

塔里木盆地南缘和田地区土地利用变化的遥感研究

胡 栩^{1,2}, 聂 勇^{2,4*}, 徐 霞¹, 蒋 盛^{1,2}, 张镜铨^{3,4}

(1. 四川师范大学地理和资源科学学院, 成都 610101; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190)

摘要:中国西部干旱区土地利用变化显著,是全球土地变化科学研究的热点区,为此论文基于1990—2016年4个时段的遥感卫星数据,采用面向对象的分层分类影像解译方法完成了塔里木盆地南缘和田地区(简称和田塔里木地区)土地利用调查,重点分析土地利用变化特征、发展模式 and 区域差异性。结果表明:1990—2016年,和田塔里木地区耕地持续加速扩张(增长率为2.9%/a),呈现渐进式扩张和骤变式开垦2种发展模式;建设用地面积增加(12.1%/a),主要表现为城市化发展、农村居民用地和交通用地的增加;耕地和建设用地扩张导致林灌草地和未利用地面积减少;和田地区县域土地利用发展不均衡,和田市建设用地比例最高,和田县与墨玉县的农业和建设用地扩张总量和速率最大,其次是洛浦县和于田县,皮山县、策勒县和民丰县农业和建设用地增长相对缓慢;总体上,和田塔里木地区耕地和建设用地的扩张在新疆处于一个较快的发展水平,今后一段时期快速的土地利用变化可能引起的生态环境问题需要重点关注。

关键词:土地利用变化;遥感;Landsat;耕地扩张;建设用地;塔里木盆地;和田地区

土地资源是人类赖以生存与发展的基础资源和物质保障,土地利用则反映了人类与自然界相互影响与交互作用最直接和最密切的关系^[1-2]。全球及区域范围的土地利用/土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)^[3-6]研究表明人类活动对地表生态环境造成了巨大改变^[7-10],自20世纪90年代以来围绕LUCC与环境变化之间的相互作用开展了系列研究^[11-12]。耕地是人类最广泛的土地利用类型之一^[13-15],1982—2011年全球的耕地呈现增加的趋势^[16],而中国从1957年耕地面积峰值到1999年,经历了4次大幅度减少^[17],也有研究表明1990—2015年中国耕地面积略有增加^[13]。2010—2015年遥感数据监测显示^[18]:全国耕地总量下降,东部和中部地区耕地持续减少,东北地区 and 西部地区耕地持续增加,东部地区主要是建设用地占用耕

地导致的,西部地区绿洲农业发展迅速,特别在新疆,大量侵占林草地和开垦未利用地,是耕地增长的主要贡献者。

新疆绿洲是干旱区一种独特的景观^[19],也是当地主要的生产生活空间,相对于其他生态系统,绿洲生态系统的土地利用相对单一,易受人类活动的影响而发生明显变化。一些学者利用遥感方法分析了1977—2015年新疆孔雀河流域绿洲的土地利用变化,揭示了变化的空间集聚现象和建设用地空间扩张的连续性^[20]。也有学者基于遥感与GIS方法阐明1994—2015年渭干河—库车河三角洲绿洲(渭库绿洲)、2000—2015年天山北坡经济带、1991—2016年阿克苏地区耕地和建设用地快速增长的现象,揭露了毁林毁草、开荒种田现象^[21-23]。新疆南部和田地区的土地利用近年来引起了学者们的广泛

收稿日期:2019-04-02;修订日期:2019-09-22。

基金项目:中国科学院西部之光A类人才项目;国家自然科学基金项目(41571104);四川省委组织部人才专项。[Foundation: CAS "Light of West China" Program; National Natural Science Foundation of China, No. 41571104; CPC Sichuan Provincial Committee Organization Department Talents Program.]

第一作者简介:胡栩(1993—),男,硕士生,主要从事遥感、GIS和土地利用研究。E-mail: 842636875@qq.com

*通信作者简介:聂勇(1981—),研究员,从事土地利用与土地覆被变化、遥感和GIS应用等研究。E-mail: nieyong@imde.ac.cn

引用格式:胡栩,聂勇,徐霞,等.塔里木盆地南缘和田地区土地利用变化的遥感研究[J].地理科学进展,2020,39(4):577-590.[Hu Xu, Nie Yong, Xu Xia, et al. Monitoring land-use change in Hetian Tarim Basin, China using satellite remote sensing observation between 1990 and 2016. Progress in Geography, 2020, 39(4): 577-590.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.04.005

关注,有研究分析了1980—2010年和田绿洲区(含和田县、洛浦县、墨玉县与和田市)土地利用变化和环境效应^[24],指出耕地开垦、径流量下降导致下游地区土地退化,生态系统服务功能下降,其中1990—2005年和田河流域耕地、林地和建设用地面积增加^[11],人口增长和社会经济发展导致土地利用发生变化^[25]。这些前期研究使用的遥感数据源存在差异,遥感数据空间尺度差异导致一定的不确定性,同时,土地利用制图采用人工数字化方法,工作量大、定位误差明显,需要发展更高效、准确的制图新方法进一步揭示干旱生态脆弱区土地利用变化的新特征和发展趋势。源于和田地区的和田河是目前唯一一条横穿塔克拉玛干沙漠注入塔里木河的河流,也是一条南北贯通的绿色生态走廊^[26]。和田绿洲中游耕地扩张不仅导致下游径流量减少,而且造成绿洲-荒漠过渡带植被破坏,抵御风沙能力下降,威胁绿洲的稳定性^[24,27]。农业是和田地区经济支柱,农业用水占总用水量的97%^[26],人口增长是土地利用变化的主导因素^[11],人均耕地面积下降促使耕地开垦,增长的灌溉面积和粗放的用水方式导致水资源短缺和流域水资源分配问题日益严峻^[26,28]。

为了更清楚地认识和田地区土地利用变化幅度、过程和空间发展的差异性规律,本文基于一致

的30 m空间分辨率的Landsat卫星遥感数据,改进遥感自动制图方法和质量控制流程,充分利用谷歌高清影像对制图结果进行检验和人工修正,建立了研究区1990—2016年4个时段(1990、2000、2010和2016年)的土地利用空间数据库,重点探讨了研究区土地利用变化总体特征、耕地扩张模式、建设用地扩张方式及县域发展的空间差异性,研究结果将为当地的耕地开垦、绿洲生态保护、水资源管理和可持续发展提供数据基础和科学依据。

1 研究区概况

本文选择中国生态地理区划^[29]的塔里木盆地荒漠区与和田地区行政区的重叠区域为研究区,简称为和田塔里木地区(图1)。研究区介于 $77^{\circ}34'37''\sim 84^{\circ}01'40''\text{E}$ 、 $35^{\circ}59'09''\sim 39^{\circ}36'46''\text{N}$ 之间,位于新疆维吾尔自治区南部,包含塔克拉玛干沙漠腹地。行政上,涉及和田地区的7县1市,即墨玉县、皮山县、洛浦县、策勒县、于田县、民丰县、和田县与和田市。天山和帕米尔高原的屏障作用使西伯利亚的冷空气难以进入,加上印度洋的暖湿气流被喀喇昆仑山和昆仑山阻隔,因而研究区为暖温带极端干旱荒漠气候^[30]。全年光照充足,年平均气温 12.7°C ,

