

近 50 年来塔里木河流域水域环境现状及其驱动力分析

杨家军, 吐尔逊·哈斯木, 阿迪力·吐尔干, 阿不力提甫·吾甫尔, 郝永娟

(新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:根据塔里木河流域近 50 a 来的水文、经济资料,运用数理统计方法分析了自然驱动因子和人文驱动因子对塔里木河流域水域环境影响的贡献率。结果显示:塔里木河四源流在过去 50 a 出山口径流量没有减少,但汇入塔里木河干流的水量从 20 世纪 50 年代的 50.27 亿 m^3 减少到 2000 年以后的 46.05 亿 m^3 ,并且出现干流断流长度增加、地下水位下降、水质矿化度升高等一系列问题。而导致这种恶化的直接原因是人类活动的干扰,如:耕地面积扩大,不合理的灌溉、垦殖、放牧等。因此,今后塔里木河流域在水资源利用和综合治理中,应特别关注人类活动的影响。

关键词:塔里木河流域; 水域环境恶化; 驱动力分析

中图分类号:P332

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0076-06

Current Situation of Water Environment in the Tarim River Basin in Recent 50 Years and Its Driving Force Analysis

YANG Jia-jun, Tursun·Kasim, Adil·Turhan, Ablitip·Ghopur, HAO Yong-juan

(College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract:Based on the hydrological and economic data of the Tarim River in recent 50 years, the contribution rate of nature driving factors and man-made driving factors on the water environment were analyzed in the Tarim river Basin. According to the results, the mountain caliber flows of the four origins of the Tarim River in the past 50 years did not reduce, but the amount of water flowing into the Tarim River mainstream reduced from $5.027 \times 10^9 \text{ m}^3$ in 1950s to $4.605 \times 10^9 \text{ m}^3$ after 2000, and a series of environmental problems of the water appeared, such as the increase of the cutoff of the main stream, the decline of the underground water level and the aggravation of the salinity of water. Human activities lead to the deterioration directly, such as the expansion of cultivated fields and irrational irrigation, reclaim and herding, etc. Therefore, more attention should be paid on the influence of human activity in terms of the water utilization and overall control in the Tarim River Basin.

Key words:Tarim River Basin; deterioration of the water environment; driving force analysis

塔里木河是我国境内最长的内陆河,全长 1 321 km,流域总面积 102 万 km^2 , 占我国国土总面积的 11%,具有自然资源丰富和区域生态环境脆弱的双重特点。塔里木河流域肖夹克以上曾经有阿克苏河、喀什噶尔河、叶尔羌河、和田河,在干流上段有渭干河和库车河;在中游段有迪那河和孔雀河^[1],但近些年由于人类的不合理开发利用,喀什噶尔河已于 20 世纪 40 年代,无水汇入塔里木河;导致与其有天然水力联系的水系从 9 条减少到 4 条,现今又减少到 3 条,即

阿克苏河,和田河和开都河—孔雀河,流域面积缩小,流域水量不稳定,水质矿化度升高,水域环境正在不断地恶化。鉴于塔里木河水域环境的变化对生态环境演变的重要性,分析塔里木河水域环境的恶化现状及其驱动力对塔里木河生态环境整治以及农业,经济的发展具有重要意义。

1 研究区概况

新疆塔里木河地处我国西部干旱区,整个流域经

收稿日期:2012-06-07

修回日期:2012-08-03

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41061047,40561013);国家国际科技合作项目(2010DFA92720-12);新疆大学“绿洲生态自治区(教育部省部共建)重点实验室”开放课题(XJDX0201-2009-10)

作者简介:杨家军(1987—),男,陕西安康人,在读研究生,主要从事干旱区资源与环境研究。E-mail:yjxxjdx@souhu.com

通信作者:吐尔逊·哈斯木(1961—),男(维吾尔族),新疆轮台人,教授,硕士生导师,主要研究方向为干旱区地貌与环境。E-mail:Tursun_kasim120@yahoo.com.cn

