

叶尔羌河流域 1990—2010 年生态环境变化特征

杜清^{1,2},徐海量¹,张广朋³,白玉锋³,张沛^{1,2},凌红波¹,赵新风¹
(1.中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆乌鲁木齐 830011;
2.中国科学院大学,北京 100049; 3.新疆农业大学,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:利用叶尔羌河流域 1990、2000 年和 2010 年 Landsat-TM 影像数据和中巴资源卫星数据,结合 GIS 技术及生态环境状况指数计算方法,分析流域内 1990—2010 年流域生态环境变化特征。结果显示:1990—2010 年,叶尔羌河流域生物丰度指数、植被覆盖指数和土地退化指数分别减少 4.53%、4.00% 和 3.56%,水网密度指数整体增高了 3.71%;1990、2000 年和 2010 年,叶尔羌河流域生态环境状况指数分别为 34.94、34.77 和 34.32,均属于较差级别,受自然和人为因素的双重影响流域生态环境趋于退化。

关键词:叶尔羌河流域;土地利用/覆被;生态环境状况

中图分类号:X37 **文献标志码:**A

Features of eco-environmental changes in Yarkant River Basin from 1990 to 2010

DU Qing^{1,2}, XU Hai-liang¹, ZHANG Guang-peng³, BAI Yu-feng³,
ZHANG Pei^{1,2}, LING Hong-bo¹, ZHAO Xin-feng¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: This paper analyzed the land use change in Yarkant River Basin during recent 20 years using Landsat-TM and CBERS images from 1990, 2000, and 2010 combined with GIS and the ecological environment index calculation methods. The results showed that during the years from 1990—2010, the species richness index, vegetation coverage index and land degradation index were decreased by 4.53%, 4.00% and 3.56%, respectively, while the water density index was increased by 3.71%. Additionally, the eco-environment condition indexes of Yarkant River Basin were 34.94, 34.77 and 34.32 in 1990, 2000 and 2010, reaching a dissatisfactory level. The ecological environment became degraded by influences from both the natural and human activities.

Keywords: Yarkant River Basin; land use/cover; eco-environmental condition index

土地系统是地球系统的重要组成部分,是人类和环境关系重要枢纽,对于理解和弄清人类—环境复杂关系具有重要作用^[1-4]。随着科学技术、社会经济的不断发展,人类对自然环境的干预越来越强,土地利用是这种干扰作用的主要表现形式,其直接表征就是地表覆被状况的改变^[5-6],而土地覆被变化严重影响着生态系统的结构和功能,进而影响到区域生态环境^[7-8]。叶尔羌河流域位于我国新疆极端干旱区,是保障塔里木河生态系统健康运行的重要源流之一,其土地利用/覆被动态变化,关系到流域乃至整个新疆经济发展和生态安全,因此开展叶尔羌河流域土地利用/覆被及生态环境变化的研究对实现区域土地结构优化调整和生态系统的可持续利用具有重要意义。目前,关于叶尔羌河流域的研究多集中于气候^[9-10]、水文^[11-13]、水资源优化配置^[14-16];而关于流域土地利用类型变化特征研究多集中于流域中游或中下游^[17-19],缺少对流域整体变化特征的认识,且仅对流域土地要素变化情况

收稿日期:2014-12-10
基金项目:国家自然科学基金(41171427)、(31370551)、(41471099),中国科学院“西部之光”人才培养计划(XBBS-2014-13)
作者简介:杜清(1989—),女,四川西充人,硕士研究生,研究方向为干旱区生态环境变化与恢复生态学。E-mail: 1054722013@qq.com。
通信作者:徐海量(1971—),博士,研究员,硕士生导师,主要从事恢复生态学研究。E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn。

进行分析并不能明确流域整体生态环境在研究时段究竟是好转还是恶化。基于此,本文以叶尔羌河流域 1990、2000 年和 2010 年的遥感影像资料为基础,结合国家环境保护总局于 2006 年 3 月 9 日发布的《生态环境状况评价技术规范》^[20],分析了流域近 20 年生态环境变化特征,以期为流域内土地资源的合理利用及生态环境保护提供理论依据。