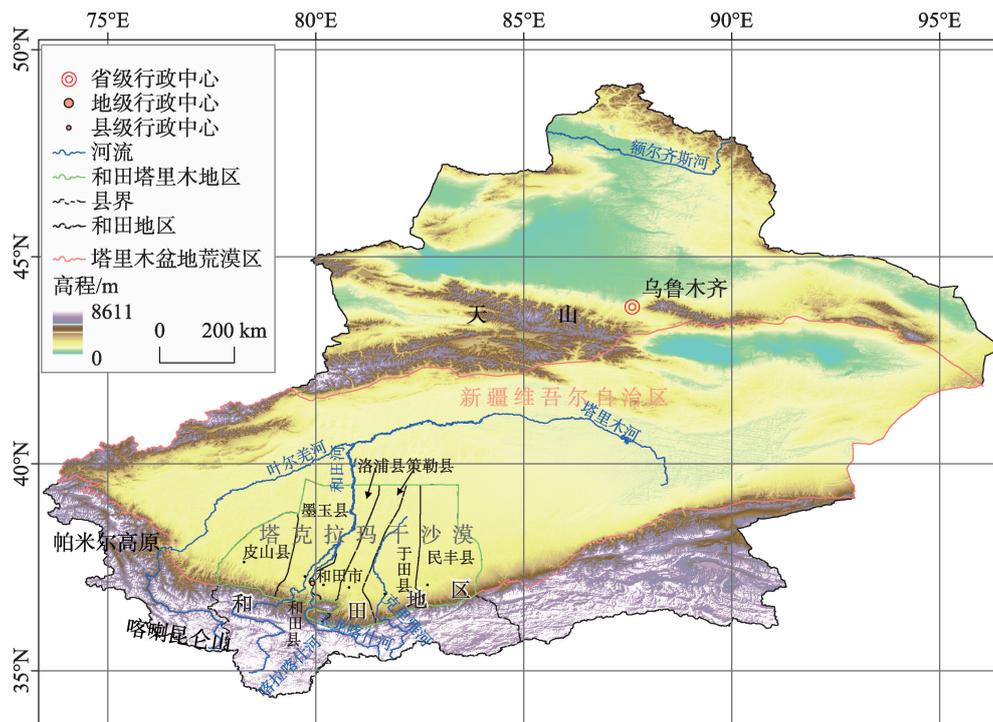


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

蒸发量大,但年降水量少(53.4 mm),冰雪融水为主要补给水源,和田河、喀拉喀什河、玉龙喀什河和克里雅河为主要河流^[27,31],这些河流支撑着该区绿洲农业的发展。整个和田地区地形北低南高,由西向东缓倾,海拔在1050~7167 m之间,可划分为盆地和山地2个地貌区,由于山区平均海拔超过3000 m,光学遥感影像受云和季节性积雪影响严重,同时山区人口稀疏,土地利用相对稳定且与下游的塔里木盆地绿洲农业差异明显,故本文选择和和田塔里木地区(国土面积15.3万km²)的土地利用变化作为研究对象。

整个和田地区国土面积为24.8万km²,1991年《新疆统计年鉴》和2016年《和田统计年鉴》统计显示:1990年总人口为140.1万人,其中城镇人口33.9万人,农村人口106.2万人;2015年总人口为232.4万人,其中城镇人口61.8万人,农村人口170.6万人,约是1990年农村人口的1.6倍。和田地区7个县都是国家级贫困县^[28],属于典型农业为主的经济欠发达地区,对土地有很强依赖性,农业人口逐年增长造成人均耕地占有量不断减少,快速的人口增长加剧了人与水土资源的矛盾。近年来,在塔里木河流域综合治理项目支持下和田地区续建了部分灌溉配套工程,缓解了用水供需矛盾,但灌溉水利工程老化、损耗大的问题仍然突出^[26]。

2 数据和方法

2.1 数据

选择高质量的Landsat遥感影像为数据源,研究区日照充足,云盖度低,高质量影像较多。研究区全覆盖涉及到8个图幅的卫星数据(表1),轨道号分别为144/34、145/33、145/34、145/35、146/33、146/34、146/35和147/34。选择1990、2000、2010和2016年4个时段遥感影像分析研究区土地利用变化特征,总共使用32景遥感数据,Landsat数据全部由U. S. Geological Survey (USGS)提供,空间分辨率均为30 m^[32],经过影像对比确认全部影像都经过了精确的正射校正,影像间的配准误差小于1个像元。主要选择6—10月获取的影像,该时段农作物生长旺盛,提高了耕地与其他土地利用类型的可分性。

2.2 土地利用分类系统

结合国土资源部《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)标准、遥感影像空间分辨率、研究目的和研究区实际情况,制定了包含5个一级类的分类系统。土地利用现状分类标准包含12个一级大类,分别为:耕地、林地、草地、园地、商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、特殊用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地、水域及水设施用地、其他土地。本文使用30 m分辨率的Landsat卫星影像进行遥感调查,商服用地、公共管理与公共服务用地等

表1 陆地卫星遥感数据源

Tab.1 List of the Landsat images used in this study

序号	轨道号	获取日期	传感器	序号	轨道号	获取日期	传感器
1	144/34	1990-03-29	TM	17	144/34	2010-09-28	TM
2	145/33	1990-03-04	TM	18	145/33	2010-10-05	TM
3	145/34	1990-03-04	TM	19	145/34	2011-08-05	TM
4	145/35	1994-08-22	TM	20	145/35	2010-10-21	TM
5	146/33	1990-08-02	TM	21	146/33	2010-06-22	TM
6	146/34	1990-08-02	TM	22	146/34	2010-07-08	TM
7	146/35	1990-08-02	TM	23	146/35	2011-09-13	TM
8	147/34	1990-05-05	TM	24	147/34	2010-05-12	TM
9	144/34	2000-08-07	ETM+	25	144/34	2016-07-26	OLI
10	145/33	2000-06-27	ETM+	26	145/33	2016-09-19	OLI
11	145/34	2000-08-30	ETM+	27	145/34	2016-06-15	OLI
12	145/35	2000-06-27	ETM+	28	145/35	2016-10-05	OLI
13	146/33	2000-08-05	ETM+	29	146/33	2016-07-24	OLI
14	146/34	2000-08-05	ETM+	30	146/34	2016-07-24	OLI
15	146/35	2000-05-09	ETM+	31	146/35	2016-07-24	OLI
16	147/34	2000-04-22	ETM+	32	147/34	2016-09-17	OLI

类型在 30 m 分辨率影像中难以识别,同时, Landsat 卫星数据已被成功运用于 1:10 万比例尺土地利用研究^[13,24]。因此,针对研究区实际情况和研究需求对土地利用类型进行合并、修改,制定了符合研究区实际情况的土地利用分类系统,主要划分为耕地、建设用地、林灌草地、水域和未利用土地 5 种类型(表 2)。

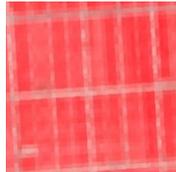
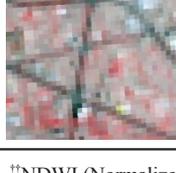
2.3 方法

