

人类活动对土地沙漠化的影响研究 ——以塔里木河下游为例

阿依先木·司马义¹, 吐尔逊·哈斯木¹, 祖木拉提·伊布拉音¹,
马木提江·卡日², 曼尼萨汗·吐尔隼¹

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆阿图什市第四中学地理学组, 新疆 阿图什 845300)

摘 要:塔里木河下游地区是干旱区中沙漠化进程最显著的地区之一。由于近 50 a 以来人类不合理的开发活动,造成生态环境出现严重的退化。特别是以天然植被为主体的生态系统和生态过程因对水资源时空格局的人为改变而受到严重影响,造成环境恶化、天然植被全面衰败、沙漠化加剧。本研究主要从引起塔里木河下游沙漠化的原因入手,从整体、部分的关系进一步发现塔里木河下游流域沙漠化原因,运用 3S 技术和有关统计资料分析塔里木河干流区域人口增长、水资源利用对塔里木河下游土地沙漠化的影响途径以及影响程度。分析结果表明,新疆塔里木河下游土地沙漠化的直接成因是干流耗水量的增加和下游来水量的减少,而来水量的减少与上中游流域段耕地面积的增加有密切关系。人口数量的增长和耕地面积也有很大的相关性。进一步发现在塔里木河这样典型的内陆河流域,人口增长对耕地面积(在干旱区流域基本等同于灌溉面积)不仅有密切的关系,而且不同的流域段人口增长对耕地增大的驱动效果也不同,人口增长的驱动对下游土地退化的影响具有从源流向下流的传递性,下游的土地沙化主要通过源流和上中游人口增长对下游来水量的影响传递产生。

关键词:人类活动; 塔里木河下游; 沙漠化

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0056-05

Influences of Human Activities on the Desertification in the Lower Reaches of Tarim River

Ayxam · Ismayil¹, Tursun · Qasim¹, Zumrat · Ibrayim¹, Mamutjan · Qari², Mnisahan · Tursun¹

(1. College of Resources & Environment Sciences, Xinjiang University,

Urumqi 830046, China; 2. Geographical Group of the Forth Middle School, Atux, Xinjiang 845300, China)

Abstract: Arid areas of Tarim River region is the most significant in the process of desertification in the world. Since the past 50 years the irrational development activities, resulting in severe degradation of ecological environment. Especially as the main natural vegetation and ecological processes of ecosystems due to spatial and temporal patterns of water resources adversely affected by anthropogenic change, resulting in environmental degradation, the decline of natural vegetation, desertification intensified. This study, mainly start from the desertification causes of the lower reaches of Tarim River, starting from the relations of the whole and part to find desertification reasons in the lower reaches of the Tarim Basin, the use of 3S technology and relevant statistical analysis Tarim River Regional population growth, water use on the impact of desertification means as well as the extent of the impact. Analysis results show that the lower reaches of Tarim River in Xinjiang direct causes of desertification is the increase in water consumption in the main stream and downstream to the reduction of water, the water reduction from the upper and middle reaches of the basin is closely related to the increase in arable land. Analysis show that population growth and arable land have great relevance. Further found that in

收稿日期:2010-05-22

修回日期:2010-07-08

资助项目:国家自然科学基金项目(40561013, 41061047);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:阿依先木·司马义(1984—),女(维吾尔族),新疆库尔勒人,硕士研究生,主要从事干旱区资源与环境方向的研究。E-mail: Hanayxiam88@gmail.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,硕士生导师,主要研究方向为干旱区地貌与环境。E-mail: Tursun_kasim@yahoo.com.cn

this typical inland of the Tarim river basin,the population growth is not only closely related the cultivated land area (in the arid zone basin equivalent to the basic irrigation area),but different population growth above the valley of the arable land has also increased the different drive effect, the drivers power of population growth effect on the land degradation of downstream have the transitivity from the origins to downstream, the land desertification of the downstream,mainly produce to transit through the impact that the population growth of the origin and the upper and middle reaches effects on the water of the lower reaches.