1 研究区概况

叶尔羌河流域地处新疆维吾尔自治区的西南部,塔里木盆地的西缘,地理位置介于 74°28′~80°54′E,34°50′~40°31′N^[11]。叶尔羌河发源于喀喇昆仑山,全长 1 097 km,从其西缘向东北方向流去,在阿克苏绿洲南部与阿克苏河及和田河交汇,一起汇入塔里木河^[21]。流域内降水稀少、蒸发量强烈、空气干燥、日照时间长,光热资源丰富,区域农业生产条件良好,特别是在中下游地区尤其适合于早熟长绒棉和瓜果的生产^[18]。近年来,由于自然和人为因素的双重影响使流域内河道断流^[22]、土壤盐渍化^[23]、土地沙化^[24]等生态环境问题严重。

2 研究方法

2.1 数据来源

基础数据为叶尔羌河流域内的 Landsat - TM 影像数据和中巴资源卫星数据,成像时间分别为 1990、2000 年与 2010 年的 7—9 月份,图像分辨率为 30 m,每景覆盖度范围为 185 km×185 km,影像主要采用 2、3、4 三个波段合成。叶尔羌河流域人口数据来源于《新疆统计年鉴》^[25]。水资源量数据来源于塔里木河流域管理局(简称塔管局);河长数据与土壤侵蚀面积(轻度、中度、重度)均来源于遥感数据提取。

2.2 数据处理

2.2.1 图像矢量化 利用 Erdas 软件对三期遥感影像进行几何校正、配准,并借助 Arc info 对各时期遥

感影像进行目视判读和数字化工作(解译时参照《中华人民共和国环境保护行业标准》^[26]划分土地利用类型),将流域内土地利用类型划分为耕地、林地(林地、灌木林地、疏林地、其它林地)、草地(高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地)、水域湿地(河流、湖库、滩涂湿地)、建设用地(城镇用地、农村居民点、其它建设用地)、未利用地(沙地、盐碱地、裸土地、裸石岩砾、其它未利用地)6 大类 19 小类(具体如图 1 所示)。经精度检验,其 kappa 系数分别为 86.2%(1990 年)、89.6%(2000 年)和 92.1%(2010 年)。

2.2.2 生态环境状况指数计算 环境质量指数的计算参考《生态环境状况评价技术规范》^[20],根据实际状况得到生态环境状况指数计算公式: $EI = 0.3 \times \text{生物丰度指数} + 0.25 \times \text{植被覆盖指数} + 0.4 \times \text{水网密度指数} + 0.15 \times (100 - \text{土地退化指数})$ 。对于新疆南疆来说经济发展主要以农业为主,工业发展较落后,环境污染小且缺少环境监测站,因此本式不予以考虑;而水资源变化对流域经济发展及社会稳定极其重要,故将其权重适当放大。生态环境状况指数的分级见表 1。

生物丰富度指数 = $A_{\text{bio}} \times (0.35 \times \text{林地面积} + 0.21 \times \text{草地面积} + 0.28 \times \text{水域湿地面积} + 0.11 \times \text{耕地面积} + 0.04 \times \text{建设用地面积} + 0.01 \times \text{未利用地面积}) / \text{区域面积}$, A_{bio} 为生物丰度指数的归一化系数,取值为 400.62。

植被覆盖度指数 = $A_{\text{veg}} \times (0.38 \times \text{林地面积} + 0.34 \times \text{草地面积} + 0.19 \times \text{耕地面积} + 0.07 \times \text{建设用地面积} + 0.02 \times \text{未利用地面积}) / \text{区域面积}$, A_{veg} 为植被覆盖指数的归一化系数, A_{veg} 取值为 355.24 进行计算。

水网密度指数 = $A_{\text{riv}} \times \text{河流长度} / \text{区域面积} + A_{\text{lak}} \times \text{湖库(近海)面积} / \text{区域面积} + A_{\text{res}} \times \text{水资源量} / \text{区域面积}$, A_{riv} 为河流长度的归一化系数, A_{lak} 为湖库面积的归一化系数, A_{res} 为水资源量的归一化系数; A_{riv} 取值为 46.43, A_{lak} 取值为 17.88, A_{res} 取值为 61.42。