根据土地利用分类系统和研究区实际情况,本文主要采用面向对象的影像解译方法和分层提取策略完成土地利用制图。传统的人工目视解译方法^[11,18,24],定位精度差、费时费力,自动解译方法如监督分类^[25]、决策树分类^[36],都是基于单个像素提取土地利用信息,“椒盐”效应比较明显^[37]。本文基于 ArcGIS 软件平台,采用面向对象方法,根据目标地

物的纹理、遥感影像的光谱特征及空间位置关系制定了土地利用分层分类提取的流程和质量控制标准,完成了 1990—2016 年 4 期土地利用遥感调查。

具体的提取步骤为(图 2):① 利用 NDWI 指数,将研究区划分为水域和非水域 2 部分,水域的 NDWI 值一般大于 0.1 且高于其他类型;② 选 NDVI 指数提取植被区,即耕地和林灌草地,研究区耕地在生长季的 NDVI 通常大于 0.3,且明显高于自然状态下的林灌草地,同时,耕地地块十分规则、纹理清晰,可以很好的区别非耕地植被;③ 在非水体区,NDVI 值特别低的区域主要是未利用的沙地、戈壁及建设用地,依据城镇、居民点和交通用地的空间分布特征,进一步提取出建设用地,其他的归入未利用地;④ 对于初步获取的 5 种土地利用类型数据,进行类型代码赋值和分层无缝合并,依据谷歌

表 2 土地利用分类系统
Tab.2 Land use classification system

类型	定义	影像特征	影像样例(标准假彩色)
耕地	指种植农作物的土地,包括熟地、新开发地,研究区耕地周边的农田防护林规模有限并和耕地交混,本文直接将农田防护林和河渠护堤林归入耕地	影像上为亮红色、地块形态比较规整	
林灌草地	指生长乔木、灌木、草本植物为主的土地,研究区以杨树、灌木、荆棘、牧草等为主	主要表现为暗红色、形状不规则、NDVI [†] ^[33-34] 比耕地低	
未利用地	研究区以沙地和戈壁为主要的未利用地类型,植被覆盖度小于 5%	影像上表现为黄灰色、地表基本处于自然状态、人类活动干扰较小	
水域	指河流、湖泊、水库等常水位岸线围成的水面,包括灌溉用的蓄水池和低洼坑塘	影像上表现为黑色或深蓝色、NDWI ^{††} ^[35] 值较高	
建设用地	包括城镇建成区和农村居民点用地、交通道路用地等	影像上表现为灰白色、NDVI 值低、有明显的干线交通特征	

注:†NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)为归一化植被指数,计算公式为 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$; ††NDWI (Normalized Difference Water Index)归一化水体指数,计算公式为 $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$ 。式中: NIR、R、Green 分别为遥感近红外波段、遥感红波段、遥感绿波段的反射率。

高清影像进行人工检验和修正,开展拓扑检查,剔除碎多边形和重叠区,重新更新每个地块的面积属性等参数,完成土地利用数据建库;⑤采用随机抽样方法进行精度检验,每种土地利用类型各生成50

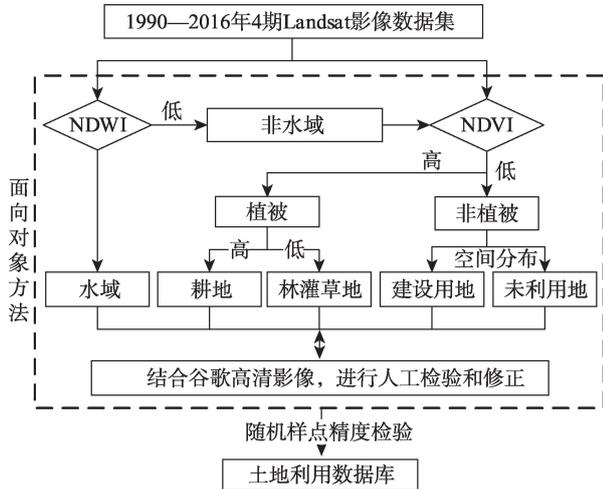


图2 面向对象的分层分类提取流程

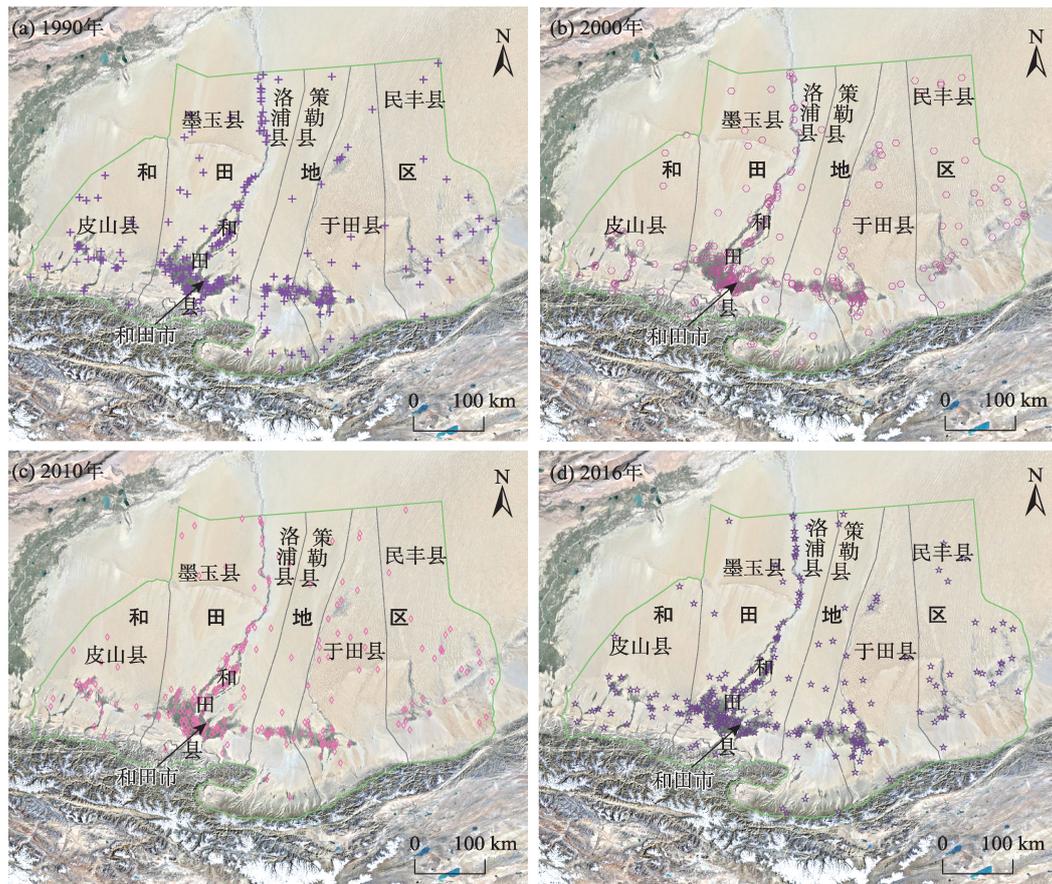
Fig.2 Stratified object-based mapping workflow for land use