Key words:human activities; the lower reaches of Tarim River; desertification

塔里木河下游是指由卡拉到台特玛湖的河段,主河道长约 428 km,走廊面积为 4 240 km²。下游段东侧为库鲁克沙漠,西侧为塔克拉玛干沙漠,两大沙漠之间为塔里木河下游冲积平原,这里生长着荒漠河岸林和沙生、盐生植被,因其景观与周围环境形成鲜明对照,这一廊道性植被带因此被称为绿色走廊^[1]。近 50 a 来塔里木河源流区和干流上游区的水土开发活动,使得下游地区的来水骤然减少,中断有近 30 a 的历史,从而引发了下游绿色走廊逐步走向衰败,土地沙漠化趋势加剧等生态环境恶化问题。

沙漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。也可以说,沙漠化主要是发生在人类历史时期,特别是最近一个多世纪以来。强调人地关系及其相互作用,即只有人类活动对自然环境和资源的不利影响与以风为主导外营力的相互作用下造成的土地退化才是沙漠化^[2]。引起沙漠化的因素很多,它是气候、土壤、地质、地貌、植被、水文等自然因素与人为因素共同作用的结果^[3]。在塔里木河下游这一特定区域,近 50 a 来,气候变化不显著^[4],而人类不合理的开发活动是造成该地区沙质荒漠化(以下简称沙漠化)程度不断加重的主要原因。塔里木河下游地区,1958 年沙漠化面积仅占土地总面积的 12%,到 2000 年沙漠化土地面积超过 90%^[5],在其面积扩大的同时程度也在加剧,自然景观也发生了一系列变化。其沙漠化过程可以用一个关系式表述:人类不合理的开发活动→塔里木河下游断流→地下水位下降→土壤

含水量下降→地表植被生态系统退化、多样性丧失→地表出现沙漠化景观→“绿色走廊”衰退并逐渐失去植被保护→灾害性天气频度和强度增大→胡杨林及灌木死亡→进一步加剧沙漠化进程→塔克拉玛干与库姆塔格两大沙漠合拢^[1,6]。

1 数据来源与研究方法

数据源主要包括 1973 年的 MSS 影像、1990 年的 TM 影像和 2000 年的 ETM 影像。此外,还采用了近 50 a 间塔里木河下游气象站点年降水量、气温等数据来分析研究区的自然环境变化。运用遥感图像处理软件 ENVI 4.5 分别对 3 期不同的遥感影像进行边界裁定、几何校正等数据预处理,综合运用非监督分类和监督分类、聚类分析、过滤分析、去除分析等方法,完成对新疆塔里木河下游遥感影像解译与分析。利用 TM/ETM4,3,2 波段合成标准假彩色影像提取沙漠化信息,并根据干旱区土地沙漠化时间变化在遥感图像上的判图指标及影像特征,对研究区进行土地沙漠化分类强度等级的划分,得出塔里木河下游地区近 50 a 来土地沙漠化变化结果并对其进行分析研究。

2 土地沙漠化分级指标

区域沙漠化分级的最重要指标是植被疏密度,另外,沙丘的强度、类型和流动沙丘的活动以及流动沙丘所占该区的面积等也是沙漠化分级的重要指标。按照沙漠化的状况、动态和在陆地卫星 TM 图像上解译的可能性将该调查区域的沙漠化分为 4 个等级(表 1)。

