

综合治理前后和田河流域生态环境状况变化及原因探讨

张沛^{1,2}, 徐海量¹, 杜清³, 赵新风¹, 凌红波¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 新疆维吾尔自治区测绘科学研究院, 乌鲁木齐 830002)

摘要:干旱区内陆河流域生态环境的变化关系到人类的生存和社会的发展。针对和田河流域在综合治理前后生态环境变化的问题,以1990年、2000年、2010年7—8月份三期的Landsat-TM和中巴资源卫星遥感数据为依据,借助转移矩阵和生态环境状况指数的方法,对比分析了综合治理前后林草地面积及生态环境状况的变化,得到如下结论:(1)综合治理后,天然林草地面积减少幅度加大,人工林地面积快速增加;(2)1990—2000年和2000—2010年,生态环境状况指数下降幅度分别为0.1%和1.19%;(3)耕地大面积的扩张是天然林草地面积减少和生态环境状况变差的根本原因。

关键词:林草地面积;生态环境状况指数;耕地扩张;和田河流域

中图分类号:K903; X22

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0174-05

Discussion on Ecological Condition Change of Khotan River Basin in 1990—2010

ZHANG Pei^{1,2}, XU Hailiang¹, DU Qing³, ZHAO Xinfeng¹, LING Hongbo¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Xinjiang Academy of Surveying & Mapping, Urumqi 830002, China)

Abstract: The change of the eco-environment in arid continental river basin is related to human survival and development of the society. In order to discuss the eco-environment change in Khotan River basin during the period from 1990 to 2010, variation of forest and grassland area and ecological condition are analyzed based on Landsat-TM and CBERS images in 1990, 2000 and 2010, and combining with transition matrix and ecological index methods. It is revealed that: (1) amplitude of natural forest and grassland area declines significantly, while artificial forest increases rapidly during the period from 2000 to 2010; (2) the ecological index in 1990—2000 and 2000—2010 decreased by 0.1% and 1.19%, respectively; (3) the farmland expansion is the fundamental reason for natural forest and grassland area shrinking as well as the environment condition degradation.

Keywords: forest and grassland area; ecological index (EI); farmland expansion; Khotan River basin

和田河流域是我国最干旱的区域之一,是唯一贯穿塔克拉玛干沙漠腹地的河流。2001年颁布实施的《塔里木河流域近期综合治理规划》将和田河作为塔里木河生态输水工程的源流之一,承担着每年向塔里木河干流输水9.29亿m³的任务量。由于在生态输水工程中的作用和独特的地理位置,和田河一直备受国内外学者的关注。诸多学者从径流变化^[1-5]、土地利用/覆被变化^[6-9]、水资源承载力^[10-11]、平原绿洲适宜规模^[12]和植被生态价值^[13-14]等方面进行了探讨。然而,在整个塔里木河流域实施综合治理之后,和田河流域的生态环境状况发生了什么变化?天然林草地作为反映生态环境状况的重要

指标,是如何变化的?为了探清这一问题,本文借助1990年、2000年、2010年7—8月份的三期遥感数据,通过人工目视解译,得到了和田河流域1990—2010年的土地利用数据,利用转移矩阵和生态环境状况指数的方法,对比分析综合治理前10a(1990—2000年)和综合治理后10a(2000—2010年)林草地面积及生态环境状况的变化,并探讨发生变化的原因,以期为今后塔里木河流域的进一步治理提供决策依据。

1 研究区概况

和田河流域位于新疆的西南部,南以昆仑山、喀

收稿日期:2015-07-15

修回日期:2015-08-03

资助项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”(XBBS-2014-13);国家自然科学基金项目(41471099, 31370551, 41171427, 31400466)