个随机点,共计250个(图3),依据 Google Earth 同期高清影像和 Landsat 影像的纹理、光谱特征信息和不同土地利用类型的分布及变化特征对2010年和2016年2期数据开展精度检验,统计结果显示:2期土地利用数据的总体精度和Kappa系数均不小于97%,单个土地利用类型的精度均大于94%(表3)。针对无高分辨率影像时期(1990年和2000年)制图数据的精度检验,根据前期精度检验中建立的解译参考点和 Landsat 数据的纹理、光谱特征和土地利用变化特征进行检验判识,检验结果为:2期土地利用数据的总体精度和Kappa系数均不小于95%(表3)。以上数据为土地利用变化分析提供了很好的基础数据。

3 结果与讨论

3.1 土地利用现状和变化

研究表明:2016年,和田塔里木地区以未利用



图例 + 1990年 o 2000年 ◇ 2010年 ☆ 2016年

图3 精度评估中随机样点的分布

Fig.3 Distribution of random points employed for accuracy analyses of land use mapping

表3 土地利用制图精度分析
Tab.3 Accuracy assessment of land use mapping (%)

土地利用类型	1990年		2000年		2010年		2016年	
	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度
耕地	92.3	96.0	94.0	94.0	96.0	96.0	94.2	98.0
林灌草地	93.8	92.0	94.1	96.0	94.3	100.0	94.1	96.0
未利用地	96.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
建筑用地	100.0	94.0	100.0	96.0	100.0	96.0	100.0	98.0
水体	98.0	98.0	98.0	100.0	100.0	98.0	100.0	96.0
总体精度	96.0		97.2		98.0		97.6	
Kappa	95.0		96.5		97.5		97.0	

地为主,其次为林灌草地、耕地、水域和建设用地,未利用地面积达到了139077.6 km²,占研究区的90.9%,耕地面积为4692.2 km²(3.1%),建设用地648.9 km²(0.4%)(图4和表4)。1990—2016年,和田塔里木地区土地利用发生了显著的变化,主要变化特征表现为:耕地持续快速扩张,新增耕地2038.3 km²,增加了76.8%;新增建设用地492.3 km²,扩张了3.1倍;未利用地面积减少最多,其次是林灌草地和水域面积下降。

1990—2016年,耕地和建设用地持续扩张(表5和表6)。耕地在1990—2000、2000—2010和2010—

2016年3个时段的扩张速率都在增加。建设用地面积持续增加,而扩张率呈现提速—减速—快速增加的变化趋势,2010—2016年建设用地扩张率达到了13.53%/a,主要贡献来源于城市用地的扩张,这表明和田塔里木地区近期的城市化在增速。林灌草地和未利用地面积在3个时段持续下降,其中,林灌草地面积从2010年后有所放缓,这与国家对生态保护的重视和政策落实有关,而未利用地仍在被加速开发利用,从1990—2000年的-0.02%/a到2000—2010年的-0.04%/a,2010—2016年未利用地以0.09%/a的速率在减少。水域面积呈现波动变化,

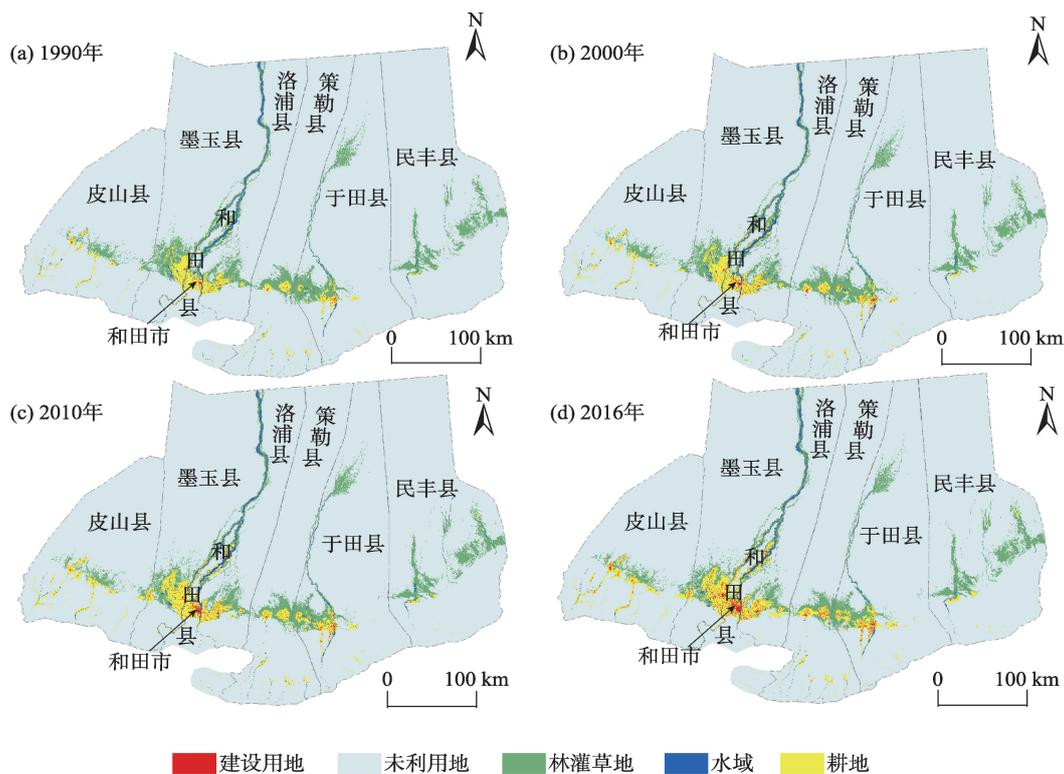


图4 1990、2000、2010和2016年4个时期研究区土地利用
Fig.4 Land use of the Hetian Tarim Basin, 1990, 2000, 2010, and 2016

表4 1990—2016年和田塔里木地区土地利用面积统计

Tab.4 Land use distributions and changes across the Hetian Tarim Basin, 1990—2016

土地利用类型	1990年 面积/km ²	2000年 面积/km ²	2010年 面积/km ²	2016年		1990—2016年	
				面积/km ²	比例/%	变化/km ²	变化率/%
耕地	2653.9	3112.3	3967.5	4692.2	3.1	2038.3	76.8
林灌草地	7936.1	7719.0	7489.2	7418.2	4.9	-517.9	-6.5
未利用地	140891.5	140546.2	139854.6	139077.6	90.9	-1813.9	-1.2
水域	1257.8	1267.8	1226.5	1059.0	0.7	-198.8	-15.8
建设用地	156.6	250.6	358.1	648.9	0.4	492.3	314.3
总计	152895.9	152895.9	152895.9	152895.9	100.0	—	—

表5 1990—2016年和田塔里木地区土地利用面积变化

Tab.5 Annual areal change of land uses

in the study area, 1990—2016 (km²/a)

地类	1990— 2000年	2000— 2010年	2010— 2016年	1990— 2016年
耕地	45.8	85.5	120.7	78.3
林灌草地	-21.7	-22.9	-11.8	-19.9
未利用地	-34.5	-69.1	-129.5	-69.7
水域	1.0	-4.1	-27.9	-7.6
建设用地	9.4	10.7	48.4	18.9

表6 1990—2016年和田塔里木地区土地利用年变化率

Tab.6 Annual change rates of land uses

in the study area, 1990—2016 (%/a)

