 37.28 g/L;同时,在强烈蒸发的作用下,土壤的盐分不断向地表聚积形成盐结皮,输水前仅地表积盐较少的阿克墩、英苏和卡尔达依等地土壤的含盐量就高达 0.649%, 0.886% 和 1.955%,烤干以下地表则基本为盐壳覆盖。因此,本地区的荒漠化问题本身不仅是单一的土地沙化,还包含非常严重的土地盐渍化。因此,合理生态水位无疑需要多方考虑,在此就这一问题进行初步探讨。

对于前面 3 个河段的地下水位的分析,需要考虑恢复的目标和该地区的合理生态水位^[9-11]。根据生态学理论:退化生态系统恢复的目的就是要再现一个自然的、能自我维持和调节的生态系统;考虑到本区

水资源异常短缺的实际,有理由认为:恢复后的生态系统不应该过分地依赖输水这一外在因素,换言之,当输水的间隔从 1 a 变到 2 a,或者输水的水量从 $2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 减少到 $5.0 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,该区生态系统仍然能够保持自我维持和调节的能力。因此,笔者认为恢复的目标应该是满足该区主要乔、灌木正常生长和更新的地下水位,而它可能不适宜多数草本植物的恢复。其次,在干旱地区影响植被生长的主要因素是土壤水分和盐分,而土壤中的水分和盐分都和地下水位高低有关,地下水位过高,在强烈的蒸发条件下,溶解于地下水中的盐分可在表土聚积,使土壤发生强烈次生盐渍化,不利植物生长。地下水位过低,地下水不能通过毛管上升到植物根系层,使土壤干旱、植被衰败、发生沙质荒漠化^[10-14]。因此,把既能减少地下水强烈蒸发返盐,又不造成土壤干旱而影响植物生长的地下水位称为合理生态水位。确定一个地区的合理生态水位,需要考虑:该地区的土壤质地、地质结构、植被分布以及气候和地下水水质(见表 3)等诸多因素。

根据研究^[2],当浅层地下水位在 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 和 4.0 m 时,土壤积盐速率分别是 2.95, 1.57, 0.36 和 0.0 g/(m²·a),由此可以看出,在 2 m 以下,随着水位的升高,土壤发生强烈积盐;在 2.5~3.0 m 时,土壤微弱积盐;在 3.5~4.0 m,土壤停止积盐。浅层地下水水位在 2.0~2.5 m 时,剖面土壤含水量为 24.7%~22.5%(混合平均计算),约为毛管持水量的 90%,对植物生长有利;地下水埋深 2.5~4.5 m,土壤含水量为 22.5%~15.5%,约为毛管持水量 71%,仍能满足植物需水;水位在 4.5~6.0 m 时,平均含水率为 13.7%,稍大于最大分子持水量(薄膜水),能供给植物利用的水分很少;当地下水位下降到 6.0~10.0 m 时,平均含水量为 8.7%,已低于凋萎含水量(新疆沙壤、轻壤和中壤平均凋萎系数为 9.9%),很难为植物利用。另外,在塔里木河下游成年胡杨的根系主要分布在 7 m 以上,生长良好的水位在 5 m 以上;怪柳生长良好的水位是 6 m 以上,而其它灌木和草本生长良好的水位依次为罗布麻 4.0 m、铃铛刺 4.0 m、甘草 3.0 m、花花柴 4.0 m、沙枣 5.0 m、芦苇 3.0 m。因此,综合以上的分析,在塔里木河下游地区当水位在 3 m 以下时,土壤不会因强烈积盐发生严重的盐渍化;当地下水位在 4.5 m 以上时,基本能满足乔、灌木生长需水,一般不会发生荒漠化;再考虑到塔里木河下游水资源匮乏现状和主要恢复植被以本区主要建群植被胡杨和怪柳为主,水位定低点更加合理。因此,本区的合理生态水位以 3.5~5.0 m 为宜。

表3 塔里木河下游地下水水质监测结果

河段	总碱度	总硬度	pH	电导率/ ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	全盐/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	取样点
大西海子—英苏	8.241	21.627	7.86	4.12	3.040	2.982	阿克墩
英苏—阿拉干	4.275	10.013	7.90	1.73	1.175	1.068	卡尔达依
阿拉干—台特玛湖	5.749	16.234	7.41	3.30	2.400	2.183	考干
塔里木河河水	3.638	8.819	8.01	1.73	1.120	1.011	英苏