表 1 土地沙漠化类型分类标志和指标

沙漠化强度	非沙漠化土地(农田)	弱沙漠化(林地)	强沙漠化(草地)	沙漠
植被监督	<50	50~30	30~15	>15
流动沙丘活动状况	固定沙丘	半固定沙丘	半流动沙丘	流动沙丘
流动沙丘类型	沙滩上有灌木生长小片状流沙	灌丛植被与沙滩及网状沙丘交替出现	网状沙丘是主要形式间有新月形沙丘	新月形沙丘与链状沙丘是主要形式
流动沙丘的密度/%	<5	5~20	21~50	>50
沙丘的分布规律	少量流沙分布在井泉,居民点附近或开垦的农田中	农田,草场普遍受风蚀,风蚀地常有出现斑点状流沙或吹扬灌丛沙滩	半流动与半固定沙丘交错分布,流动沙丘及吹扬灌丛沙滩片状分布	流动沙丘大面积分布
沙漠化土地占该区的面积/%	<5	5~25	26~50	>50

3 塔里木河下游土地沙漠化动态变化

根据 1973 年、1990 年和 2000 年塔里木河下游区遥感影像进行沙漠化遥感解译调查,塔河下游土地沙漠化变化如:1973 年塔里木河下游土地沙漠化面积 814.6 km²,占区域面积的 21.084%;1973—1990 年,塔里木河下游地区沙漠化面积净增长了 55.2 km²。1973—2000 年间,沙漠化面积增加了 224.1 km²。由于自然因素和人为因素的叠加,特别是人口的增长,水资源利用的不合理使土地压力增大,加速了沙漠化的发展。1959—1983 年的 24 a 间,塔里木河中下游沙漠化土地由 69.23% 上升至 80.6%,上升了 11.4 个百分点,沙漠化土地年增长 0.45%,而 1978—1983 年的 5 a 间平均每年却增加 2.23%,沙漠化危害日趋严重^[9]。1958—1978 年间塔里木河下游除阿拉干和考干两地平缓起伏的流沙地以 3%~7% 的速率增加之外,半流动和半固定沙地变化并不太大,一般只有 1% 左右,而林地面积还略有增加,表明 50—70 年代期间塔里木河下游水源条件较好,尚能维持天然胡杨和红柳林的生长条件。可是到了 1978—1983 年间,除自然的原因之外,人为破坏空前加剧,生态环境急剧变坏,仅 5 a 时间林地面积就以 40% 的速率减小,固定和半固定沙地面积也以百分之几至百分之几十的速率减小。特别是在阿拉干地段,情况最为严重,固定和半固定沙地的面积迅速减小,流动的平沙地面积急剧增大,增长率可达 94.54%^[8]。1959—1996 年,阿拉干地区的沙漠化总面积由 1 371.22 km²,增加到 1 494.29 km²,同期极度沙漠化面积及其所占比例逐年增加,由 1959 年、1983 年和 1992 年的 30.20%、31.56% 和 33.76% 增加到 1996 年的 35.23%,同时,强度沙漠化所占的比例也由 1959 年、1983 年和 1992 年的 6.08%、6.13% 和 9.20% 增加到了 1996 年的 11.67%。而且强度、极强度沙漠化土地面积占了 47% (图 1)^[9]。

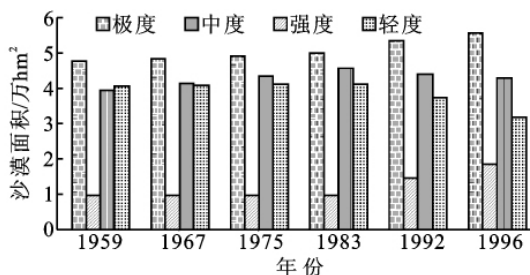


图 1 阿拉干地区沙漠化现状

4 沙漠化的成因分析

一般认为沙漠化是人类活动和气候变化共同作用的结果,但是近代,随着科学技术水平的不断进步,

人类干预自然的能力得到了前所未有的增强,人类活动已经成为引起各类沙漠化的最主要原因。也就是说,原来非沙漠化的土地演变成沙漠,这是潜在沙漠化土地“就地起沙”的结果。所谓潜在沙漠化土地,主要是指植被生长较好,基本无风沙流动的土地,一旦失去水分的保养和植被保护,特别是受人为活动影响,导致风蚀流沙形成,因此在自然因素的基础上叠加了人类活动,加剧了沙漠化的发展。