过的地区都是塔克拉玛干沙漠的北缘,气候干燥,蒸发强烈,区域生态环境十分脆弱。流域的水资源是保障塔里木盆地绿洲经济、自然生态和各族人民生活的生命线。整个流域在地域上包括塔里木盆地周边向心聚流的九大水系和塔里木河干流、塔克拉玛干沙漠及东部荒漠区^[2]。随着历史的变迁以及近代人类活动影响的加剧,目前与塔里木河干流有天然水利联系的仅有 3 条水系:和田河、叶尔羌河和阿克苏河,称之为上游三源流,开都—孔雀河通过库塔干渠向塔里木河下游送水,加上干流并称为“四源一干”。目前,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%,和田河占 23.2%,叶尔羌河仅占 3.6%^[3]。在过去 50 a 里,塔里木河在人类农业,经济活动的过度干扰下,流域水域环境发生了显著变化,水资源开发过程中的经济与生态的矛盾日益突出。上游三源流向干流输送的水量逐年减少,水质不断恶化,下游 320 km 的河道断流。尾间台特玛湖干涸,塔里木河干流地下水位下降,源流条数不断减少。本研究主要结合塔里木河近 50 a 的水文、经济资料及新疆统计年鉴和新疆统计公报的相关数据,通过数理统计分析得出塔里木河水域环境恶化的现状及驱动力。

2 塔里木河流域水域环境现状及驱动力分析

2.1 四源流出山口径流量变化

2.1.1 四源流出山口径流量 塔里木河处于沙漠干旱、半干旱气候区,降水稀少,蒸发量大,河流主要通过冰雪融水和暴雨补给,在径流组成中,冰川融水占 48.2%,雨、雪混合补给占 27.7%,河川基流占 24.4%^[4],是一个封闭式的系统,干流主要由四源流来水进行补给。1956—2005 年划分成的 6 个时间段可以看出四源流出山口径流量都在增加,上升趋势最为明显的是阿克苏河(图 1),阿克苏河的出山口来水量在同一时段都比其它 3 条河流要高,从 1956—1959 年到 2000—2005 年阿克苏河、叶尔羌河、和田河、开—孔河出山口流量分别增加了 23.95 亿 m^3 , 4.69 亿 m^3 , 0.60 亿 m^3 , 7.55 亿 m^3 。其中叶尔羌河出山口径流量在四源流中位于第二位,但补给塔里木河水量仅占到 3.6%,这是由于叶尔羌河河流长,流域面积大,支流多,流域内有大中型水库 37 座和水文站 6 个,使得叶尔羌河的出山口水量到达塔里木河时大量消耗。特别是 20 世纪 90 年代以后,各源流普遍进入丰水期,图 1 数据显示除和田河在 90 年代源流出山口径流量与多年平均值相比有小幅下降外,其余各

源流出山口径流量在 90 年代和 2000 年以后都有不同程度的增加。这是由于 90 年代天山南麓的阿克苏河受我国西北部增温增湿的影响,降水有所增加。据统计^[5],塔里木河流域多年平均降水量为 $1.1643 \times 10^{11} \text{ m}^3$,占全新疆降水总量的 45.3%(流域面积占全新疆面积的 60%),为典型的干旱少雨地区,降水量呈现出北多南少,西多东少的特点;且山地多于平原,山地一般为 200~500 mm,盆地为 50~80 mm,东南缘为 20~30 mm,盆地中心约为 10 mm,全流域多年平均年降水量为 116.8 mm,对于全长 1 321 km 的塔里木河来说这些降水无法产生正常的河流水循环。