表 1 生态环境状况分级
Table 1 Classifications of ecological environment

优 Excellent	良 Good	一般 General	较差 Worse	差 Poor
$EI \geq 75$	$55 \leq EI < 75$	$35 \leq EI < 55$	$20 \leq EI < 35$	$EI < 20$
植被覆盖度高,生物多样性高,生态系统稳定,最适合人类生存。 Vegetation coverage and biodiversity is high, and ecosystem is stable. It is the most suitable environment for people to live.	植被覆盖度较高,生物多样性较高,基本适合人类生存。 Vegetation coverage and biodiversity is relatively high. It is basically suitable for human survival.	植被覆盖度中等,生物多样性水平一般,但不适合人类生存的制约性因子出现。 The vegetation coverage is moderate, and the level of biodiversity is general, but there are restriction factors that are not suitable for human survival.	植被覆盖度较差,严重干旱少雨,物种较少,存在明显的限制人类生存的因素。 Vegetation coverage is poor, severe drought and less rain, fewer species, there are obvious factors limiting the survival of human beings.	条件较恶劣,人类生存环境恶劣。 The natural conditions are abominable. Unfit for human habitation.

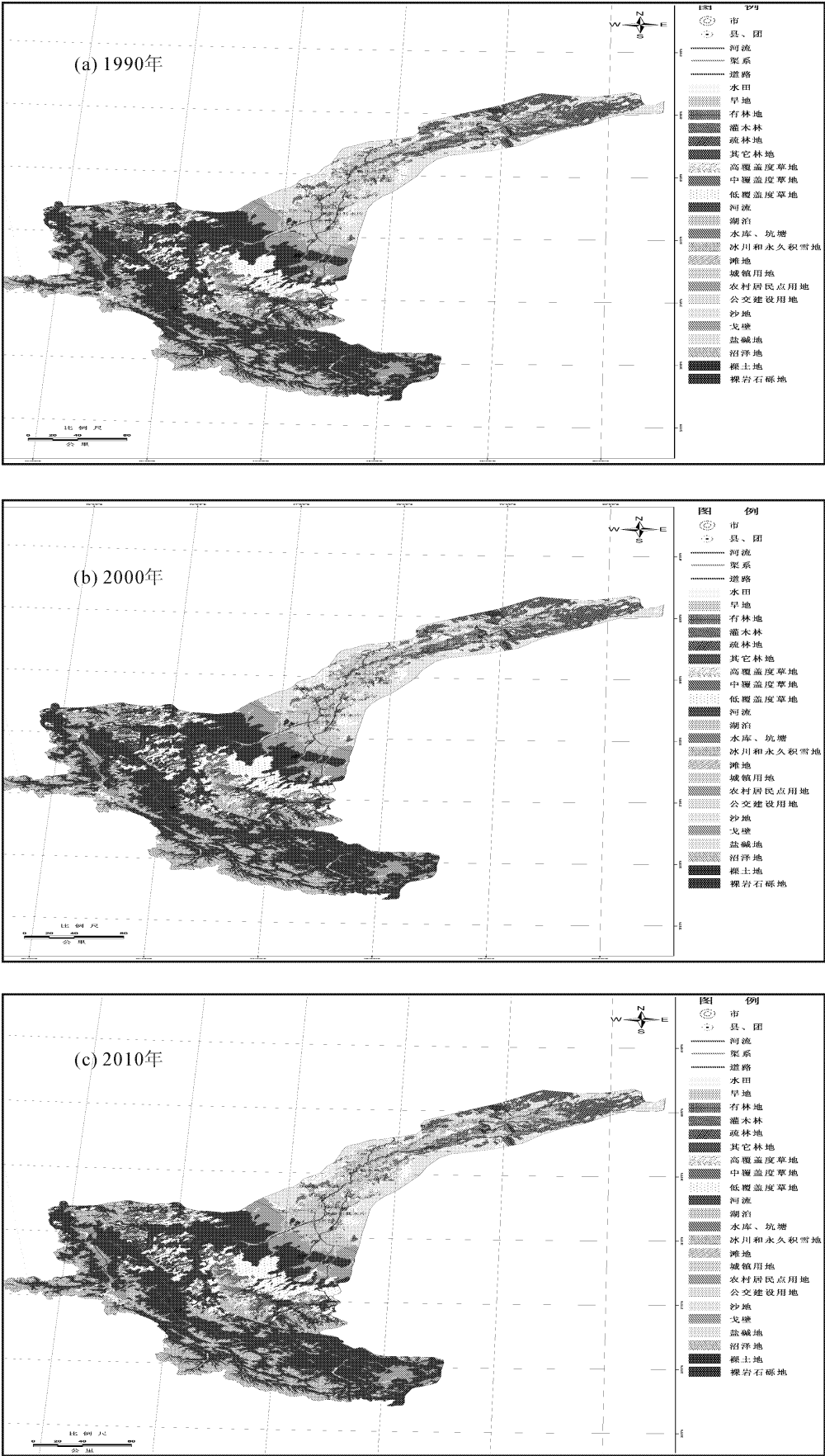


图 1 叶尔羌河流域不同时期土地利用

Fig.1 Land-use types in the Yarkant River Basin in 1990, 2000 and 2010

土地退化指数 = $A_{\text{ero}} \times (0.05 \times \text{轻度侵蚀面积} + 0.25 \times \text{中度侵蚀面积} + 0.7 \times \text{重度侵蚀面积}) / \text{区域面积}$, 其中 A_{ero} 为土地退化指数的归一化系数, 取值为 146.33。

3 结果与分析

3.1 叶尔羌河流域生物丰度指数变化特征