4.1 自然因素

4.1.1 气候因素 现代气候变化对荒漠化的影响是一个缓慢而渐进的过程,主要是通过气候变化对旱地土壤、植被、水文循环的影响,使沙漠化发展速度和强度发生变化,特别是气候要素(气温、降水、风等)中的降水变化起关键作用。塔里木河下游属温带极端干旱气候,降水稀少,风多风大,沙源丰富,沙尘暴频繁,这是促使沙质荒漠化(沙漠化)发生和发展的自然动力。从近 50 a 来研究区域平均气温和降水资料来看(图 2),年平均气温和降水量从 60—90 年代基本上呈增高趋势。就近 10 a 的状况来看,气温与 60 年代相比,增加了 0.5℃,但是并不显著,有波动性变化,且波动较小。一般认为,当气候变干冷时,沙漠的范围就扩展,固定沙丘就向流动沙区发展;气候变湿热时,沙漠就收缩或固定,这种变化时间尺度及幅度都较大。沙漠化的发展和逆转则表现在相同的气候条件下,且时间也较短。在干旱荒漠气候控制下有些年份降水却气温稍偏高,有些年份则偏低的现象是存在的,这是气候的正常变化。塔里木河下游年降水量平均仅为 20~50 mm,年蒸发量(潜势)平均却达 2 500~3 000 mm。平均年降水量 60—80 年代呈逐年代递增的趋势,与多年平均相比,虽然平均增加了 9%^[4],可是到了 90 年代降水量呈现减少趋势。在这种极端干旱的气候条件下,植被一旦破坏,地面便十分干燥,温差悬殊,土体易于机械崩解。研究区域近 50 a 来降水和气温呈波动性变化,气候的波动毕竟较小,现代气候条件和变化的幅度不足以造成环境大的改变、沙漠的大幅度扩张或收缩或者大范围的活化或固定。

4.1.2 土壤因素 塔里木河全流域土壤含有第四纪松散残积物、洪积物、冲积物和风积物,这些混积物都含有沙物质且风沙土广为分布,这都成为沙质荒漠化的物质基础。

4.1.3 植被因素 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,植被稀疏、生长矮小、种类贫乏、结构单纯。植被类型主要为荒漠河岸林(胡杨 *Populus euphratica*、柽柳 *Tamarix chinensis*)、盐生草甸、沼泽等非地带

性植被。另外还有 50% 以上的土地为光裸沙丘和龟裂地^[15]。

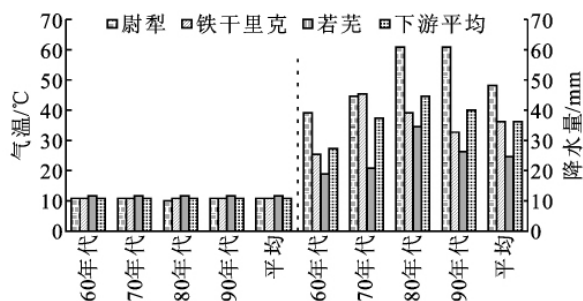


图2 近 50 a 内塔里木河干流下游区气温和降水的变化

4.2 人类活动

沙漠化的人为成因问题,指出“由于人为的原因,把不该成为沙漠化的地方破坏成为沙漠化”。在半干旱、干旱地区的土地沙漠化过程中,人类活动往往起到十分重要的作用,尤其是半干旱草原区与干旱区的天然绿洲。干旱、半干旱地区人类活动的贡献率远远大于自然因素的贡献率,主要表现在以下几个方面。

