塔里木河下游生态输水对植被恢复和沙漠化逆转的影响

杨家军，吐尔逊·哈斯木，郝永娟，阿迪力·吐尔干，阿不力提甫·吾甫尔

（新疆大学 资源与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830046）

摘　要：针对近 50 a 来人类不合理的资源开发，导致塔里木河下游地区沙漠化程度加剧等一系列生态环境问题，结合实地考察和野外调查资料以及遥感影像数据，运用植被覆盖度、沙漠化动态度模型分析法，对塔里木河下游生态输水前后植被和沙漠化状况进行了分析。研究结果表明，生态输水后，植被覆盖度增大，植物种数明显增加；胡杨冠幅增大；裸地、沙地面积减少；非沙漠化和轻度沙漠化土地面积不断扩大，而重度沙漠化面积有减小趋势。生态输水对塔里木河下游植被恢复和沙漠化逆转起到了明显的作用。

关键词：生态输水；植被盖度；沙漠化；塔里木河下游

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)04-0323-05　　**中图分类号**：X171.4

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.076

Effects of Ecological Water Transport on Vegetaion Restoration and Desertification Reversion at Lower Reaches of Tarim River

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

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

Abstract: In the recent 50 years, many environmental problems appeared at the lower reaches of Tarim River, such as desertification developed, due to unreasonable exploitation of resource. Based on the spot investigation and field survey data and remote sensing image, using vegetation coverage model and desertification dynamic model, the vegetation and desertification status before and after ecological water transport at the lower reaches of Tarim River were analyzed. The results show that the vegetation coverage and species increased obviously after eco-water transport; The crown of *Populus euphratica* increased; The proportion of bare land and sandy area was declining; Meanwhile, the non-desertification and light desertification area kept expanding. The severely desertification area showed a decreasing trend. The eco-water transport had obvious effect on the vegetation restoration and desertification reversion.

Keywords: ecological water transport; vegetation coverage; desertification; lower reaches of Tarim River

塔里木河流域地处欧亚大陆腹地，是我国典型的干旱荒漠区，由于河道长期断流，造成该流域水文过程完全丧失，下游河段生态退化严重，天然植被大面积死亡，土地沙漠化进程加剧[1]。为此，国家和政府组织了以生态恢复和环境保护为目标的生态输水工程。研究表明[2-5]，生态输水对植被的恢复和生态环境的改善有明显的影响。主要表现在地下水位和天然植被的长势等发生明显的良性转变，但从沙漠化变化与植被群落变化对生态输水的反馈机制研究相对较少，国内相关学者近几年主要对塔里木河生态输水后单一要素以及沙漠化的原因进行了探讨研究。如吐尔逊·哈斯木等[6]对导致塔里木河流域土地沙漠化扩展的深层次原因进行了分析，以及对近 50 a 来塔里木河下游土地沙漠化影响因子进行了分析[7]，同时对塔里木河下游土地沙漠化的人为驱动作用进行了分析[8]，综合认为塔里木河下游出现沙漠化的主要原因是自然和人文因子的驱动结果；章予舒，王立新，张红旗等[9]对塔里木河下游沙漠化土壤性质及分形特征进行了研究，认为在地下水位较深时，土壤含水量与土壤不同层次土壤的质地黏重程度呈正相关；在有胡杨林存在条件下，林下灌木生存与否与 40—60 cm深度土壤含水量相关系数最大，当该层土壤含

收稿日期：2013-07-12　　修回日期：2013-09-13

资助项目：国家自然科学基金项目“塔里木河流域水资源利用变化及其对干流下游土地沙漠化动态变化研究”(41061047)；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)重点实验室开放基金项目(XJDX0201-2009-10)

作者简介：杨家军(1987—)，男(汉族)，陕西省安康市人，硕士研究生，研究方向为干旱区资源与环境。E-mail:yjjxjdx@sohu.com。

通信作者：吐尔逊·哈斯木(1961—)，男(维吾尔族)，新疆自治区轮台县人，教授，硕士生导师，主要从事干旱区地貌与环境研究。E-mail:Tursun_kasim@163.com.cn。