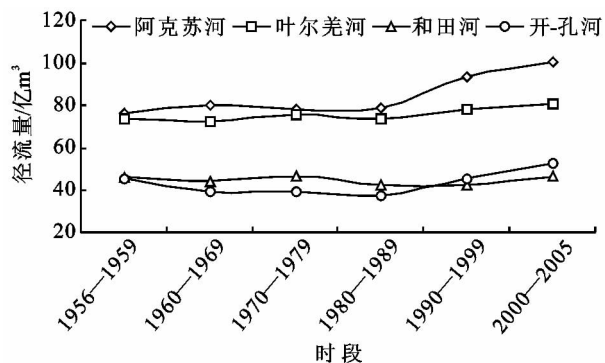


图 1 塔里木河四源流出山口径流量

在过去的 50 a 中,四源流的来水量主要是靠冰川融水补给的。冰川融水的多少主要受到温度的影响,温度上升会加速冰川的融化,补给塔里木河的水量则增加,反之亦然。但温度太高,又会加大水的蒸发。相关研究表明^[6],塔里木河流域年均气温随时间变化表现出上升的趋势,在近 50 a 里,阿克苏河、叶尔羌河、和田河的温度分别以 0.33, 0.12, 0.21 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 的速率增加。从塔里木河年平均气温变化来看(图 2),其上、中、下游的平均气温均呈上升趋势,尤其是 1990s 是温度增高最快的 10 a,且越往下游增暖趋势越明显^[7]。因此可以认为近 50 a 来 4 条源流的气温总体仍然是上升的,气温的增加,将会导致春季冰川和积雪的消融,在不同程度上将会影响四源流径流的变化。而根据吴素芬等^[8]利用投影回归模型对塔里木河流域进行预测所得出的结论:“降水增加,气温必然会降低,使冰雪融水减少。降水增加幅度较小时,冰川融水增加量大,当降水增加幅度大时,冰川融水增加量小”。“随着降水增加,塔里木河流域水资源呈减少趋势,而对冰川融水比重小的河流,降水增加则年径流增大^[8],但塔里木河主要是一条冰川融水比重大的河流(表 1),和田河水系下的玉龙喀什河、喀拉喀什河的冰川融水分别占到了 64.9%, 54.1%, 叶尔羌河水系下的叶尔羌河、昆马力克河的冰川融水分别占到了 64%, 52.4%, 这两条河流主要靠冰川融

水补给塔里木河流域的水量。降水和气温彼此有一定的消长作用,总体四源流出山口径流量呈上升趋势,但这些补给河流真正进入干流以后的水量要少得多,导致塔里木河干流水量不断下降。

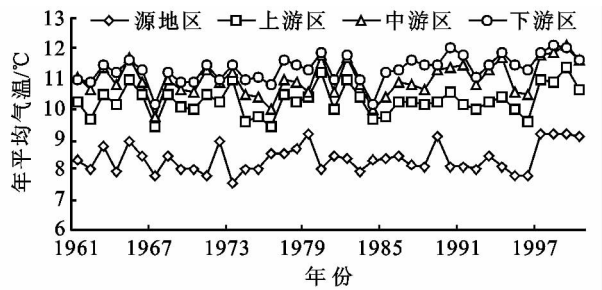


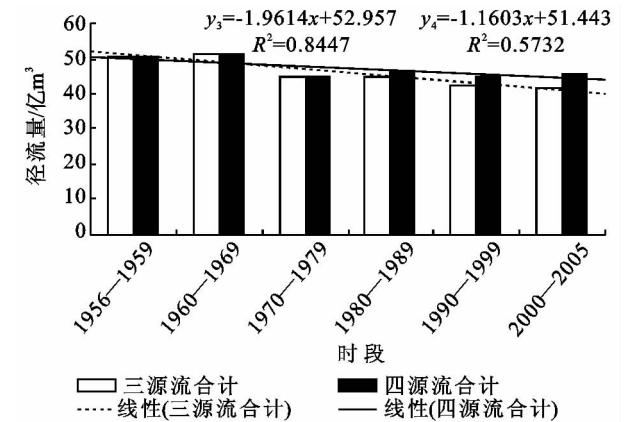
图 2 塔里木河流域年平均气温变化^[7]

表 1 塔里木河主要源流径流组成

水系	河流	径流构成/%		
		冰川融水	降水(雨雪混合)	地下水
和田河	玉龙喀什河	64.9	17.0	18.1
	喀拉喀什河	54.1	22.1	23.8
叶尔羌河	叶尔羌河	64.0	13.4	22.3
	昆马力克河	52.4	30.4	17.2
阿克苏河	托什干河	24.7	45.1	30.2
开都—孔雀河	开都河	15.2	44.0	40.8