4.2.1 流域人口增长和来水量变动以及与土地沙漠化的关系分析

随着人口数量的不断增加,人类干预自然过程的能力逐渐增强。人口的增长带来对食物、燃料等基本生活资料需求的增长,土地压力不断增加,一些地方出现了无序开荒、毁林开荒及大面积撂荒的现象,造成沙漠化的加速扩展和蔓延。统计表明,塔里木河干流流域的人口从 20 世纪 50 年代以来经历了一个快速的增长过程。1958 年,该区域总人口为 176.69 万人,到 2003 年末,塔河流域总人口达到 454.7 万人,人口增长了将近 2 倍。年增长率为 2.12%。其中,97% 的人口集中在源流段,分布在上中游和下游的人口分别占到全流域的 2.14% 和 1%^[10]。干流流域的 5 个县市 20 a 的人口资料,分别为阿拉尔、沙雅、库车、轮台、尉犁。自 1988 年以来,塔里木河干流流域人口数量总体不断增长,但增长速度逐渐趋缓。1988—2007 年,总人口数从 70.21 万人增长到 97.06 万人,20 a 间净增人口 26.85 万人,总人口增长率达到 38.32%,年递增率为 1.72%。塔河干流流域的人口上中游人口最多,所占比值最大,1998 年占干流流域的 78.18%,2007 年占 77.25%,所占比重比较稳定。中游人口由 1988 年的 19.42% 到 2007 年的 20.25%,增加了 0.83%。下游人口从 1998 年以来一直保持 2.25% 左右,仅能占整个干流区域的很小部分(图 3)。在塔里木河这样典型的内陆河流域,人口增长的驱动对土地退化的影响具有从干流上游向下游的传递性,干流人口增加直接影响下游沙漠化面积的多少,并且呈线性正相关^[17]。

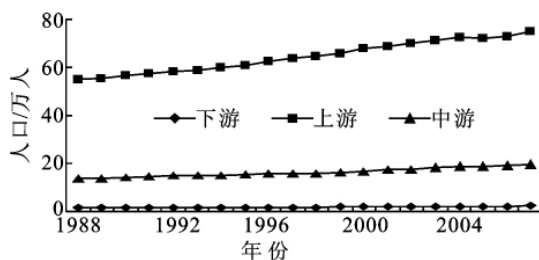


图3 20 a 来塔河干流各段流域的人口变化折线图

水资源利用不合理造成土地沙漠化问题,主要发生在干旱半干旱地区。由于河流上中游盲目引水开荒,大水漫灌,造成河流下游地区缺水、断流,致使天然绿洲产生沙漠化。塔里木河的三条源流河的径流变化和水资源利用状况,决定了塔里木河的水量变化,也深刻影响了塔里木河干流的水质和下游的生态环境^[11]。塔里木河流域土地沙漠化不断扩展的直接成因,是下游水量减少以及地下水位下降。据统计,塔里木河上、中、下游来水量在过去 50 a 里均呈现迅速下降的趋势,尤其是下游来水量减少最快。据阿拉尔断面多年监测结果显示,自 20 世纪 50 年代以来,进入塔里木河干流的水量呈现明显减少的趋势,从 20 世纪 50 年代来水量 56.2 亿 m^3 迅速下降到 70 年代的 43.2 亿 m^3 ,90 年代下降到最低点 39.4 亿 m^3 。中游的径流量从 20 世纪 60 年代的 35.14 亿 m^3 ,下降到 90 年代的 22.78 亿 m^3 ,减少了 35.18%,2001—2005 年平均径流量降至 22.58 亿 m^3 ,与 60 年代相比减少了 35.74%,但与 90 年代相比并无明显减少。下游恰拉的来水量更是从 20 世纪 50 年代的 13.53 亿 m^3 迅速减少到 80 年代的 3.93 亿 m^3 ,到 90 年代进一步减少到 2.28 亿 m^3 ^[12,17](图 4)。下游的工农业生产和人民生活出现了用水的紧张局面,一些耕地和村庄被废弃,过去的一些绿洲区域正在逐步与沙漠连成一片。同时,由于下游来水量减少,塔河下游地下水位由 1959 年的 3.1 m,降至 1992 年的 10.3 m,远远超过了天然植被赖以生存的地下水位线^[13]。沿河大量天然胡杨林由于缺乏生态水和地下水位的下降而枯萎退化和消失,从而加速了塔河下游的沙漠化扩展。