地类	1990— 2000年	2000— 2010年	2010— 2016年	1990— 2016年
耕地	1.72	2.74	3.04	2.94
林灌草地	-0.27	-0.29	-0.15	-0.25
未利用地	-0.02	-0.04	-0.09	-0.04
水域	0.07	-0.32	-2.27	-0.60
建设用地	6.00	4.28	13.53	12.09

先增加后减少,总体呈减少的趋势,一方面是气候变化的影响,另一方面是耕地开垦侵占原来的水域地块种植农作物导致的。

3.2 耕地扩张模式

和田塔里木地区耕地扩张存在2种模式,即渐进式扩张和骤变式开垦。渐进式扩张为研究区主要的耕地扩张模式,该模式是在已有耕地周边侵占非耕地进行扩张的一种方式,前期的扩张主要侵占土壤肥沃、水源条件较好的林灌草生长区,2010—2016年研究发现当地直接开发耕地附近的未利用地(沙地)进行农业种植的现象(图5)。同时,研究发现:近年来,研究区出现了成规模开垦未利用地现象,即短期完成耕地开垦并开始农业种植,即骤变式耕地开垦模式(图6)。这种耕地开垦方式主要发

生在河流的上游地区,通过人工修建沟渠,完善灌溉系统,发展农业。耕地地块形态十分规整,具有统一的规划布局,耕地开垦的同时也修建辅助道路和居民点,发展规模化农业。土地利用转变的统计结果显示(表7):59.4%的新垦耕地是从林灌草地转变而来的,同时,城市化进程中,不断侵占城镇周边的耕地,1990—2016年共计364.1 km²的耕地转变为建设用地,未利用地转为耕地的面积占耕地增加面积的34.8%。

3.3 建设用地扩张模式

研究区建设用地扩张主要表现为城镇化发展,其次是农村居民用地和交通用地的增加。1990—2016年,城市化进程加速,尤其是2010年后,和田地区城镇面积不断扩张,如和田市与和田县(图7)。研究区城市发展是以老城区为中心,逐步向四周扩张的发展模式。这种发展模式不得不侵占周边大量成熟耕地,同时也刺激着当地加快开垦原绿洲农业边缘地带的林灌草地,甚至未利用的沙地和戈壁。快速城市化过程中,对水资源的需求不断增加,干旱区的人地矛盾日益突出,水的可获性成为当地发展的关键限制因素。

3.4 县域发展差异性

1990—2016年,和田塔里木地区各县域的发展很不平衡,除了和田市外各个县的耕地和建设用地都有明显地增加,但发展速度存在显著差异(表8)。其中,墨玉县耕地面积增长最多,由553.2 km²增长到1042.2 km²,其次是皮山县、于田县、和田县,民丰县在和田地区的国土面积最大但耕地增加量最少,而和田市的耕地面积下降了18.8 km²。从耕地扩张比例来看,民丰县增长幅度最大(3.845倍),其次是皮山县、墨玉县、于田县、和田县,都超过了80%,洛浦县和策勒县仅超过50%。同时,墨玉县建设用地面积扩张最多(107.1 km²),其次是洛浦县、和田县、

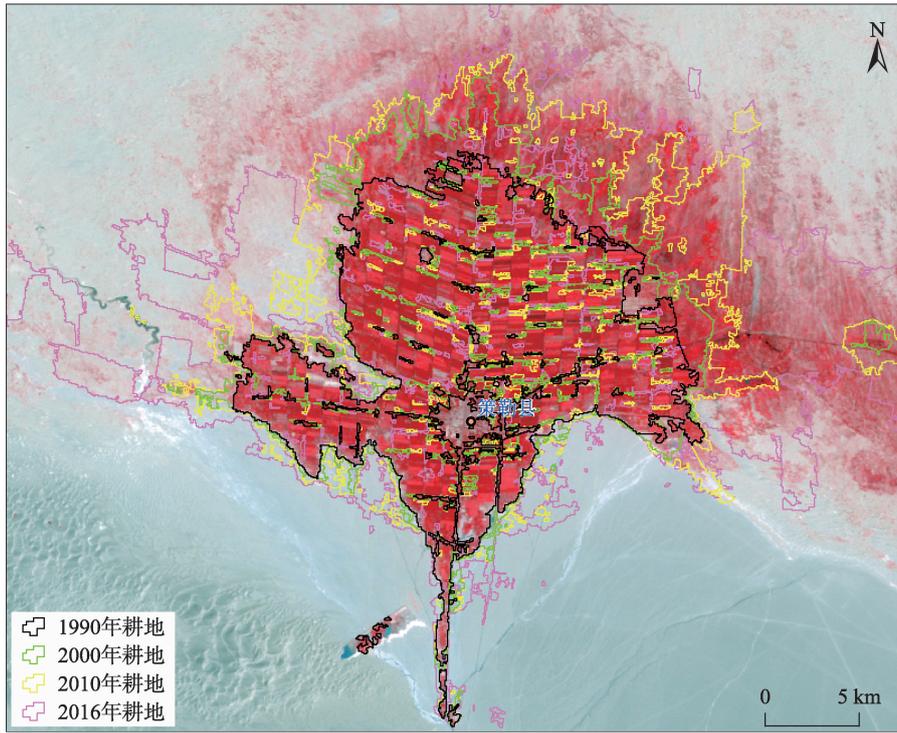
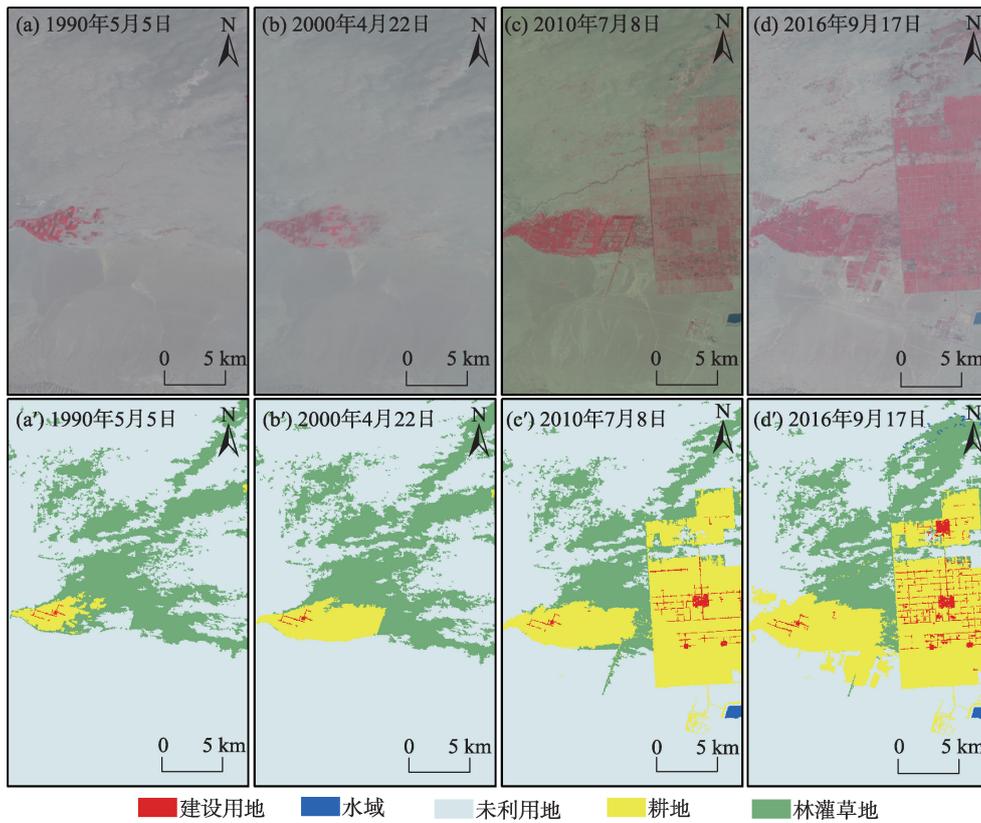