水量低于 16%时，胡杨林下灌木开始消亡；韩桂红，吐尔逊·哈斯木，石丽[10]对塔里木河下游土地沙漠化及其原因进行了探讨，主要对塔里木河下游土地沙漠化及其成因、沙漠化对下游地区可持续发展的危害进行了分析；本研究在实地考察和分析前人研究成果的基础上，对生态输水后生态环境的变化进行分析，以期为生态输水工程和塔里木河的治理以及可持续发展提供参考意见。

1 研究区概况

塔里木河下游（简称塔河）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 km^2，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”[10]，河流处于昆仑山脉和阿尔金山山脉之间，下游来水量主要靠四源流的冰川和融雪补给，特殊的地理环境和人类过度的干扰活动使得研究区生态环境极为恶劣，河流尾闾来水量不稳定、极端干旱、多风沙、以及夹存于两大沙漠和两大山脉间等情况，使绿色走廊土地沙漠化趋势始终存在。

针对塔里木河下游生态环境急剧恶化的严峻形势[11-12]，自 2000 年起，国家实施应急输水工程，从 2000—2011 年共 12 次生态输水，累计输水量达到 3.51×10^9 m^3，通过河道输水补给和抬升地下水位，恢复和重建塔里木河下游严重退化的生态系统。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 *植被覆盖度分析* 植被盖度是指植物冠层的枝叶垂直投影于地面，所覆盖地面面积的比率，即盖度=（植冠遮蔽地面面积/样地面积）×100%[13-14]。在植物生态学中，盖度是群落结构的一个重要数量指标，在干旱区生态环境监测下常常作为一个重要指标来使用，它是反映一个地区植被多少的定量指标，特别是植被指数的变化在某种程度上是当地环境条件的综合反映，因为植被指数受各种环境条件的综合影响，尤其是土壤条件、生态状况等，通过对植被指数的分析和研究，对了解某一地区的生态状况具有十分重要的意义[15]。为了客观描述研究区不同时期植被覆盖度变化，参照“国家土地利用现状调查技术规程”，和“全国草场资源调查技术规程”，“全国沙漠类型划分原则”相关条款[16-17]，根据塔河下游植被覆盖实际情况，在此基础上进行了修订，对研究区植被盖度进行了分级，各等级特征详见表 1。

表 1 塔里木河下游植被覆盖分类指标

等级	植被覆盖类型	分类等级描述
Ⅰ	极高覆盖植被区	0.8＜植被盖度＜1，相当于密灌木地、密林地、属优等植被覆盖
Ⅱ	高覆盖植被区	0.6＜植被盖度＜0.8，相当于灌木林地、中高产草地
Ⅲ	中覆盖植被区	0.3＜植被盖度＜0.6，相当于中等郁闭灌木林地、中产草地
Ⅳ	低覆盖植被区	0＜植被盖度＜0.3，相当于稀疏林地和沙生灌丛
Ⅴ	无覆盖植被区	植被盖度 0，主要有裸地、沙地、戈壁

并参照万红梅[18]对塔河下游植被恢复的遥感测度方法，在 ENVI 4.7 中，运用 ENVI-band math 将其范围归一化在（0～1）之间，即可得出 2000—2010 年各时期不同植被覆盖类型等级数据，在运用 ENVI 4.7 和 ArcGIS 10.0 对各时期不同植被覆盖等级数据进行统计和叠加分析，并采用植被覆盖变化状态与趋势模型分析塔河下游地区 11 a 间植被覆盖动态变化情况，其模型的主要表达式为[19-20]：

$$N_c=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times100\%=\frac{\Delta U_{in}-\Delta U_{out}}{U_a}\times100\% \quad (1)$$

$$T_c=\frac{\Delta U_{in}+\Delta U_{out}}{U_a}\times100\% \quad (2)$$

$$P_s=\frac{N_c}{T_c} \quad (3)$$

式中：N_c，T_c，P_s——单一覆盖植被类型的面积净变化指数、综合变化指数和趋势与状态指数；U_a，U_b——分别为研究初期和末期某一植被覆盖类型的面积；ΔU_{out}——研究时段内某一覆盖植被类型转变为其它类型的面积之和；ΔU_{in}——同时期其它类型转变为该类型的面积之和；n——覆盖植被类型总数。

2.1.2 *沙漠化动态度分析* 在土地覆被变化研究中通常用土地利用类型动态度来反映各个土地利用类型面积的变化幅度和变化速度以及变化中类型差异。而沙漠化作为一种土地类型，其动态度可以反映研究期内沙漠化土地变化的情况。其模型表达式为：

$$K=\frac{U_{mo}-U_{chu}}{U_{chu}}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