4.2.2 人为破坏植被,过度砍伐、垦殖、放牧、樵采是导致土地荒漠化的重要原因 60 年代以来,塔河流域为发展地方经济,进行了大规模水土开发,大量砍伐植被,毁林、毁草开荒造田,使胡杨林资源遭到严重破坏。主要原因是,流域的广大农村牧区仍以砍伐天然植被为燃料来源,伐木作柴,掘草为薪,燃秸取火现象非常普遍,广泛分布于沙漠边缘的柽柳、胡杨,它们庞大的根系和枝干起着防风固沙、屏蔽绿洲作用,经挖掘和砍伐,自然条件下难以恢复,结果导致沙丘活化。20 世纪 50 年代以来,随着人口的迅速增长,尉

犁、若羌一带对燃料和木材的需要日益增多,砍伐活动不断扩大,1958年,塔里木河下游五个农垦团场相继建立,仅垦荒砍伐胡杨林就达 167 km^2 ^[14]。据估算,垦区 5 个团场每年约砍伐薪柴 3 万 t。其中有的团场,(如 35 团)还以胡杨和红柳作工业燃料,加工甘草膏,造成垦区外围的流沙不断入侵。如 32 团东部由于红柳被砍光,破坏了较为稳定的沙面而形成一条高 8 m,长 100 多米的流动沙梁,埋掉耕地,渠道和林带^[8]。塔里木河下游的天然胡杨林 20 世纪 50 年代胡杨林的面积由 540 km^2 ,到 1995 年减少了 73.33 km^2 ;沙漠化面积迅速扩大,1996 年比 1959 年增加了 123.1 km^2 ,沙漠化土地面积由 86.98% 增加到 94.34%,沙漠化的年增长率平均 0.24%^[10]。塔河两岸胡杨林、草地几乎到处可见滥挖甘草(*Glycyrrhiza*)留下的土坑,松土暴露地面,林木根系被挖断,林木衰败枯死,草场破坏,加剧土地荒漠化。据统计,流域各团场每年采挖量达 2 000 t,按每挖 1 kg 甘草松动破坏林地或草地 $2 \sim 3 \text{ m}^2$,则每年一个团场破坏林地或草地 $27 \sim 40 \text{ 万 hm}^2$ ^[15]。

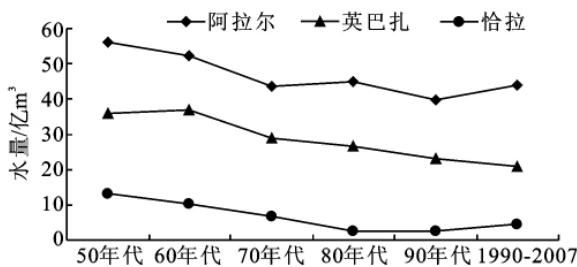


图 4 塔里木河各段来用水量图

4.2.3 盲目开荒和人为不合理耕作是造成土地荒漠化的直接原因 滥垦主要发生在农牧交错区,塔河流域源流耕地从 1958 年的 47.847 万 hm^2 增加到 2003 年的 77.293 万 hm^2 ,增加了 29.446 万 hm^2 ,平均每年增加 0.64 万 hm^2 ,2003 年源流耕地面积是 1958 年的 1.62 倍。上中游耕地面积也由 1958 年的 2.86 万 hm^2 增加到 2003 年的 4.415 万 hm^2 ,增加了 54%。相比之下塔里木河下游耕地面积变化很小,1958 年下游耕地面积仅为 1.402 万 hm^2 ,占整个流域耕地面积的 2.7%,5 a 后,下游耕地面积为 1.671 万 hm^2 ,增加了还不到 0.3 万 hm^2 ^[11]。在土地耕种方面,由于时弃时耕,灌溉方法不合理,缺水矛盾越来越大,许多已开垦的土地被迫弃耕撂荒,这些土地失去植被和灌溉。这不仅破坏了土地资源,加速了土地沙漠化的进程,而且还形成“愈穷愈垦,愈垦愈穷”的恶性循环局面。