第一作者:张沛(1988—),男,河北沧州人,在读硕士,主要从事干旱区恢复生态研究。E-mail:zhangpei-cool@163.com

通信作者:凌红波(1983—),男,河南商丘人,助理研究员,主要从事干旱区生态水文研究。E-mail:linghongbo0823@163.com

喇昆仑山为界,西与叶尔羌河流域接壤,北接塔克拉玛干沙漠,地理位置位于 $34^{\circ}28'—40^{\circ}28'N$, $77^{\circ}25'—81^{\circ}43'E$ 。该区域冬季气候干燥寒冷,夏季高温少雨,多年平均气温达 $12.2^{\circ}C$,终年处于极端干旱的状态,干燥指数 $10\sim 20$,是全国最干旱的地区之一^[1,15]。在流域的绿洲平原区生长着以灰杨(*Populus pruinosa*)为主的自然林和以核桃、梨、杏等为主的人工经济林;在绿洲与沙漠连接地带所生长的荒漠稀疏植被主要有刚毛怪柳(*Tamarix ramosissima*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、胀果甘草(*Glacyrrhiza inflata*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等灌木和草本植物;而在河流两岸、地下水水位很高的旧河床和地下水溢出地带则生长茂密的、郁闭度很大的以胡杨(*Populus euphratica*)和灰杨为主的荒漠河岸林植被^[15-16]。2010 年末地区总人口 135 万人,其中农村人口 111 万,总人口的 82.63%,国民经济总产值中,第一产业为 50%以上,其中农业产值达到 40.5%,是该区域的主要经济支柱。

2 研究方法

2.1 资料来源

本文采用的土地利用/覆被数据为和田河流域内的 Landsat-TM 影像数据和中巴资源卫星数据,成像时间分别为 1990 年、2000 年与 2010 年。三期数据均采用 7—9 月份 Landsat-TM 数据,图像分辨率为 30 m,每景覆盖度范围为 $185\text{ km}\times 185\text{ km}$,解译主要采用 2,3,4 三个波段。流域的社会经济数据来源于《新疆统计年鉴》,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 遥感解译标准

在遥感信息提取过程中,参照国家环境保护总局发布的《生态环境状况评价技术规范(HJ 192—2015)》,将全区景观分为水田、旱地、有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河流(渠)、湖泊(库)、滩涂湿地、城镇建设用地、农村居民点、其他建设用地、沙地、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地和其他未利用地。

2.3 数据处理

2.3.1 遥感影像处理

(1) 室内解译:在 ArcGIS 软件 Arc-MAP 环境中,根据解译标准对土地利用变化进行人机交互式判读和数字化工作,通过野外实地验证和修正,生成矢量化专题图,获得不同时期(1990 年,2000 年,2010 年)土地利用类型的动态数据。

(2) 野外验证:根据解译得到的和田河流域土地利用/覆被图,通过野外定点实地拍照,现场记录对分类结果校正,得到和田河流域典型时期土地利用覆被数据。

(3) 精度验证:通过大量野外实地校验并与分类结果对比分析,构建三期遥感图像土地利用/覆被信息的评估误差矩阵,计算得出三期影像的 Kappa 系数分别为 0.891,0.903,0.911。

2.3.2 转移矩阵计算 利用 ArcGIS 的 intersect 模块和 Excel 的数据统计功能,将解译得到的流域 1990 年、2000 年、2010 年三期遥感影像,在 ArcGIS 中进行叠加运算,得到其 1990—2000 年和 2000—2010 年土地利用转移矩阵,进而对研究区 1990—2010 年各土地利用类型的相互转化情况进行分析。

2.3.3 生态环境状况指数计算 生态环境状况指数的计算参考《生态环境状况评价技术规范(HJ 192—2015)》标准,生态环境状况指数计算公式为:生态环境状况指数(EI)= $0.35\times$ 生物丰度指数+ $0.25\times$ 植被覆盖指数+ $0.15\times$ 水网密度指数+ $0.15\times(100-$ 土地胁迫指数)+ $0.10\times(100-$ 污染负荷指数)+环境限制指数。根据新疆的实际情况,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,而水资源变化和土地退化情况对流域经济发展及社会稳定极其重要,因此本研究在计算生态环境状况的时候,通过专家访谈去除了污染负荷和环境限制两个指标,调整水网密度指数和土地胁迫指数的系数,将计算公式定为:生态环境状况指数(EI)= $0.35\times$ 生物丰度指数+ $0.25\times$ 植被覆盖指数+ $0.2\times$ 水网密度指数+ $0.2\times(100-$ 土地胁迫指数)。再根据生态环境状况指数的计算结果,将生态环境状况分为 5 级,即优、良、一般、较差、差(表 1)。

表 1 生态环境状况分级

级别	优	良	一般	较差	差
指数	$EI\geq 75$	$55\leq EI<75$	$35\leq EI<55$	$20\leq EI<35$	$EI<20$
状态	植被覆盖度高,生物多样性富,生态系稳定,最适合人生存	植被覆盖度较高,生物多样性较丰富,基本适合人类生存	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	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	条件较恶劣,人类生存环境恶劣