从图 2 可知, 1990—2010 年叶尔羌河流域生物丰度指数呈不断下降趋势, 其中 1990—2000 年降低了 2.37%, 2000—2010 年下降了 2.22%。从生物丰度指数计算公式可知, 其值大小受林地、水域湿地、草地、耕地、建设用地和未利用面积所限, 其中林地、水域湿地、草地所占权重较大; 而由遥感解译数据可知, 1990—2010 年叶尔羌河流域耕地、水域湿地和建设用地分别增加了 35.58%、10.39%、28.21%, 未利用地基本维持不变; 林地和草地分别减少了 11.36% 和 9.91%; 因此, 1990—2010 年叶尔羌河流域生物丰度指数下降主要由林草面积减少引起。对其变化原因进行剖析, 一方面可能是受水资源限制, 天然林草得不到水分补给, 生长受到限制, 造成林草面积的萎缩; 另一方面可能是受人为因素的干扰, 在此期间流域耕地面积共增加了 35.58%, 必有一部分林草地转化成了耕地, 另外放牧及滥挖活动, 加剧草地退化程度。对于干旱区而言, 林草有着防风固沙、涵养水源、保持水土的重要作用, 流域林草面积的不断减少预示着流域生态环境有变差的趋势。

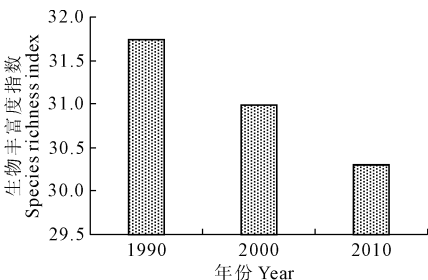


图 2 叶尔羌河流域生物丰度指数

Fig.2 Biology abundance index of Yarkant River Basin

3.2 叶尔羌河流域植被覆盖指数变化特征

从图 3 可知, 叶尔羌河流域植被覆盖度指数在 1990—2010 年降低 4.00%, 在研究时段流域植被覆盖度程度不断下降。

植被覆盖指数主要考虑的因素为林地、草地、耕地、建设用地及未利用地。在研究时段流域林草地面积呈不断减少趋势, 虽然叶尔羌河流域农业耕作活动加强及人工防护林种植的增加, 但仍然不能弥补林草减少对植被覆盖指数带来的负面影响, 因此

总体上覆盖度降低。

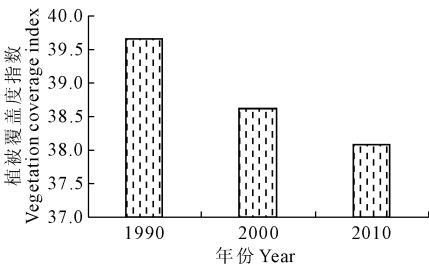


图 3 叶尔羌河流域植被覆盖指数

Fig.3 Vegetation coverage index of Yarkant River Basin

3.3 叶尔羌河流域水网密度指数变化特征

从图 4 可以看出, 叶尔羌河流域水网密度指数于 1990—2000 年增大了 8.13%, 2000—2010 年降低了 4.08%。1990—2000 年叶尔羌河流域水域面积增加了 11.33%, 主要由湖库面积(增加了 35.59%)及滩涂湿地面积(增加了 18.44%)增加引起, 据研究统计叶尔羌河是南疆平原水库最多地区, 共有大中小型水库 46 座, 总库容 15.2 亿 m^3 , 拦截总径流量的四分之一; 在 2000—2010 年流域湖泊水库及河渠面积分别减少了 2.19%、0.17%, 同时径流量与 2000 年相比也减少了 6.18%, 因此与 2000 年相比 2010 年水网密度指数下降。