图5 渐进式耕地扩张模式

Fig.5 An example illustrating the gradual expansion of cropland



注:上图为不同时期的遥感影像;下图为相应时期的土地利用。

图6 骤变式耕地开垦模式

Fig.6 An example demonstrating the dramatic expansion of cropland

表7 1990—2016年和田塔里木地区土地利用转移矩阵
 Tab.7 Conversion matrix of land-use changes in the study area between 1990 and 2016 (km²)

1990年	2016年					总计
	耕地	建设用地	林灌草地	水域	未利用地	
耕地	2289.6	364.1	0.1	—	0.1	2653.9
建设用地	0.1	156.5	—	—	—	156.6
林灌草地	1427.1	79.4	6313.5	110.1	6.0	7936.1
水域	139.6	22.1	177.9	894.2	24.0	1257.8
未利用地	835.8	26.8	926.7	54.7	139047.5	140891.5
总计	4692.2	648.9	7418.2	1059.0	139077.6	152895.9

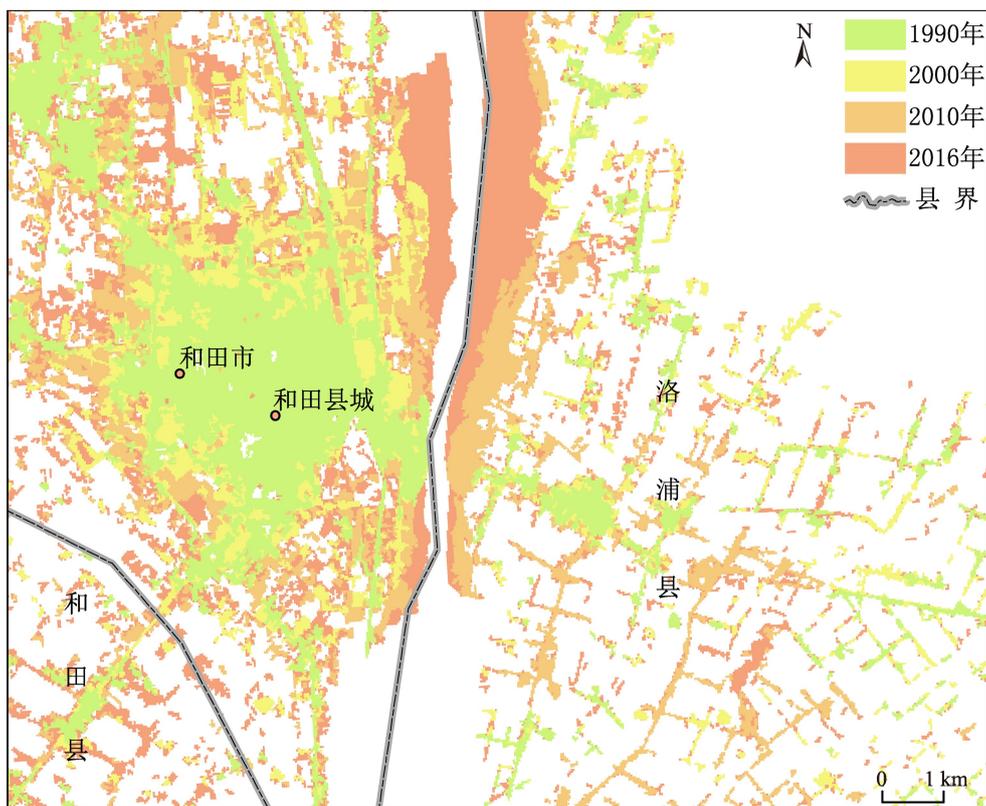


图7 1990—2016年和田市与和田县城建设用地的扩张

Fig.7 Rapid expansion of construction lands in Hetian City and Hetian County urban area between 1990 and 2016

于田县与和田市(图7),民丰县的建设用地扩张量最少,和田市的建设用地比例最高,超过40%,其他县的比例都不超过2%。分析和田塔里木地区建设用地扩张率得知,和田县和墨玉县扩张率最高,超过600%,其次是洛浦县、民丰县和策勒县,扩张率超过3倍,和田市和于田县扩张率超过2倍,皮山县扩张最慢。总体上,和田市的建设用地比例最高,和田县和墨玉县农业和建设用地扩张的总量和发展速度都较快,洛浦县和于田县居中,皮山县、策勒县和民丰县的发展相对滞后,需要加强。

3.5 讨论

(1) 耕地和建设用地变化速率差异。1990—2016年,和田塔里木地区耕地和建设用地面积快速增长,林灌草地面积因被开发为耕地和建设用地呈现出大幅度缩减,甚至未利用地也被进一步开发,这之前关于新疆国土变化的研究结果基本一致,但变化的速率存在显著的区域差异(表9)。总体而言,和田塔里木地区耕地和建设用地的增长率显著高于2000—2010年和2010—2015年中国西部的发展速率^[18]。刘纪远等^[18]的研究表明:2010—2015年

表8 研究区各县域耕地、建设用地变化统计

Tab.8 Changes in cropland and construction land at the county level across Hetian Prefecture

县域	国土面积 /km ²	耕地/km ²		建设用地/km ²		1990—2016年变化/km ²	
		1990	2016	1990	2016	耕地	建设用地
和田市	170.9	94.5	75.7	22.7	79.0	-18.8 (-19.9%)	56.3 (248.0%)
和田县	5089.7	405.6	731.4	12.2	96.1	325.8 (80.3%)	83.9 (687.7%)
洛浦县	13928.9	414.4	650.1	27.6	114.0	235.7 (56.9%)	86.4 (313.0%)
墨玉县	25656.1	553.2	1042.2	17.8	124.9	489.0 (88.4%)	107.1 (601.7%)
皮山县	23611.3	430.3	818.6	28.6	73.5	388.3 (90.2%)	44.9 (157.0%)
民丰县	33896.1	31.6	153.1	1.6	6.4	121.5 (384.5%)	4.8 (300.0%)
于田县	28571.8	387.5	715.5	34.0	106.0	328.0 (84.7%)	72.0 (211.8%)
策勒县	21971.1	336.8	505.6	12.1	49.0	168.8 (50.1%)	36.9 (305.0%)
总计	152895.9	2653.9	4692.2	156.6	648.9	—	—