生物丰度指数 = $Abio(0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水域湿地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{建设用地} + 0.01 \times \text{未利用地}) / \text{区域面积}$ (1)

式中: $Abio$ 表示生物丰度指数的归一化系数, 参考值为 511.264 213 106 7。

植被覆盖指数 = $NDVI_{\text{区域均值}} = A_{\text{veg}} \times (\frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n})$ (2)

式中: P_i 为 5—9 月像元 $NDVI$ 月最大值的均值; n 表示区域像元数; A_{veg} 表示植被覆盖指数的归一化系数, 参考值为 0.012 116 512 4。

水网密度指数 = $(Ariv \times \text{河流长度} / \text{区域面积} + Alak \times \text{水域面积} (\text{湖泊、水库、河渠和近海}) / \text{区域面积} + Ares \times \text{水资源量} / \text{区域面积}) / 3$ (3)

式中: $Ariv$ 表示河流长度的归一化系数, 参考值为 84.370 408 398 1; $Alak$ 表示湖库面积的归一化系数, 参考值为 591.790 864 200 5; $Ares$ 表示水资源量的归一化系数, 参考值为 86.386 954 828 1。

土地胁迫指数 = $Aero \times (0.4 \times \text{重度侵蚀面积} + 0.2 \times \text{中度侵蚀面积} + 0.2 \times \text{建设用地面积} + 0.2 \times \text{其他土地胁迫}) / \text{区域面积}$ (4)

式中: $Aero$ 表示土地胁迫指数的归一化系数, 参考值为 263.043 567 794 8。

3 结果与分析

3.1 林地面积的变化

1990—2010 年 20 a 间, 林地总面积增加了 29.33%, 在 1990—2000 年林地面积稍有减少, 减少量为 48.28 万 hm^2 , 而在后十年间面积增加了 932.43 万 hm^2 。20 a 内面积变化较小的是有林地和疏林地, 其中, 有林地面积略有增加, 增幅为 0.29%, 疏林地面积略有减少, 减少了 1.42% (图 1)。

综合治理前后面积变化最大的是灌木林地和其他林地。灌木林地在 前 10 a 间变化不大, 仅仅减少了 13.05 万 hm^2 , 而 2000—2010 年, 灌木林地的面积减少了 21.97%; 其他林地的面积在 1990—2000 年仅增加了 1 054 hm^2 , 而在 2000—2010 年增加了 1.00 亿 hm^2 , 这是由于在 2000—2010 年, 和田地区种植了大量的核桃、大枣、巴旦木等人工经济林, 其种植模式为在成林之前, 将粮食作物等与经济林混种, 即林下套种。由于这种类型的土地利用方式介于耕地和林地, 在遥感解译过程当中将这一部分判读为其他林地。

3.2 草地面积的变化

草地总面积在过去 20 a 内一直处于下降的趋势, 总幅度下降了 7.42%, 前 10 a 和后 10 a 分别减

少了 3.80% 和 3.77%。其中, 高覆盖度草地在 1990—2000 年下降较快, 10 a 内降幅 15.43%, 而在 2000—2010 年减少了 5.06%; 在综合治理前后中覆盖度草地面积减少量差别较小, 分别为 3.88% 和 3.92%, 低覆盖度草地在 前 10 a 内减少了 1.06%, 后 10 a 内减少了 3.46% (表 2)。

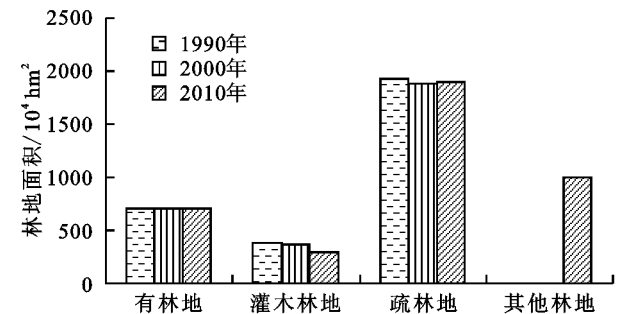


图 1 综合治理前后林地面积变化

表 2 1990—2010 年不同类型草地面积

类 型	草地面积/ 10^4 hm^2			1990—2010 年 变化幅度/%
	1990 年	2000 年	2010 年	
高覆盖度	867.38	733.52	696.38	-19.71
中覆盖度	1176.17	1130.55	1086.28	-7.64
低覆盖度	3726.83	3687.24	3359.49	-4.49