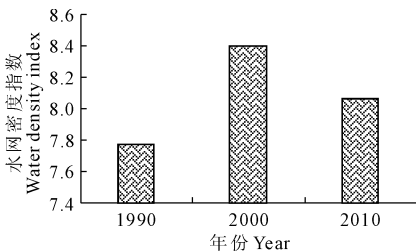


图 4 叶尔羌河流域水网密度指数

Fig.4 Water density index of Yarkant River Basin

3.4 叶尔羌河流域土地退化指数变化特征

土地退化指数, 指被评价区域内风蚀、水蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和工程侵蚀的面积占被评价区域面积的比重, 用于反映被评价区域内土地退化程度。参照水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》^[27], 提取研究区轻度侵蚀、中度侵蚀及重度侵蚀面积, 得到叶尔羌河流域 1990—2010 年土地退化指数图(见图 5)。1990 年土地退化程度较高, 而 2000 年和 2010 年的土地退化程度相对减弱。1990—2000 年流域土地退化指数下降 2.23%, 2000—2010 年土地退化指数降低 1.36%。

3.5 叶尔羌河流域生态环境状况指数变化特征

根据计算公式得到叶尔羌河流域生态环境状况指数见图 6。由图 6 可知,叶尔羌河流域 1990、2000、2010 年生态环境状况指数(*EI*) 分别为 34.94、34.77 和 34.32,表明叶尔羌河流域在近 20 年的时间里生态环境质量属于较差级别。叶尔羌河流域气候干燥,蒸发强烈,平原降水少,常受春旱、夏洪、盐碱及风沙危害^[28];据统计叶尔羌河流域土壤盐渍化面积占耕地面积的 38%,年平均大风及沙尘暴日数 30.6 d^[29],并且由山前冲积扇顶部往下河网水系发育,呈树枝状散开,水渠纵横,扇面受河流侵蚀切割而遭受破坏,形成侵蚀阶地;中下游的巴楚等地,受西北风影响,沙漠化发展快,灌区周边存在沙漠入侵现象^[19]。由此可知,叶尔羌河流域由于其特殊的地理位置限制,再加之流域内盐渍化及沙漠化问题影响,生态环境并不乐观,属于较差级别。

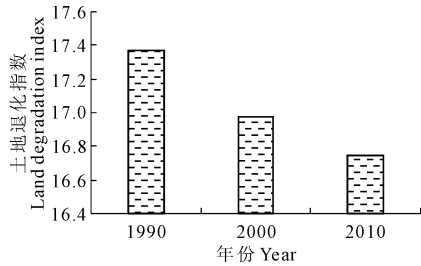


图 5 叶尔羌河流域土地退化指数

Fig.5 The land degradation index of Yarkant River Basin

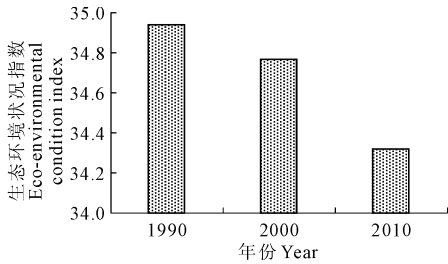


图 6 叶尔羌河流域生态环境状况指数

Fig.6 The eco-environmental status of Yarkant River Basin

从其变化情况可知,1990—2010 年叶尔羌河流域生态环境状况指数不断下降,表明其环境状况呈不断退化趋势。近年来叶尔羌河流域人口数目不断上升,据统计年鉴数据可知^[25],叶尔羌河流域人口在近 20 年里增加了 62%,人口数目的增加使人口与资源、环境和社会经济发展之间的矛盾越来越突出,导致流域生态环境日益恶化,主要表现为流域天然林草面积减少、土壤盐渍化及流域沙漠化。因此,叶尔羌河水资源的合理利用和调配将会是叶尔羌河流域生态环境建设的一项重要任务,各级政府和人民群众应加强环保意识,做好统筹兼顾,顾全大局。