2.1.2 汇入干流水量 近 50 a 来四源流出山口径流量在不断的增加,但是,由于人们在源流区山前大量引水进行农业灌溉,以及源流区用水量的增加,据有关资料统计,和田河、叶尔羌河、阿克苏河灌溉面积由 1949 年的 35.12 万 hm^2 增加到 1993 的 77.66 万 hm^2 ^[9],由于塔里木河自身不产流,水资源全部来自四源流的补给,四源流水资源在源流区大量消耗,使得汇入塔里木河干流的水量从 20 世纪 50 年代的 50.27 亿 m^3 减少到 2000 年以后的 46.05 亿 m^3 , 1950s, 1960s 四源流合计净入干流水量达到最大值,分别为 50.27, 51.68 亿 m^3 ,从 1970s 一直到 2005 年四源流汇入塔里木河干流的水量呈明显的下降趋势(图 3),把时间向前向后推 1/2 个周期,分别得到三源流和四源流汇入塔里木河干流水量的趋势预测线性方程 y_3, y_4 ,其中 y_3, y_4 的相关系数分别达到 0.847 7, 0.573 2,表示方程中下一年汇入塔里木河干流的水量与上一年成高度的负相关,在短时间内水量还会减少。据统计 2002 年 3 条源流入塔里木河的水量为 52.48 亿 m^3 , 占出山口天然总径流量的 20.6%,在 3 条源流中仅阿克苏河完成了向塔里木河的输水任务,而叶尔羌河是唯一无水输入塔里木河的的源流^[10]。1956—1979 年三源流和四源流汇入塔里木河干流的水量相同是由于在这期间开—孔雀河无水补给塔里木河干流,三源流水量从 20 世纪 50 年代的 50.27

亿 m^3 ,减少到 90 年代的 42.54 亿 m^3 。50 a 减少了 7.73 亿 m^3 ,减少 15.4%,平均年减少率 0.15 亿 m^3 。由于上、中游耗水量的不断增加,进入下游的水量急剧减少,下游径流节点控制站(恰拉站)20 世纪 50 年代平均径流量为 13.5 亿 m^3 ,而到 90 年代仅为 2.5 亿 m^3 ,近 40 a 减少了 11.1 亿 m^3 ,平均年减少率为 0.3 亿 m^3 。



注: y_3, y_4 分别表示三源流合计,四源流合计径流量趋势方程式,数据来源于文献^[4]。

图 3 塔里木河三源流,四源流入塔里木河干流径流量

2.2 四源—干河流断流长度和断流时间分析

2.2.1 源流断流长度与时间分析

(1) 叶尔羌河自 1963 年第一次出现全年断流至今的 40 a 中,有 20 a 断流,只在 1994 年、1999 年和 2001 年的大洪水年才约有 3.21 亿 m^3 的水量注入塔里木河干流,其余 15 a 断流,构成艾力克他木到干流肖夹克站间 320 km 河床干涸^[11];(2) 和田河是一条季节性河流,每年洪水期的 7—9 月中有水量补给塔里木河,其余 9 个月无水量入塔里木河。特别是 1993 年塔里木河特枯水年时,该河仅有 720 万 m^3 水量到达塔里木河口的肖塔站,但完全被人为引入胜利水库,因此 1993 年和田河无水补给塔里木河,这在历史上也是第一次,到了 2003 年和田河下游河道 1 月 1 日—7 月 1 日和 10 月 1 日—12 月 31 日断流共计 274 d,占全年天数的 75.1%,断流河道长度约为 300 km^[11];(3) 开都—孔雀河从 1969—1980 年都无水补给塔里木河,自 1980 起通过孔雀河库—塔干渠的恰拉水库分水闸在干流中游下段补给塔里木河,20 a 平均入塔里木河水量仅有 1.0 亿 m^3 ,入水量主要在每年汛期,而春季、秋季和冬季无水输入塔里木河;(4) 阿克苏河从 1956 年至今全年有水补给塔里木河,也是塔里木河流域 4 条源流中最大的源流和补给塔里木河水量最多的河流。