3.3 林草地的动态特征

至此, 不禁要问, 面积急速扩张的其他林地主要来自于那种土地类型? 面积减少的灌木林地、疏林地和草地转化成了哪种土地类型? 针对这一问题, 本文利用和田河流域 1990 年、2000 年、2010 年遥感影像进行叠加运算得到和田河流域 1990—2000 年, 2000—2010 年的林草地的转移矩阵 (表 3 和表 4), 分析林草地的时空变化情况。

1990—2010 年, 减少的灌木林地主要转化为耕地、其他林地和退化成的疏林地, 而疏林地主要转化为耕地和戈壁。2000—2010 年, 其他林地的面积迅速增加, 主要是由耕地转化而来, 这是由于在 2000 年后和田河流域大量种植经济林, 人们在原有耕地基础上种植果林等经济作物, 使林地总面积增加耕地面积减少。草地面积的减少最主要的原因是被耕地挤占, 其中高、中、低覆盖度草地分别被挤占了 19.05%, 9.98% 和 5.38%。与此同时, 草地出现了退化的现象, 表现为 3.17% 的灌木林地退化成为疏林地, 4.42% 的高覆盖度草地退化成为中覆盖度草地, 1.73% 的中覆盖度草地退化成为低覆盖度草地。

3.4 生态环境状况变化

目前, 国家环境保护总局发布的《生态环境状况评价技术规范 (试行)》(HJ/T 192—2006) 及《生态环境状况评价技术规范 (HJ192—2015)》是国内最流行的生态环境状况评价体系, 额济纳河^[17]和新疆特克

斯河^[18]流域的生态环境评价均据此标准。因此,本文选取了《生态环境状况评价技术规范(HJ192—2015)》中的指标和方法,计算得出了和田河流域生态环境状况指数(图 2)。

表 3 1990—2000 年和田河流域土地利用转移矩阵

土地利用 类型	2000 年									
	耕地	有林地	灌木林地	疏林地	高覆盖 度草地	中覆盖 度草地	低覆盖 度草地	水域 湿地	建设 用地	未利 用地
耕地										
有林地	1.0							0.1	3.3	
灌木林地	15.5	0.3					0.6		0.2	
疏林地	1.3	0.2				1.5			1.1	
高覆盖度草地	134.7		0.9	1.5			1.0	0.6	11.1	0.4
中覆盖度草地	69.6							0.1	0.0	0.6
低覆盖度草地	97.2					4.0			2.0	0.4
水域湿地		7.6		0.5		8.3	21.5			
未利用地		0.7	2.7		0.1	4.9	4.5			

表 4 2000—2010 年和田河流域土地利用转移矩阵

参 数	2010 年										
	耕地	有林地	灌木林地	疏林地	其他林地	高覆盖 度草地	中覆盖 度草地	低覆盖 度草地	水域 湿地	建设 用地	未利 用地
耕地					850	1.0	0.4				
有林地	2.8						0.0		2.1		0.2
灌木林地	3.1	0.9		12.3	66.7				0.5	1.7	2.1
疏林地	4.5	0.6				1.5			0.5		4.1
其他林地				0.1							
高覆盖度草地	30.5			1.5			39.6	2.6	5.6		2.6
中覆盖度草地	47.8				8.4	18.1		20.4	2.0		6.2
低覆盖度草地	103.3				20.0	4.2	8.7		0.9	6.4	28
水域湿地		2.2		0.5		17.4	7.3	2.2			
未利用地					2.6						

从图 2 可知,和田河流域生态环境状况指数均处于 20 与 35 之间,表明其生态环境较差,即植被覆盖度较差,严重干旱少雨,物种较少,存在明显的限制人类生存的因素。从变化速率上分析,在 1990—2000 年,和田河流域生物丰度指数及植被覆盖度指数均呈略微增加趋势,但水网密度指数有所下降,流域生态环境状况指数(EI)几乎不变;在 2000—2010 年虽然和田河流域水网密度指数呈上升趋势,但由于流域生物丰度指数、植被覆盖度指数降低,土地胁迫指数上升,共同导致流域生态环境状况指数(EI)减少了 0.77%;在综合治理前后的 20 a 里和田河流域的水网密度指数升高了 10.33%,但是流域生物丰度指数和植被覆盖度指数不断减少,分别降低了 1.42%和 3.66%,土地胁迫指数增加了 11.57%,最终使得流域生态环境状况指数共降低了 0.76%,表明流域近 20 a 来生态环境有恶化趋势。