4 讨 论

本研究采用的国家环境保护总局发布的《生态环境状况评价技术规范》^[20],具有一定的适用性。许多学者如韩梅清^[30]、孟岩^[31]、姚尧^[32]等均基于此方法对我国不同地区的生态环境状况特征进行评价和分析;王宏伟等^[33]对伊犁河流域各县市的生态环境质量进行评价认为伊犁河流域 2004 年生态环境状况一般,并且认为该评价体系在干旱区具有较好的科学性和实践性。

叶尔羌河是塔里木河源流之一,流域生态环境状况对该区及整个南疆的社会稳定及经济发展尤为重要,但目前关于流域生态环境变化的具体方向并不清楚。基于此,本文利用《生态环境状况评价技术规范》^[20]并结合新疆干旱区的实际情况得到流域生态环境状况指数计算公式,对叶尔羌河流域 1990—2010 年生态环境状况评价及变化特征进行分析可得,叶尔羌河流域在研究时段生物丰度指数、植被覆盖指数和土地退化指数分别减少 4.53%、4.00% 和 3.56%;水网密度指数整体增高了 3.71%;流域生态环境状况属于较差级别,且受自然和人为的影响流域生态环境呈不断退化趋势。

最后,本文选取的生态环境指数评价方法在一定程度上反映了流域环境变化的具体方向,但仍存在一定局限性,因为该方法没有考虑到如流域地下水位、沙尘暴、浮尘天气、气温、降水、经济等指标对生态环境的影响,因此论文中对流域近 20 年生态环境状况评价方法还有待深入研究。

参 考 文 献:

[1] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.

[2] Moran E, Ojima D, Buchmann N, et al. GLP Science Plan and Implementation Strategy[R]. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. Stockholm: IGBP Secretaria, 2005.

[3] Kathy Hibbard, Anthony Janetos, Detlef P, et al. Research priorities in land use and land - cover change for the Earth system and integrated assessment modeling[J]. International Journal of Climatology, 2010, 30(13): 2118-2128.

[4] Levis S. Modeling vegetation and land use in models of the Earth System[J]. Climate Change, 2010, 1(6): 840.

[5] Marion Potschin. Land use and the state of the natural environment [J]. Land Use Policy, 2009, 3(13): 170-177.

[6] Turner B L, Clark W C, Kates R W, et al. The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

grass (*Leptochloa fusca*)[J]. Plant and Soil, 2004, 258(1-2): 207-216.

[12] 蔺海明,贾恢先,张有福,等.毛苕子对次生盐碱地抑盐效应的研究[J].草业学报,2003,12(4):58-62.

[13] 黄 强,殷志刚,田长彦,等.两种覆盖方式下的土壤溶液盐分含量变化[J].干旱区地理,2001,24(1):52-56.

[14] 李凤霞,马力文.甜菜地膜覆盖栽培的土壤盐分变化及其对产质量的影响[J].中国农业气象,1996,17(2):33-35.

[15] 张世彪,李 松,牛珂平,等.甘肃秦王川灌区农业节水途径探讨[J].中国沙漠,2012,32(1):270-275.

[16] 苏建德.秦王川盆地地下水基本特征[J].地下水,2001,23(2):74-75.

[17] 丁晓妹.甘肃省秦王川灌区土壤盐分特征变化分析[D].兰州:兰州大学,2011.

[18] 朱中华.甘肃省引大入秦工程秦王川南部灌区地下水动态分析研究[D].西安:西安理工大学,2004.

[19] 梁志录,吴 颖,付国民.甘肃兰州地区盐渍化特征及其治理研究[J].山西师范大学学报(自然科学版),2008,22(1):100-103.

[20] 班乃荣,陈兴会,张永宏,等.耐盐植物对盐碱地的改良效果试验[J].草业科学,2004,21(1):40-42.

[21] Barrett-Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation[J]. Agricultural Water Management, 2002, 53: 213-226.

[22] Akhter J, Murray R, Mahmood K. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with Kallar grass (*Leptochloa fusca*)[J]. Plant and Soil, 2004, 258: 207-216.

[23] 秦嘉海.耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J].土壤通报,2005,36(5):806-808.

[24] 刘小兰,李世清,王 俊,等.半干旱黄土高原地区春小麦地膜覆盖研究概述[J].西北植物学报,2001,21(2):198-206.