式中:K——研究区研究时段内某一类型沙漠化土地的动态度;U_{chu},U_{mo}——研究区初期、研究末期某一沙漠化土地面积;T——研究时段长,动态值绝对值大小反映变化幅度与速度大小,正负号代表沙漠化演变趋势。

2.1.3　对比分析法　对比分析法是把同一类事物在不同时期的状况、性质进行比较,以区别它们的变化状况。本研究主要对生态输水前后的植被和沙漠化状况进行对比分析。

2.2　数据来源

在野外实地考察和前人研究成果的基础上,利用遥感影像数据和项目研究区监测数据对塔里木河下游的植被与沙漠化变化状况进行生态输水影响分析。

3　结果与分析

3.1　生态输水对植被恢复的影响

3.1.1　生态输水后植被覆盖变化趋势分析　按照植被覆盖分类指标体系对各时期植被覆盖度进行划分后,得到 2000—2010 年各时期不同植被覆盖类型面积变化情况(图 1)。由图 1 可以看出,塔里木河下游主要以Ⅳ级低覆盖植被、Ⅴ级无覆盖植被区的裸地和沙地为主。经过 10 a 输水后,植被覆盖类型发生了变化,Ⅰ级极高覆盖植被面积 2000—2004 年持续增加,由 675.36 hm^2 增加到 1 090.04 hm^2,2006 年略减为 1 053.36 hm^2,2010 年增至 1 663.13 hm^2。Ⅱ级高覆盖植被面积呈现逐年增加的趋势,增加率达 1.16%,总体增加的速率为 2004—2006 年>2002—2004>2006—2010 年>2000—2002 年,这种变化的速率可能与生态输水达到下游的水量有直接关系。Ⅲ级中覆盖植被面积由 2000 年的 1 969.56 hm^2 增加至2002 年的 2 425.93 hm^2,2004 年略减为 2 265.82 hm^2,2006 年增加至 3 067.90 hm^2,2010 年则减为 3 063.17 hm^2,呈"稳步增加—略减—增加—略减"趋势。

总体来看,Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ级植被面积增加的速率较慢,年增加率分别为 0.42%,0.39%,0.46%。Ⅳ级低覆盖植被面积呈从 2000—2010 年先增加再减少再增加的趋势。输水初期该类型面积为 18 288.77 hm^2,输水 10 a 后 2010 年已增至 26 891.37 hm^2,年增加率达到 3.62%。Ⅴ级无覆盖植被区主要是裸地和沙地,生态输水后面积呈减小趋势,年减少率达到 4.78%。说明输水后植被恢复效果明显,Ⅳ级低覆盖植被面积明显增加,Ⅴ级无覆盖植被面积明显减少,生态输水塔河下游植被的恢复状况明显。