4 讨论

流域人口数不断上升,耕地面积不断扩张是天然林草地面积的减少根本原因。据统计年鉴数据(图 3),和田河流域人口在近 20 a 里增加了 51.84%,耕

地面积增加了 44.12%(含林下套种情况,林下套种这种土地利用方式虽然从遥感解译上将其划分为其他林地,但是单位面积毛灌溉定额与耕地无异),对水资源的需求有增无减,人口与资源、环境和社会经济发展之间的矛盾越来越突出。一方面由于流域人们生活文化水平较低缺乏环境保护意识,只注重从环境中索取,而忽视生态价值,使流域生态环境日益恶化,土地沙漠化、植被退化、水质恶化和土地盐渍化问题日益突出。

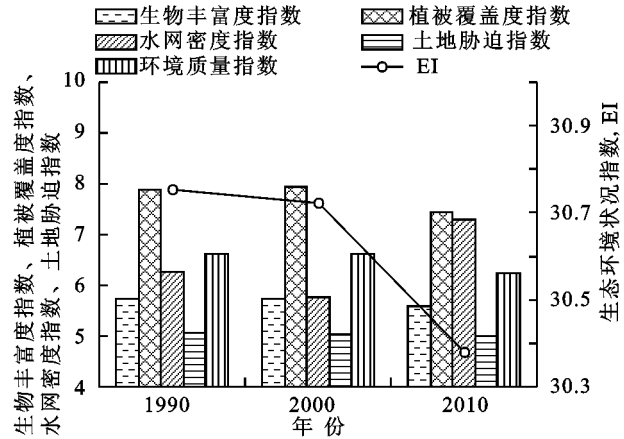


图 2 和田河流域 1990—2010 生态环境状况指数

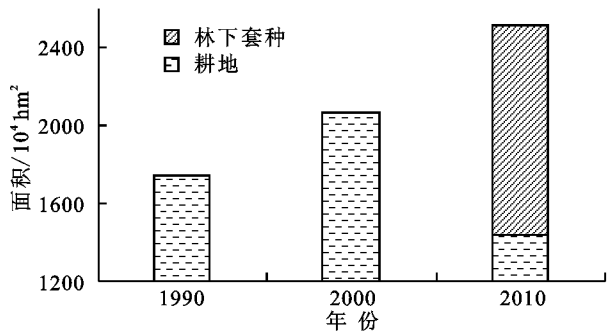
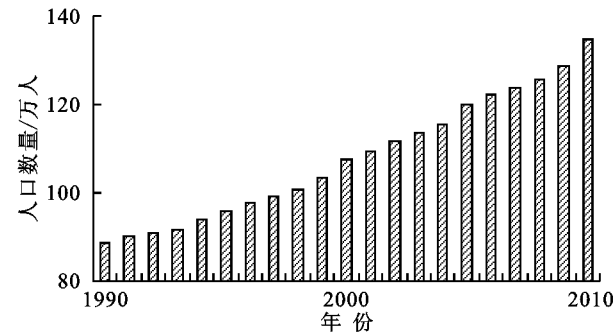


图 3 1990—2010 年和田河流域耕地面积与人口数量变化情况

另一方面,人们掠夺式利用水土资源和粗放型的生产方式是造成生态环境退化的直接根源。在水资源开发利用过程中,用户只关注生产生活用水,不考虑生态用水,虽然流域管理部门规定了限额用水量,但是由于执法和监管能力受限,实际用水量远超限额用水量,致使用水平衡受到影响(表 5)。和田河流域没有生态引水闸,全部生态用水均来自于河道渗漏与漫溢,河损量的减少就意味着生态用水量的缩减。



2000 年以来,由于气温持续上升,和田河径流量增加了 7.88%^[19],流域处于丰水期,平均来水频率小于 25%,来水量 48 亿,植被面积和长势本应好转,但是由于人口和耕地面积的增加,年均实际用水量比限额用水量多 2.98 亿 m³,导致了河道渗漏量的减少,进而影响到了天然植被的生态用水。一旦时逢平枯水期,在保证生活生产用水量和 10 亿 m³ 下泄水量不变的情况下,河损量将进一步减少,情况更为严重。