2.2.2 干流断流长度与时间分析 塔里木河干流自

身不产水,历史上是一条自然耗散性河流^[12-13]。自 20 世纪 70 年代初大西海子水库建成后,其下游 321 km 的河道开始出现断流,台特玛湖也于 1974 年干涸,下游地下水位大幅度下降,靠地下水维系生存的天然植被大面积衰败和死亡,沙漠化扩张,生态系统退化,生物多样性锐减,荒漠生态系统受损。20 世纪 90 年代,断点上移到塔里木河下游的卡拉断面,断流长由 20 世纪 70 年代的 321 km 增加到 428 km,进入 21 世纪,开始实施塔里木河流域综合整治工程,并于 2000 年实施了向塔里木河下游间歇性应急输水工程,下游生态环境得到一定程度的改善,但塔里木河断点上移的趋势依然存在,英巴扎(2001 年、2004 年、2005 年和 2006 年)和新渠满(2007 年)断面相继出现间歇性断流^[14]。在近 20 a 里塔里木河断流位置已经由下游的卡拉断面上溯到中游的英巴扎、甚至上游段的新渠满断面,断流上移了约 770 km^[15](图 4)。从水文形势来看,汇入塔里木河干流的水量不断减少,加上塔里木河干流中、上游随意开荒取水,耗水量不断增加,致使到达下游恰拉断面的水量日益减少。事实上塔里木河自 20 世纪 90 年代就已经成为一条季节性河流^[15],这是塔里木河断流的间接驱动力。

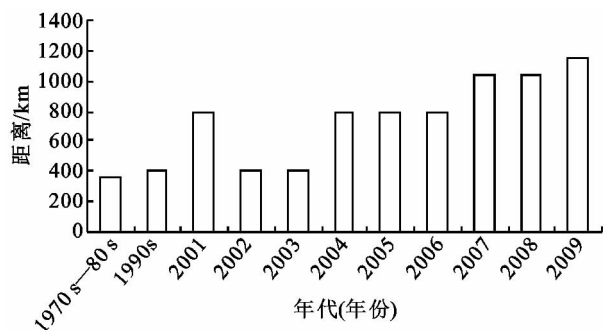


图 4 20 世纪 70 年代以来塔里木河干流断流距离状况^[15]

从开发与保护的角度看最直接的驱动力是源流区灌溉面积的增加,有效灌溉面积基本上与耕地面积呈同步增长趋势(图 5)^[16]。耕地面积呈现波动增加的趋势,且耕地面积的增长一直大于有效灌溉面积。1949—2008 年耕地面积增加 98.70 万 hm^2 , 年均增加 2.37%, 在 59 a 间, 耕地面积总量最多的年份是 2008 年, 达 169.34 万 hm^2 , 最小的年份是 1949 年, 为 70.65 万 hm^2 。有效灌溉面积 1979—2008 年净增 44.73 万 hm^2 (因缺乏 1979 年以前的数据无法分析), 年均增加 1.62%。灌区水资源利用率低, 过去大部分都是漫灌, 水资源不能充分、高效利用, 河流两岸存在跑水沟, 水资源流失严重, 上、中游水资源分配不合理, 农业用水大量挤占生态用水, 水利工程建设布局不合理, 治理措施不协调^[17]。另外乱垦、乱伐现

象严重。随着干流人口的增加, 特别是上游人口的增长(图 6), 人们大量樵采两岸的树木, 致使塔里木河周边环境恶化, 沙丘移动加剧, 地表径流量减少, 河流泥沙含量增加, 河道淤积、阻塞, 河道水流不畅通, 上游来水无法顺利通过河道输送到下游, 导致下游水域环境进一步恶化, 水量减少, 河流缩短, 断流时间加长。