[25] 宋秋华,李凤民,王 俊,等.覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J].生态学报,2002,22(12):2127-2132.

[26] 金胜利,周丽敏,李凤民,等.黄土高原地区玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术土壤水温条件及其产量效应[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):28-33.

[27] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[28] 庄舜尧,钟 敏,孙 晓,等.滨海盐碱地垄作模式对籽粒苋生长的影响[J].江苏农业科学,2012,40(3):136-137.

(上接第 256 页)

[7] 岳书平,张树文,闫业超.东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理学报,2007,62(8):879-886.

[8] 白 元,徐海量,凌红波,等.塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化[J].中国沙漠,2013,33(6):1912-1920.

[9] 刘晓梅,闵锦忠,刘天龙.新疆叶尔羌河流域温度与降水序列的小波分析[J].中国沙漠,2009,29(3):566-571.

[10] 孙桂丽,陈亚宁,李卫红,等.新疆叶尔羌河冰川湖突发洪水对气候变化的响应[J].冰川冻土,2010,32(3):580-586.

[11] 罗菊花,古力巴尔·麦麦提.叶尔羌河流域水文特性分析[J].水文,2005,25(3):58-62.

[12] 高 鑫,张世强,叶柏生,等.1961—2006 年叶尔羌河上游流域冰川融水变化及其对径流的影响[J].冰川冻土,2010,32(3):445-453.

[13] 王修内,黄 强,畅建霞.新疆叶尔羌河流域径流规律分析[J].人民黄河,2012,34(6):45-47.

[14] 杨明智,薛联青,郑 刚,等.基于 WEAP 的叶尔羌河流域水资源优化配置研究[J].河海大学学报(自然科学版),2013,6(41):493-499.

[15] 陈俊鹏.叶尔羌河流域水资源调控方法[J].水利建设与管理,2012,12:85-86.

[16] 彭穗萍.基于下坂地水库调度规则的叶尔羌河流域水资源配置模式研究[J].水利规划与设计,2010(6):9-11.

[17] 陈国亮.叶尔羌河下游生态环境现状研究[J].中国西部科技,2014,13(5):32.

[18] 王 芳.叶尔羌河流域中下游地区土地利用变化分析[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2010.

[19] 李 琴,陈 曦.40 年来叶尔羌河流域景观变化过程分析[J].干旱区资源与环境,2009,23(4):50-58.

[20] 中华人民共和国环境保护部.HJ/T 192-2006.生态环境状况评价技术规范[S].北京:中国环境出版社,2006.

[21] 刘天龙.新疆叶尔羌河流域年径流总量对气候变化的响应研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2008.

[22] 王 进,张雄文,刘 湘,等.塔里木河 2007 年“四源一干”供输水运行分析[J].冰川冻土,2009,(4):732-740.

[23] 李 靖.叶尔羌河流域水生态承载力研究[D].西安:西安理工大学,2009.

[24] 黄敬峰,王秀珍.新疆叶尔羌河和喀什噶尔河流域的生态环境评价及治理对策研究[J].干旱区资源与环境,1992,6(2):27-34.

[25] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴(2010)[M].北京:中国统计出版社,2011.

[26] 中华人民共和国环境保护部.HJ/T 274-2006.中华人民共和国环境保护行业标准[S].北京:中国环境科学出版社,2006.

[27] 中华人民共和国水利部.SL190-2007.土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2007.

[28] 刘建甫.新疆水土资源开发研究[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1991.

[29] 王让会,樊自立.干旱区内陆河流域生态脆弱性评价—以新疆塔里木河流域为例[J].生态学杂志,2001,20(3):63-68.

[30] 韩梅清,王路光,王靖飞,等.基于 GIS 的白洋淀流域生态环境评价[J].中国生态农业学报,2007,15(3):169-171.

[31] 孟 岩,赵庚星,程晋南,等.基于 MODIS 遥感数据和 GIS 的山东省生态环境状况评价[J].中国生态农业学报,2008,16(4):1020-1024.

[32] 姚 尧,王世新,周 艺,等.生态环境状况指数模型在全国生态环境质量评价中的应用[J].遥感信息,2012,27(3):93-98.

[33] 王宏伟,张小雷,乔 木,等.基于 GIS 的伊犁河流域生态环境质量评价与动态分析[J].干旱区地理,2008,31(2):215-221.