表 5 综合治理前后和田河流域的用水平衡 10⁸ m³

年份	来水 频率	来水量	河损 量 ⁽¹⁾	限额 用水量	实际生活 生产用水量	下泄 水量
1998 年以前 ⁽²⁾	50%	44.67	11.95	—	24.21	8.51
2001—2010 年	25%	48.04	10.47	24.10	27.02	10.55

注:2001—2010 年来水量、下泄水量为多年实测平均值;(1) 河损量=来水量—实际生活生产用水量—下泄水量;(2) 数据来源于文献[20]。

5 结论与建议

(1) 整个流域的林地面积在输水前后有着较大变化,输水后,总面积增加了 29.33%,增加的主要类型为其他林地,即林下套种的土地类型,面积增加 1.00 亿 hm²;而天然灌木林地面积在输水后减少了 21.97%,减少速率最快;草地面积不断减少,综合治理实施前后分别减少了 3.80%和 3.77%。

(2) 利用转移矩阵进行土地利用类型的变化分析时发现,林草地面积的减少主要是被耕地占用,其中 20 a 内被耕地挤占的天然林草地面积达到 511.3 万 hm²;同时,也存在着林草地质量退化的情况,例如,3.17%的灌木林地退化成疏林地,4.42%的高覆盖度草地退化成中覆盖度草地,1.73%的中覆盖度草地退化成低覆盖度草地。

(3) 和田河流域生态环境状况整体处于较差的级别。通过对比综合治理前后整个流域的生态环境状况指数,发现流域生态环境状况指数(EI)在综合治理前的 10 a 内仅仅降低了 0.1%,而在 2000—2010 年减少了 1.19%。

(4) 耕地的扩张是和田河天然林草地面积减少和生态环境状况下降的根本原因。耕地扩张导致灌

溉引水量增大,同时流域执法部门监管能力有限,使得实际生活生产用水量远超过限额用水,植被生态用水被大量挤占,因此,限制耕地大面积扩张才是解决流域林草地面积减少及生态退化的根本出路。

参考文献:

- [1] 玉苏甫·阿布都拉,马宏武,买买提·阿布都拉,等.和田河流域气候变化特征分析[J].气象,2006,32(4):97-100.
- [2] 杨家军,吐尔逊·哈斯木,阿迪力·吐尔干,等.近 50 年来塔里木河流域水域环境现状及其驱动力分析[J].水土保持研究,2013,20(1):76-81.
- [3] 吴益,程维明,任立良,等.新疆和田河流域河川径流时序特征分析[J].自然资源学报,2006,21(3):375-381.
- [4] 徐宗学,米艳娇,李占玲,等.和田河流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J].资源科学,2009,30(12):1833-1838.
- [5] 褚桂红,史文娟,王娟.和田河上游径流变化特征及影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(11):83-87.
- [6] 窦燕,陈曦,包安明.近 40 年和田河流域土地利用动态变化及其生态环境效应[J].干旱区地理,2008,31(3):449-455.
- [7] 孙秋梅,李志忠,武胜利,等.和田河流域绿洲荒漠过渡带土地荒漠化过程研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(6):136-141.