注:括号中数据为耕地或建设用地的变化率。

中国西部耕地和建设用地面积相较于2000—2010年进一步在扩增,其中耕地2000—2010年增长率为0.1%/a,而2010—2015年为0.2%/a,同期建设用地的增长率分别为2.1%/a和5.0%/a。与新疆的研究报道相比,和田塔里木地区耕地和建设用地的扩张也处于较快的发展水平。本研究区同期的耕地扩张速率低于1991—2016年阿克苏地区^[23],但高于1994—2015年渭库绿洲区^[21]和2000—2015年天山北坡经济带;1990—2016年和田塔里木地区建设用地扩张率低于1994—2015年渭库绿洲区,显著高于1991—2016年阿克苏地区;2000—2016年和田塔里木地区建设用地扩张率是2000—2015年天山北坡经济带^[22]的3.1倍。本文与之前和田境内的研究存在一定的差异。如杨依天等^[24]的研究表明1980—2010年和田绿洲区的耕地扩张速率最低,仅为1.1%/a,同时期的建设用地却明显高于1990—2005年和田河流域^[11]和1990—2015年和田地区^[25]。本文1990—2016年耕地增长率低于1990—2015年整个和田地区耕地增长率^[25],但本文同时期的建设用地增长率显著高于该研究^[25],这与本文采用面向对象分层自动信息提取方法有关。该方法可以高效提取农村居民用地和主要交通用地,常规的人工目视解译方法难以提取这些细节信息。受制于研究区范围、遥感数据源和获取时段、遥感制图方法等不同,本文与之前和田地区研究报道难以进行深入比较,即使和田地区相关研究结果存在差异,但和田地区快速的土地利用变化已引起了众多学者的关注,成为一个研究的热点区,为今后该区域土地政策制定提供了很好的依据。

(2) 耕地快速扩张原因和影响。和田地区是塔里木河流域的重要组成部分,生态极其脆弱,快速的耕地扩张主要由人类活动主导,人口因素是最主要的驱动因子^[11]。1990—2015年,和田地区农业人口增长了60.6%,粮食需求量增加导致新垦大量耕地,从1953年至今,和田地区一直保持较高的人口自然增长率^[27],这与少数民族地区人口政策和生育观念有密切关系^[25],而当地大多数维吾尔族人离乡务工的意愿低^[38],人口增长对土地的需求难以疏解,往往优先开垦原有耕地周边水土条件好的区域,形成渐进式的耕地扩展模式。同时,建设用地侵占耕地,增加了对耕地资源的需求量,刺激了耕地开垦活动。在政策方面,国家实施的惠农政策,如取消农牧业税和补贴农业生产,提高了当地农民从事农业耕种的积极性^[39],而政府主导的土地整理复垦开发工作不断推进,也促使耕地增加,如2001—2010年,和田地区实施土地整理复垦,新增耕地1160 hm²^[40]。近年来建设兵团等社会团体组织进行规模化耕地开垦活动,尤其是在流域的上游地区新垦耕地、新建水库和引水工程,虽然这种骤变式的耕地扩张模式积极采用先进的灌溉技术,提高了水资源利用效率,但不可避免改变了流域水资源的分配额度,加剧了水资源压力,如2014年和田地区实际用水量超过了新疆最严格水资源管理“三条红线”控制指标^[28]。快速的土地利用变化导致下游地区的生态环境面临新的挑战。首先,盐渍化和沙漠化问题更加严重^[41]。上游灌区占用更多水源导致下游地区水资源短缺,胡杨、沙柳等形成的绿色走廊生态功能退化,防风固沙能力下降。其次,研究

表9 典型地区耕地和建设用地增长率统计

Tab.9 Comparison of expansion rates of cropland and construction land in some areas of China

地区	研究时段	耕地/(%/a)	建设用地/(%/a)	资料来源
阿克苏地区	1991—2016年	3.5	3.7	文献[23]
渭库绿洲区	1994—2015年	2.8	40.2	文献[21]
和田绿洲区	1980—2010年	1.1	4.7	文献[24]
和田河流域	1990—2005年	3.8	2.1	文献[11]
和田地区	1990—2015年	4.1	1.5	文献[25]
和田塔里木地区	1990—2016年	2.9	12.1	本文
中国西部	2000—2010年	0.1	2.1	文献[18]
中国西部	2010—2015年	0.2	5.0	文献[18]
天山北坡经济带	2000—2015年	1.5	3.2	文献[22]
和田塔里木地区	2000—2010年	2.7	4.2	本文
和田塔里木地区	2000—2016年	3.2	9.9	本文
和田塔里木地区	2010—2016年	3.0	13.5	本文

区面临生物多样性和生态系统服务下降问题。耕地快速扩张直接侵占林灌草地,特别是绿洲和荒漠过渡带植被被破坏,导致防风固沙能力丧失^[27],影响未来绿洲的稳定性。另外,研究区还面临着水质和下游生态日益恶化的严峻问题^[24,42]。上游地区日益增长的农业耕作将对下游排放更多的化肥残留物和盐分,导致下游水质下降,河水氨氮浓度上升,进而加剧生态环境的恶化。快速的土地利用变化将对研究区生态环境造成新的影响,今后需要加强动态监测与定量研究。

4 结论

本文基于一致空间分辨率的卫星遥感数据,建立了一种高效提取土地利用信息的方法,完成了和田塔里木地区1990、2000、2010和2016年4期土地利用调查,揭示了土地利用变化类型、速率及区域差异性特征,主要结论如下:

(1) 1990—2016年,和田塔里木地区土地利用发生了显著的变化,主要表现为:耕地持续加速扩张和建设用地增加,新增耕地2038.3 km²,新增建设用地492.3 km²(扩张了3.1倍),未利用地和林灌草地的面积下降最多。

(2) 和田塔里木地区耕地呈现渐进式扩张和骤变式开垦2种扩张模式,前者主要侵占土壤肥沃、水源条件较好的灌草生长区,后者主要在上游未利用区成规模开垦耕地。城市周边被侵占的耕地是建设用地扩张的主要来源。

(3) 1990—2016年,和田塔里木地区各县域的

发展很不均衡,和田市建设用地比例最高,和田县与墨玉县的农业和建设用地扩张最明显,洛浦县和于田县次之,皮山县、策勒县和民丰县的发展相对滞后,需要加强。

(4) 与中国西部和新疆其他地区的发展相比,和田塔里木地区耕地和建设用地的扩张都处于一个较快的发展水平,快速的土地利用变化使本区成为一个研究的热点区,建议加强土地利用变化导致的生态环境效应研究。

参考文献(References)

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558. [Li Xiubin. A review of the international researches on land use/land cover change. Acta Geographica Sinica, 1996, 51(6): 553-558.]
- [2] 戴尔阜, 马良. 土地变化模型方法综述[J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 152-162. [Dai Erfu, Ma Liang. Review on land change modeling approaches. Progress in Geography, 2018, 37(1): 152-162.]
- [3] 刘纪远, 邓祥征. LUCC时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报, 2009, 54(21): 3251-3258. [Liu Jiuyan, Deng Xiangzheng. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(21): 3251-3258.]
- [4] Zeng Z Z, Estes L, Ziegler A D, et al. Highland cropland expansion and forest loss in Southeast Asia in the twenty-first century[J]. Nature Geoscience, 2018, 11(8): 556-562.
- [5] Teluguntla P, Thenkabail P S, Oliphant A, et al. A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on