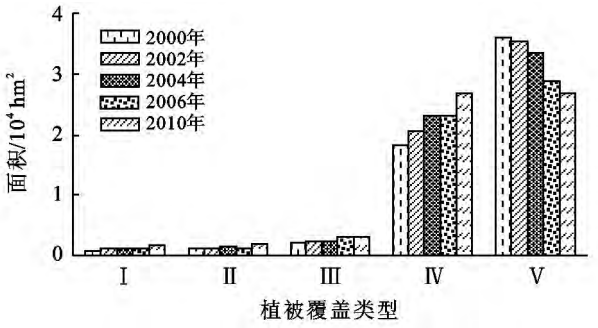


图 1　塔里木河下游不同植被覆盖类型面积变化

3.1.2　植被覆盖动态变化趋势　为了更好地反映输水后植被的变化情况以及与输水之间的关系,运用植被覆盖模型计算方法得到植被覆盖变化的过程和趋势指数(图 2)。其中 P_s 为单一覆盖植被类型的变化趋势与状态指数($-1\leqslant P_s\leqslant 1$),当 $0\leqslant P_s\leqslant 1$ 时,该覆盖植被类型朝着规模增大的趋势发展,当 $-1\leqslant P_s\leqslant 0$ 时,该覆盖植被类型朝着规模减小的趋势发展。从图 2 可以看出输水 10 a 间各种类型植被覆盖指数出现"增—减"交替波动变化。Ⅰ级极高覆盖植被指数除在 2004—2006 年时间段呈减小变化,其指数为 −0.03,其它时间段指数变化范围在 0～1 之间,说明该覆盖植被类型朝着规模增大的趋势发展。Ⅱ和Ⅲ级植被类型指数都在 0～1 之间,表明 10 a 的生态输水使得Ⅱ和Ⅲ级植被类型规模扩大。Ⅳ级低覆盖植被指数在 2000—2002 年增加明显,其指数为 1,但 2004—2006 年指数下降为 0 以下,植被覆盖规模有所减小。而Ⅴ级无覆盖植被区状态指数从 2000 年输水开始到 2010 年一直在 −1～0 范围内变化,特别是 2000—2002 年变化明显,说明输水后植被得到较好地恢复,裸地、沙地和戈壁面积在不断的减小。

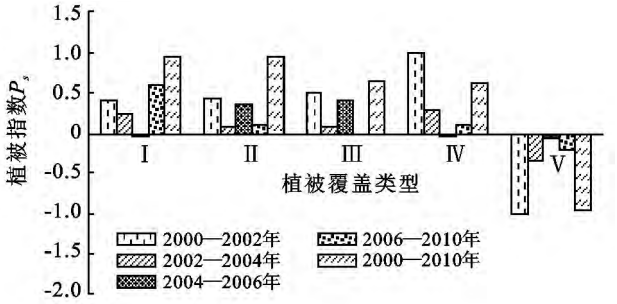


图 2　塔里木河下游各植被覆盖类型变化指数

3.2　地下水与植被的变化

3.2.1　胡杨对输水的响应　生态输水后胡杨冠幅随着距河道的距离增加,冠幅呈减小的趋势(图 3)。输水前,冠幅在 5 m^2 上下波动,且波动性较小。生态输

水后冠幅大幅度的上升，距河道 500 m 以内的冠幅超过 15 m^2，最高可达 22.52 m^2，且波动性较大，在距河道 500 m 以外，胡杨冠幅迅速下降，到 900 m 以外，胡杨冠幅与生态输水前的冠幅相同，说明生态输水对植被的恢复起到了有效的作用，但由于输水量有限，不能够满足大面积植被的恢复和生长，输水后距河道越近的植被恢复和生长状况越优。

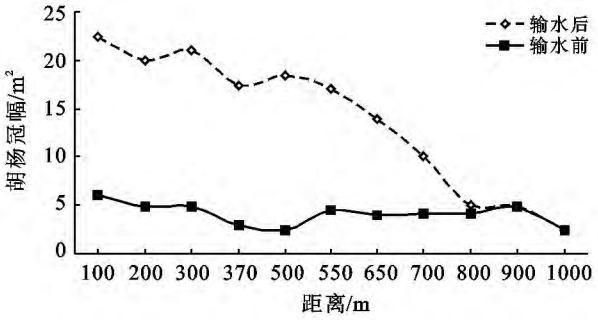


图 3 塔里木河下游胡杨对输水河道变化的响应

3.2.2 *植被群落与地下水位的空间变化* 根据表 1 对塔河下游植被覆盖的类型分级，结合塔河不同监测断面处的植被变化情况和地下水位变化情况分析可以看出，生态输水后塔河下游地下水位呈现从下游上中段向下段埋深增加的现象，群落的组成结构也发生明显的变化。由图 4 可知：(1) 随着地下水位埋深的增加，植物种类数减少，从上游的阿克墩断面至下游的依干布及麻断面由乔、灌、草群落组成逐渐演变成单一的灌木群落。英苏、阿布达勒断面以及喀尔达依断面的部分地段为乔、草群落组成，乔木主要是胡杨，灌木多为柽聊、铃铛刺，草本植物有甘草、罗布麻、骆驼刺等。胡杨与柽柳是该群落的优势种。(2) 植被盖度阿克墩断面为 0.48，从分级标准看，属于Ⅲ级中覆盖植被区，越到下游下段植被盖度越低，到依干布及麻下降到 0.04，属于Ⅳ级低覆盖植被区。(3) 总体来看，群落内植株间生长稀疏，草本植物分布多呈碎片状，最大植被密度的阿克墩也只有 0.55，依干布及麻除了主要以胡杨和柽聊为主外，草本植物稀少，除了偶尔能见到深根系的骆驼刺以外，几乎无其它草本植物，而且大多数植被呈衰败状态。