注:2002年8月取样测定。

有了这2个标准,5次输水后不同河段的地下水位就有了一个评判的依据。目前大西海子—英苏段的地下水位已基本处在较高水位(多在3m以上),这一水位会引起较强的土壤蒸发返盐;同时整个下游实现这一水位所需水量太大,在目前条件下实现整个下游达到这一水位也是不可能的。在英苏—阿拉干河段,5次输水后水位从7.35~8.57m升高到2.97~4.80m,这一水位基本能够满足胡杨、柽柳、铃铛刺、黑刺、骆驼刺等植被生长的需要,虽然许多草本植被生长仍受到水位的限制而没有出现大面积恢复,但从节约水资源和防止荒漠化的角度以及可能出现的植被响应存在一个滞后期来综合考虑,目前的水位应该是合理的。对于该段植被恢复还不太理想这一问题,可以考虑多从恢复方法上着手,例如:对胡杨采取挖桩、开沟断根、桩萌等措施促进生态恢复。

而阿拉干—台特玛湖段:输水后水位虽升高至5.79~8.13m,但仍不能满足植被自然恢复的要求。因此,在该河段首先考虑仍是通过输水实现地下水位的进一步升高,同时结合人工生态林建设促进该地区植被的恢复。根据前两个河段过水时间443d和329d,平均水位分别从6.64、7.96m上升至1.20、3.88m来估算,阿拉干以下河段水位从目前平均的水位6.97cm恢复到3.50~5.00m这一合理的生态水位,所需要的实际过水时间大约还要200~250d,如果再考虑到该河段植被多已死亡、地表严重沙化等因素,实现该段生态恢复所需时间将会更长。

4 结论

(1) 本文统计的水位主要是输水期的水位,由于输水间隔期,距河远近不同的地下水位表现出不同的升降特点,因此在此很难统计的。

(2) 通过对该区合理生态水位的初步探讨,笔者认为:塔里木河下游目前在英苏—阿拉干段的地下水位较合理,对于引起强烈次生盐渍化和沙漠化均有一定抑制作用。而大西海子—英苏段水位较高,可能出现次生盐渍化;阿拉干—台特玛湖段地下水位依旧太低,不利于植被的自然恢复,因此需要继续输水实现

地下水位的升高,同时采取人工生态林建设,促进该河段的植被恢复。

[参考文献]

- [1] 周兴佳,李崇舜.塔里木河下游绿色走廊的沙漠化及其防治[J].中国沙漠,1983,3(1):31—43.
- [2] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000.16—18.
- [3] 李香云,张蓬涛,章予舒.塔里木河下游绿色走廊特点及衰败成因分析[J].干旱区研究,2001,18(4):26—31.
- [4] Gunin D. Diagnostics of desertification processes in arid ecosystem of central Asia[J]. Problems of Desert Development,1992(5):7—26.
- [5] He Qing,Zhao Jingfeng,Nagashima et al. The distribution of Sandstorms in Taklimakan Desert[J]. Journal of Arid Land Studies,1996(5):185—193.
- [6] 刘培君,朱峰.塔里木河两岸的自然地理条件[A].梁匡一,等.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.
- [7] 王让会,樊自立.利用遥感和GIS研究塔里木河下游阿拉干地区土地沙漠化[J].遥感学报,1998,2(2):137—142.
- [8] 刘建军,潘峰.塔里木河下游土地覆盖动态变化分析[J].干旱环境监测,2001,15(3):142—146.
- [9] 徐海量,陈亚宁,李卫红.塔里木河下游生态输水后地下水的响应研究[J].环境科学研究,2003,16(2):21—24.
- [10] 宋长春,邓伟,李取生,等.松嫩平原西部土壤次生盐渍化防治技术研究[J].地理科学,2002,22(5):610—614.
- [11] 严登华,何岩,邓伟,等.东辽河流域坡面系统生态需水研究[J].地理学报,2002,57(6):685—691.
- [12] 贾宝全,许英勤.干旱区生态用水的概念和分类—以新疆为例[J].干旱区地理,1998,21(2):8—12.
- [13] The secretariat of the United Nations Conference on Desertification. Desertification: Its Causes and Consequence[M]. Nairobi: Pergamon Press, 1977. 1—10.
- [14] Thoms M C, Sheldon F. Water resource development and hydrological change in a large dry land river; the Barwon—arling River, Australia[J]. Journal of Hydrology, 2000,228:10—21.