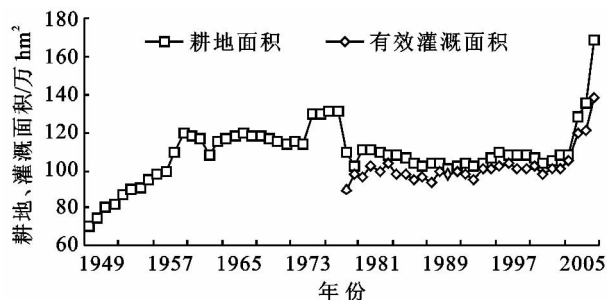


图 5 塔里木河流域绿洲耕地和有效灌溉面积变化趋势

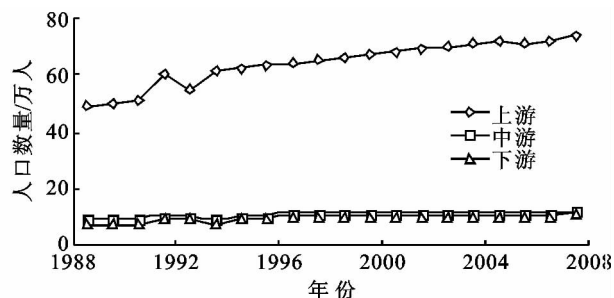


图 6 塔里木河干流区上中下游人口数量变化

2.3 塔里木河干流地下水位变化

中游地下水位在 20 世纪 90 年代比 60、70 年代下降了 0.5~1.5 m。下游地区地下水埋深下降明显, 下降幅度较小, 70 年代初为 0.92~5.13 m, 到 80 年代末至 90 年代初为 1.07~7.45 m, 变幅为 0.15~2.23 m, 平均下降 1.64 m。大西海子以下至台特玛湖段下降最为明显(表 2), 50—60 年代据文献^[18]记载地下水埋深 1.0~5.0 m, 70 年代初调查 2.3~7.9 m, 较 60 年代下降 1.3~2.9 m。80 年代以来为 3.0~12.75 m, 较 70 年代初下降 0.7~4.85 m。1997 年调查为 5.6~12.92 m, 较 80 年代又下降 2.6~0.17 m。据 1999 年塔河中下游实地踏勘考察组实测英苏、阿拉干、考干等地的地下水位与 50 年代相比平均下降 4~6 m, 分别达到 9.50, 11.2, 11.4 m^[19]。塔里木河地下水位逐年下降主要受气象、水文等因素的严格控制, 农业灌溉对水位也有一定的影响。流域年蒸发量远远大于降水量, 上游来水量减少, 中游水量大量散失, 导致进入下游的水量大大减少。随着地表水资源的减少, 地下水得不到及时补给, 水位就随之下降。

表 2 塔里木河下游地下水水位埋深情况^[19-21]

地区	1973 年	1989 年	1997 年	1999 年	2000 年	1989—1973 年	1997—1989 年	2000—1999 年
新英苏	6.00	8.00	9.44	9.50	8.20	2.00	1.44	1.30
喀什达依	5.86	10.00	11.13	—	10.10	4.14	1.13	—
阿拉干	7.00	10.40	12.65	11.20	8.90	3.40	2.25	2.30
依干不及玛	6.20	12.75	12.92	11.40	—	6.55	0.17	—
罗布庄	2.33	3.10	5.69	—	2.30	0.77	2.59	—

2.4 塔里木河水质变化

塔里木河在 1958 年以前是一条淡水河,干流水矿化度平均为 1.0 g/L^[22]。从塔里木 1985—1998 年塔里木河各站月平均矿化度变化^[23](图 7)中可以看出,塔里木河三站监测到的水质矿化度都较高,其中阿拉尔站位于塔里木河的上游,1985 年 10 月至 1986 年 9 月,有 9 个月超过 1.0 g/L,其中有 6 个月大于 3.0 g/L,有 2 个月超过 5.0 g/L,最高值超过了 6.0 g/L。新渠满位于塔里木河上游下段,1985 至 1998 年各月平均矿化度有 11 个月超过 1.0 g/L,5 月份超过了 6.0 g/L,达到 6.247 g/L,只有 8 月份小于 1.0 g/L。卡拉位于塔里木河下游,1985—1998 年这 13 a 中,月平均矿化度有 11 个月大于 1.0 g/L,最高 3 个月集中在 6 月、7 月和 12 月,分别达到 2.157, 2.484,2.764 g/L。