3.3 沙漠化变化

3.3.1 *沙漠面积变化* 塔里木河下游非沙漠化、轻度沙漠化、严重度沙漠化面积呈逐年增加趋势(图 5)，中度沙漠化表现为先减少后增加，重度沙漠化表现为先增加后减少。1990 年非沙漠化面积为 0.51 km^2，2011 年增长为 17.97 km^2，增长幅度较大。主要是因为向塔河下游生态输水，水域面积增加的原因。其中轻度沙漠化面积增加趋势不明显，1990 年面积为 0.11 km^2，2001 年增长为 0.3 km^2，至 2011 年增长到 0.92 km^2。中度沙漠化面积 1990 年为 44.56 km^2，2001 年面积缩减为 11.64 km^2，但 2011 年又增长到 29.09 km^2。重度沙漠化在塔河下游占到比例最大，所占百分比为 55.07%，1990 年面积为 104.73 km^2，2001 年扩大到 134.36 km^2，而 2011 年面积缩小到 65.57 km^2。严重度沙漠化面积 1990 年为 40.25 km^2，2001 年面积增加为 43.25 km^2，2011 年扩大到 76.61 km^2。

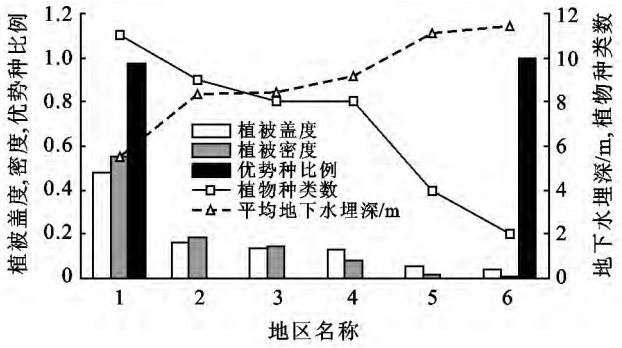


图 4 塔里木河下游植被群落与地下水变化

1. 阿克墩；2. 英苏；3. 阿布达勒；4. 喀尔达依；5. 阿拉干；6. 依干布及麻。

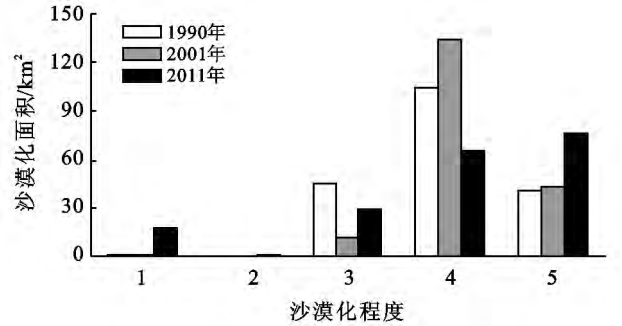


图 5 塔里木河下游各年不同程度沙漠化面积变化

注：1. 非沙漠化；2. 轻度沙漠化；3. 中度沙漠化；4. 重度沙漠化；5. 严重度沙漠化。

3.3.2 *沙漠化土地动态度分析* 由表 2 可以看出，塔里木河下游非沙漠化和轻度沙漠化的绝对值较大，且都为正值，表明非沙漠化和轻度沙漠化动态变化大，朝着有利于生态环境恢复和改善的方向发展。1990—2001 年轻度沙漠化动态度为 15.70%，而中度沙漠化的动态度为 −6.72%，说明中度沙漠化在朝减小的趋势变化。2001—2011 年非沙漠化动态度高达 284.59%，其次为轻度、中度、严重度沙漠化动态度，分别为 20.67%，14.99%，7.71%。而重度沙漠化为 −5.12%。1990—2011 年塔里木河下游非沙漠化动态度为 163.03%，其次为轻度和严重度沙漠化，动态

度分别为 35.06%和 4.30%,中度和重度沙漠化都为负值,分别为-1.65%和-1.78%。

表 2　塔里木河下游沙漠化土地动态度变化　%

沙漠化类型	1990—2001 年	2001—2011 年	1990—2011 年
非沙漠化	1.78	284.59	163.03
轻度沙漠化	15.70	20.67	35.06
中度沙漠化	-6.72	14.99	-1.65
重度沙漠化	2.57	-5.12	-1.78
严重度沙漠化	0.68	7.71	4.30