- [7] 田义超,李晶,任志远.近 300 年来黄土高原耕地变化及时空格局分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(2):94-101.
- [8] 杜新波,周伟,司慧娟,等.青海省 2000—2008 年耕地变化及驱动力研究[J].水土保持研究,2013,20(5):180-186.
- [9] 刘森,胡远满,布仁仓,等.岷江上游耕地景观变化研究[J].农业工程学报,2006,22(7):82-86.
- [10] 白元,徐海量,刘新华,等.塔里木河干流耕地动态变化及其景观格局[J].土壤学报,2013,50(3):492-500.
- [11] 王成,袁敏,魏朝富,等.浅丘带坝区不同坡度下耕地景观格局分析[J].生态学杂志,2007,26(9):1424-1431.
- [12] 曾永年,吴孔江,靳文凭,等.青海高原东北部耕地变化及驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(8):89-92.
- [13] 赵晓丽,张增祥,汪潇,等.中国近 30 a 耕地变化时空特征及其主要原因分析[J].农业工程学报,2014,30(3):1-11.
- [14] 徐嘉兴,李钢,陈国良.基于 logistic 回归模型的矿区土地利用演变驱动力分析[J].农业工程学报,2012,28(20):247-255.
- [15] 李传哲,于福亮,刘佳,等.近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究[J].自然资源学报,2011,26(3):353-363.
- [16] 张乐勤,陈素平,王文琴,等.基于 STIRPAT 模型的安徽省池州市建设用地扩展驱动因子测度[J].地理科学进展,2012,31(9):1235-1242.
- [17] 王瑞发,夏非,张永战.青岛市近 10 年来耕地变化及其驱动力分析[J].水土保持研究,2013,20(2):108-114.
- [18] Tzanopoulos J, Vogiatzakis I N. Processes and patterns of landscape change on a small Aegean island: The case of Sifnos, Greece[J]. Landscape and Urban Planning, 2011,99(1):58-64.
- [19] 罗湘华,倪晋仁.土地利用/土地覆盖变化研究进展[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(3):262-272.
- [20] 王惠文.偏最小二乘回归方法及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [21] Farifteh J, Van der Meer F, Atzberger C, et al. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN)[J]. Remote Sensing of Environment, 2007,110(1):59-78.
- [22] 崔瀚文,姜琦刚,程彬,等.东北地区湿地变化影响因素分析[J].应用基础与工程科学学报,2013,21(2):214-223.
- [23] 王晓轩,夏丽华,邓珊珊,等.基于 STIRPAT 模型的广州市耕地变化社会经济驱动力分析[J].中国农学通报,2010,26(20):339-343.
- [24] 郇红艳,谭清美,朱平.城乡一体化进程中耕地利用变化的驱动因素及区域比较[J].农业工程学报,2013,29(21):201-213.
- [25] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [26] 吴春花,杜培军,谭琨.煤矿区土地覆盖与景观格局变化研究[J].煤炭学报,2012,37(6):1026-1033.
- [27] 胡玉福,邓良基,张世熔,等.基于 RS 和 GIS 的西昌市土地利用及景观格局变化[J].农业工程学报,2011,27(10):322-327.
- [28] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsacker C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics [J]. Landsc Ecol,1995,10(1):23-39.
- [29] Gong C F, Yu S X, Joesting H, et al. Determining socioeconomic drivers of urban forest fragmentation with historical remote sensing images[J]. Landscape and Urban Planning, 2013,117:57-65.
- [30] Trapa J, Hättenschwiler S, Gattin I, et al. Forest ageing: An unexpected driver of beech leaf litter quality variability in European forests with strong consequences on soil processes[J]. Forest Ecology and Management, 2013,302(6):338-345.

(上接第 178 页)

- [8] 贺凌云.和田地区近五十年耕地变化分析[J].水土保持研究,2005,12(1):83-86.
- [9] 陈忠升,陈亚宁,李卫红.新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J].中国沙漠,2010,30(2):326-333.
- [10] 黎枫,李卫红.新疆和田地区水资源利用的可持续性分析[J].第四纪研究,2010,30(1):201-208.
- [11] 许有鹏.干旱区水资源承载力综合评价研究:以新疆和田河流域为例[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.
- [12] 李卫红,黎枫,陈忠升,等.和田河流域平原耗水驱动力与适宜绿洲规模分析[J].冰川冻土,2011,33(5):1161-1168.
- [13] 冯娟,王福娥,高婧.基于“3S”技术的和田河流域植被空间格局研究[J].水土保持研究,2010,17(1):67-71.
- [14] 杨丽雯,何秉宇,黄培祐.和田河流域天然胡杨林生态服务价值评估[J].生态学报,2006,26(3):681-689.
- [15] 刘名廷.和田河中下游植被考察报告[J].干旱区研究,1985,2(4):8-14.
- [16] 路端正.和田河沿岸植被与生态环境[J].北京农学院学报,1994(2):153-160.
- [17] 唐克斯.额济纳河流域生态环境质量评价研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2013.
- [18] 张真鲜.新疆特克斯河流域生态环境遥感监测与评价[D].北京:中国地质大学,2012.
- [19] 木沙·如孜,白云岗,雷晓云,等.塔里木河流域气候及径流变化特征研究[J].水土保持研究,2012,19(6):122-126.
- [20] 尹如洪.和田河流域水资源规划研究[D].西安:西安理工大学,2002.