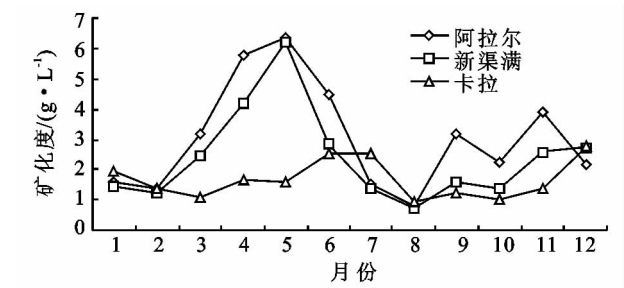


图 7 1985—1998 年塔里木河各站月平均矿化度变化

塔里木河水质出现高矿化度主要受到自然驱动因子和人为驱动因子的影响,自然驱动方面^[24]塔里木河是一条内陆耗散性河,在山区形成的径流,进入平原后,再无新的支流接纳,由于渗漏、蒸发损失,水分逐渐减少,使盐分增加后得不到稀释。气候干燥,降水稀少,蒸发强烈,有利于河水盐分浓缩使矿化度提高。流域周边低山带和平原区,沉积物和土壤中的易溶盐含量高,盐源充足,可随水进入塔里木河。人为驱动方面主要是大量高矿化度农田排水汇入,塔里木河上游的阿克苏流域及干流上游垦区,1949 年以后开垦的土地,绝大部分是重盐碱土,1 m 土层中的含盐量达到 20~50 g/kg,通过淋洗,压盐及种稻改良,现 1.0 m 土层的含盐量大部分降至 5 g/kg 以下,适合作物生长。从土壤中脱出的盐分在阿拉尔垦区以上农田排入塔里木河的水量达 7.04 亿 m³,矿化度

2.28~9.57 g/L,每年带入塔木河的盐分达 467.4 万 t。

此外,人类活动导致径流损耗增大,陈忠升^[14]等选取塔里木河流域社会经济活动指标:人口自然增长率、农业人口、城市化水平、产业结构和经济效益五大指标,运用权重加权法,得出塔里木河人类活动强度指标权重。然后以 20 世纪 70 年代来水量为基准来水量,分别求出 80,90 年代和 2000—2008 年时段实际来水量与基准来水量之间的差值,得出径流的损耗量,建立人类活动强度指数与径流损耗量之间的相关关系,从图 8 来看,二者的变化趋势具有较强的一致性,呈明显的正相关性,说明人类活动导致了塔里木河流域径流量减少,进而使水质的离子浓度升高,水质逐渐恶化。

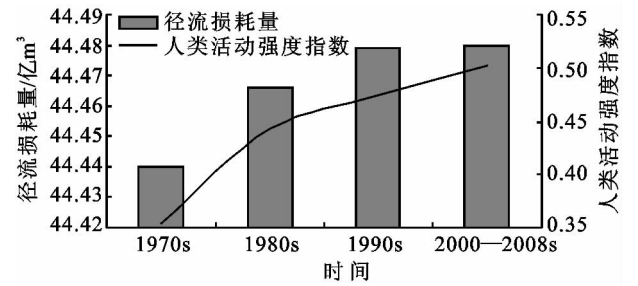


图 8 人类活动强度指数与径流损耗量变化

3 结论

(1) 通过对塔里木河近 50 a 的水文资料分析,发现四源流出山口径流量在过去的几十年并没有减少,甚至有一定程度的增加。而塔里木河干流水量却呈逐年递减的趋势。这一结果表明,塔里木河四源流进入干流的水量减少并不是气候环境因素变化所致。流域人类活动是造成水域环境恶化的根本原因。人类活动强度指数与人为径流损耗量相关性分析结果表明,二者之间具有显著的正相关关系,说明自 20 世纪 70 年代中期开始,人类活动对径流损耗的干扰就处于一个扩大和加重的过程。