4　结 论

(1) 塔里木河下游生态输水工程在一定范围内对下游地区的沙漠化起到了明显的抑制作用,其突出表现是随着水分条件的好转,植被出现显著的生态响应,植被盖度增大、种类增多,植被的恢复能有效地减缓土地沙漠化的速度,增强了抗风蚀、抗沙漠化的能力,随着这一作用的显现,在输水河道一定范围内的沙漠化得到逆转。

(2) 塔河下游的阿克墩断面至依干布及麻断面,随着地下水的埋深加大,植被盖度和密度降低、植物种类减少、群落结构趋向单一化的生态系统退化趋势,且胡杨冠幅随着距河道的推进冠幅增大。表明水是影响塔河下游植被生存和分布的主导因素,地下水位的不断下降是导致塔河下游植被衰败的主导因子。

(3) 塔河下游生态环境通过生态输水后改善和恢复明显,有利于减缓沙漠化的扩张,减轻塔河流域的耕地压力。但出现生态环境恶化的主要原因是人类不合理开发利用水资源和沿岸的土地资源,导致农业挤占生态用水,滥垦滥伐导致地表植被破坏,地表裸露,在风力的侵蚀下沙漠化扩张加速。因此,在生态输水过程中,相关部门应加强塔河流域的水资源管理。

[参 考 文 献]

[1] 安红燕,叶茂,徐海量,等. 塔里木河下游胡杨径向生长量对生态输水的响应[J]. 中国沙漠,2011,31(4)958-962.

[2] 付爱红,陈亚宁,李卫红. 新疆塔里木河下游胡杨不同叶形水势变化研究[J]. 中国沙漠,2008,28(1):83-88.

[3] 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[J]. 中国沙漠,2004,24(3):301-305.

[4] 高前兆,屈建军,王润,等. 塔里木河下游绿色走廊生态输水对沙漠化逆转的影响[J]. 中国沙漠,2007,27(1):52-58.

[5] 杨戈,郭永平. 塔里木河下游末端实施生态输水后植被变化与展望[J]. 中国沙漠,2004,24(2):167-172.

[6] 吐尔逊·哈斯木,曼尼萨汗·吐尔隼,祖木拉提·伊布拉音. 导致塔里木河流域土地沙漠化扩展的深层次原因分析[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1381-1386.

[7] 吐尔逊. 哈斯木,曼尼萨汗. 吐尔隼,韩桂红,等. 近 50 a 以来塔里木河下游土地沙漠化影响因子分析[J]. 中国沙漠,2009,29(6):1030-1034.

[8] 吐尔逊·哈斯木,阿依先木·司马义,祖木拉提·伊布拉音,等. 塔里木河下游土地沙漠化的人为驱动作用分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(4):19-23.

[9] 章予舒,王立新,张红旗,等. 塔里木河下游沙漠化土壤性质及分形特征[J]. 资源科学,2004,26(5):12-17.

[10] 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,2008,28(2):218-222.

[11] Southgate R, Masters P, Seely M. Precipitation and biomass changes in the Namib Desert dune ecosystem [J]. Journal of Arid Environments, 1996,33(3): 267-280.

[12] Liu Yongbo, Chen Yaning. Saving the "Green Corridor": Recharging groundwater to restore riparian forest along the lower Tarim river[J]. China Ecological Restoration, 2007,25(2):112-117.

[13] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987:18-19.

[14] 曲仲湘,吴玉树. 植物生态学[M]. 北京:人民教育出版社,1983:189-191.

[15] 田庆久,闵详军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展,1998,13(4):327-328.

[16] 徐海亮,宋郁东,王强. 胡杨生理指标对塔里木河下游生态输水的响应[J]. 环境科学研究,2003,16(4):24-27.

[17] 陈亚鹏,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨生理特点分析[J]. 西北植物学报,2004(10):1943-1948.

[18] 万红梅,塔里木河下游植被恢复的遥感测度[D]. 新疆乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.

[19] 朱磊,罗格平,陈曦,等. 伊犁河中下游近 40 年土地利用与覆被变化[J]. 地理科学进展,2010,29(3):292-300.

[20] 罗格平,周成虎,陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J]. 地理学报,2003,58(1):63-72.