5 结论

人口急剧增加造成的压力和经济活动对环境的强烈干扰,才是造成大范围生态环境恶化和沙漠化发生发展的主要原因,即沙漠化的正逆向发展主要受控于

人类经济活动。下游农灌区无水可用,大片良田撂荒,河两岸植被衰败,沙漠化加剧。航空像片及卫星像片分析结果表明,近 50 a 来研究区域沙漠化面积逐年增加,程度不断加重的土地一般呈片状交错分布于农田和草原上,即人类活动最强力的区域,而不是整个区域。过度垦荒,掠夺式挖采甘草,无情地砍伐森林,使草场和胡杨林变成了一次性使用的牺牲品,造成胡杨林面积大幅减少。特别是水资源的不合理利用,向下游的河流水量大为减少,地下水位下降,植被衰退,沙漠化发展十分严重。生态环境严重恶化,这种局面的不断发展,影响着生态系统的稳定性,制约着下游资源的开发及经济的持续发展^[16],这表明在近 50 a 来研究区域沙漠化的迅速发展,并不是对所谓自然因素变化的响应,而主要是人为活动的结果。

参考文献:

- [1] 韩桂红,吐尔逊·哈斯木,石丽.塔里木河下游土地沙漠化及其原因探讨[J].中国沙漠,2008,3(2):217-222.
- [2] 郭坚,王涛,韩邦帅,等.近 30 a 来毛乌素沙地及其周边地区沙漠化动态变化过程研究[J].中国沙漠,2008,11(6):1017-1020.
- [3] 朱震达.沙漠化概念的新进展[J].干旱区研究,1993,10(4):8-10.
- [4] 杨青,何清.塔里木河流域下游的气候变化与生态环境[J].新疆气象,2000,3(3):11-14.
- [5] 吐尔逊·哈斯木,瓦哈甫·哈力克,艾力克木·哈德尔,等.塔里木河下游生态输水前后生态与环境的动态变化研究[J].干旱区资源与环境,2007,4(4):42-47.
- [6] 徐海量,陈亚宁,李卫红.塔里木河下游环境因子与沙漠化关系多元回归分析[J].干旱区研究,2003,3(1):39-43.
- [7] 凌裕泉,高鹏殉,金炯,等.塔里木河下游沙漠化特征及其发展趋势[J].中国沙漠,1985(1):3-15.
- [8] 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,2000,7(4):59-63.
- [9] 童玉芬,吴彩仙,王渤元.新疆塔里木河流域人口增长、水资源与沙漠化的关系[J].人口学刊,2006(1):37-40.
- [10] 樊自立,胡文康,白一亿.巨资救塔河—塔里木河综合治理工程[J].中国国家地理,2002(1):100-101.
- [11] 刘晏良.塔里木河流域中下游实地勘探报告[M].北京:中国统计出版社,2000.
- [12] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河流域水资源生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1999.
- [13] 刘晏良.塔里木河中下游实地踏勘报告[M].北京:中国统计出版社,2000.
- [14] 樊自立.塔里木河流域资源环境及可持续发展[M].北京:科学技术文献出版,1998.
- [15] 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,1998,5(2):137-142.
- [16] 韩桂红.塔里木河干流流域人口增长、水资源利用对下游土地沙漠化的影响[D].乌鲁木齐:新疆大学,2009.