(2) 河流断流长度增加、断流时间加长、地下水下降、水质恶化与人类的不合理开发直接相关。对造成这一结果的分析表明,人口的快速增长,使得流域周围的人们为了追求经济利益大量开垦耕地种植

棉花,不合理的引塔里木河水进行灌溉,导致绿洲的面积不断扩大,农业生产的集约化程度提高,各种水利设施,人工渠道改变了流域的水循环,从而直接影响了流域正常的水环境运行。

(3) 由于长期的人类活动和自然因素的作用,流域的水域环境将面临严峻的考验,未来塔里木河要保持水域环境的良性发展就需要加大力度控制好耕地面积,要高效、合理的分配水资源,加大水资源的管理力度;突破现有灌溉技术,做到更加节约每一滴塔里木河水资源。要保护好生态植被,使其真正起到防风固沙作用,以减少塔里木河河道的泥沙,保证上、中、下游水流的畅通性。

参考文献:

- [1] Chen Yanin, Xu Zongxue. Plausible impact of global climate change on water resources in the Tarim River Basin, China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(1): 65-73.
- [2] 何文勤. 塔里木河流域的水资源[C]//毛德华. 塔里木河流域水资源、环境与管理. 北京:中国环境科学出版社, 1998.
- [3] 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[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 215-222.
- [4] 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态水文问题研究[M]. 北京:科学出版社, 2010.
- [5] 胡春宏, 王延贵, 郭庆超, 等. 塔里木河干流河道演变与整治[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [6] 傅丽昕, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河源流区近 50 a 径流量与气候变化关系研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(1): 205-209.
- [7] 杨青, 何清. 塔里木河的气候变化、径流量及人类活动间的相互影响[J]. 应用气象学报, 2003, 14(3): 310-319.
- [8] 吴素芬, 韩萍, 李燕, 等. 塔里木河源流水资源变化趋势预测[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 708-711.
- [9] 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.
- [10] 王顺德, 张洪, 魏琳, 等. 塔里木河流域 2003 年“四源一干”河川径流及输水运行分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 716-722.
- [11] 胡汝骥, 王东亮, 冯国华, 等. 怎能让塔里木河下游干涸的悲剧重现中游地区: 2002 年塔里木河流域 3 条源流区间耗水评析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(3): 200-202.
- [12] 王顺德, 李红德, 许泽锐, 等. 塔里木河中游滞洪区的形成及其对生态环境的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 712-718.
- [13] 王顺德, 李红德, 胡林金, 等. 2002 年塔里木河流域四条源流区间耗水分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(4): 496-502.
- [14] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 90-98.
- [15] 陈亚宁, 叶朝霞, 毛晓辉, 等. 新疆塔里木河断流趋势分析与减缓对策[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 813-820.
- [16] 满苏尔·沙比提, 努尔卡木里·玉素甫. 塔里木河流域绿洲耕地变化及其河流水文效应[J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2252-2260.
- [17] 邢小宁. 塔里木河流域“四源一干”生态环境中存在的问题及其成因分析[J]. 塔里木大学学报, 2009, 21(2): 122-123.
- [18] 徐海量, 宋郁东, 陈亚宁. 生态输水后塔里木河下游地下水的动态变化[J]. 中国环境科学, 2003, 23(3): 327-331.
- [19] 蒋良群, 陈曦, 包安明. 塔里木河下游地下水变化动态分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 34-36.
- [20] 刘宴良. 塔里木河中下游实地踏勘报告[M]. 北京:中国统计出版社, 2000.
- [21] 王让会, 宋郁东, 樊自立, 等. 3S 技术在新疆塔里木河下游生态环境动态研究中的应用[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(4): 57-63.
- [22] 陈亚宁, 张小雷, 崔旺诚. 塔里木河流域主要生态问题与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2003(3): 191-195.
- [23] 季方. 塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控[M]. 北京:海洋出版社, 2001.
- [24] 樊自立, 马英杰, 张惠, 等. 塔里木河水质盐化及改善途径[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 720-724.