- Google Earth Engine cloud computing platform [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, 144(10): 325-340.
- [6] Chen J, Chen J, Liao A, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103(5): 7-27.
- [7] Yang X H, Jin X B, Guo B B, et al. Research on reconstructing spatial distribution of historical cropland over 300 years in traditional cultivated regions of China [J]. Global and Planetary Change, 2015, 128(5): 90-102.
- [8] Paudel B, Zhang Y L, Li S C, et al. Spatiotemporal changes in agricultural land cover in Nepal over the last 100 years [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(10): 1519-1537.
- [9] Rajsekhar D, Gorelick S M. Increasing drought in Jordan: Climate change and cascading Syrian land-use impacts on reducing transboundary flow [J]. Science Advances, 2017, 3(8): e1700581. doi: 10.1126/sciadv.1700581.
- [10] 李俊, 叶瑜, 魏学琼. 过去300a大清河上游南部流域耕地变化重建 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(6): 883-895. [Li Jun, Ye Yu, Wei Xueqiong. Reconstruction of cropland change in the southern area of the Daqing River Basin over the past 300 years. Progress in Geography, 2019, 38(6): 883-895.]
- [11] 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. [Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong. Land use/cover change and their driving forces in Hotian river basin of Xinjiang. Journal of Desert Research, 2010, 30(2): 326-333.]
- [12] 张懿铨, 聂勇, 吕晓芳. 中国土地利用文献分析及研究进展 [J]. 地理科学进展, 2008, 27(6): 1-11. [Zhang Yili, Nie Yong, Lv Xiaofang. Chinese literature analysis on land use research in China. Progress in Geography, 2008, 27(6): 1-11.]
- [13] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的1990—2015年中国耕地时空特征变化分析 [J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1613-1629. [Cheng Weiming, Gao Xiaoyu, Ma Ting, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(9): 1613-1629.]
- [14] Rufin P, Levers C, Baumann M, et al. Global-scale patterns and determinants of cropping frequency in irrigation dam command areas [J]. Global Environmental Change, 2018, 50(3): 110-122.
- [15] Yin H, Prishchepov A V, Kuemmerle T, et al. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series [J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 210(7): 12-24.
- [16] Yao Z Y, Zhang L J, Tang S H, et al. The basic characteristics and spatial patterns of global cultivated land change since the 1980s [J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(7): 771-785.
- [17] 李秀彬. 中国近20年来耕地面积的变化及其政策启示 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329-333. [Li Xiubin. Change of arable land area in China during the past 20 years and its policy implications. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 329-333.]
- [18] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征 [J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802. [Liu Jiuyan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.]
- [19] 张敬波, 马虹, 杨国安. 和田绿洲土地利用动态监测系统研究 [J]. 干旱区地理, 2001, 24(3): 265-269. [Zhang Jingbo, Ma Hong, Yang Guoan. Study of landuse monitoring system for Hotan oasis. Arid Land Geography, 2001, 24(3): 265-269.]
- [20] 张军峰, 孟凡浩, 包安明, 等. 新疆孔雀河流域人工绿洲近40年土地利用/覆被变化 [J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 664-672. [Zhang Junfeng, Meng Fanhao, Bao Anming, et al. LUCC analysis of the upstream of the Kongqi River, Xinjiang, China. Journal of Desert Research, 2018, 38(3): 664-672.]
- [21] 麦尔耶姆·亚森, 买买提·沙吾提, 吐尔逊·艾山, 等. 新疆渭干河—库车河三角洲绿洲耕地时空变化特征分析 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(18): 3506-3518. [Yasen Maiyemu, Shawuti Maimaiti, Aishan Tuerxun, et al. Spatial-temporal characteristics of cropland in the Ugan-Kuqa River delta oasis. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(18): 3506-3518.]
- [22] 孙智斌, 高敏华, 崔雪锋. 基于遥感与GIS的天山北坡经济带2000—2015年土地利用动态变化研究 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 397-404. [Sun Zhibin, Gao Minhua, Cui Xuefeng. Land use change in north slope economic zone of Tianshan Mountain based on remote sensing. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2018, 54(3): 397-404.]
- [23] 段峥嵘, 祖拜代·木依布拉, 夏建新, 等. 近25年阿克苏绿洲土地利用时空变化及其驱动力分析 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2018, 26(2): 413-426. [Duan Zhenrong, Zubaidai Muyibula, Xia Jianxin, et al. Land use / cover temporal-spatial change and driving force study in

- Aksu oasis during the last 25 years. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2018, 26(2): 413-426.]
- [24] 杨依天, 郑度, 张雪芹, 等. 1980—2010年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应 [J]. *地理学报*, 2013, 68(6): 813-824. [Yang Yitian, Zheng Du, Zhang Xueqin, et al. The spatial coupling of land use changes and its environmental effects on Hotan oasis during 1980–2010. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 813-824.]
- [25] 孙智斌. 基于GIS和RS的和田地区1990—2015年土地利用时空变化特征分析 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018. [Sun Zhibin. Analysis of the temporal and spatial changes of land use in Hetian region from 1990 to 2015 based on GIS and RS. Urumqi, China: Xinjiang University, 2018.]
- [26] 吐尔逊·买买提明. 和田地区水资源利用存在的主要问题及对策 [J]. *水文*, 2015, 35(3): 92-95. [Maimaitiming Tursunmo. How to utilize water resources in Hotan region. *Journal of China Hydrology*, 2015, 35(3): 92-95.]
- [27] 孙荣章. 和田绿洲农业开发与发展途径探讨 [J]. *干旱区研究*, 1985, 2(4): 15-20. [Sun Rongzhang. Discussion on the development and ways of hetian oasis agriculture. *Arid Zone Research*, 1985, 2(4): 15-20.]
- [28] 李香云. 新疆和田地区脱贫发展中的水资源问题 [J]. *水利发展研究*, 2017, 17(2): 4-8. [Li Xiangyun. Water resources in poverty alleviation in Hetian region of Xinjiang. *Water Resources Development Research*, 2017, 17(2): 4-8.]
- [29] 吴绍洪, 杨勤业, 郑度. 生态地理区域系统的比较研究 [J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 686-694. [Wu Shaohong, Yang Qinye, Zheng Du. Comparative study on eco-geographic regional systems between China and USA. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 686-694.]
- [30] 李志忠, 武胜利, 王晓峰, 等. 新疆和田河流域怪柳沙堆的生物地貌发育过程 [J]. *地理学报*, 2007, 62(5): 462-470. [Li Zhizhong, Wu Shengli, Wang Xiaofeng, et al. Bio-geomorphologic growth process of tamarix nabkha in the Hotan River basin of Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5): 462-470.]
- [31] 满苏尔·沙比提, 热合曼·玉素甫. 新疆和田地区土地利用时空变化特征分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(8): 86-91. [Shabiti Mansuer, Yusufu Reheman. Analysis on the characteristics of land use space-time change in Hotan district, Xinjiang, China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(8): 86-91.]
- [32] Nie Y, Sheng Y, Liu Q, et al. A regional-scale assessment of Himalayan glacial lake changes using satellite observations from 1990 to 2015 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 189(2): 1-13.
- [33] 聂勇, 刘林山, 张懿锂, 等. 1982—2009年珠穆朗玛峰自然保护区植被指数变化 [J]. *地理科学进展*, 2012, 31(7): 895-903. [Nie Yong, Liu Linshan, Zhang Yili, et al. NDVI change analysis in the Mount Qomolangma (Everest) national nature preserve during 1982–2009. *Progress in Geography*, 2012, 31(7): 895-903.]
- [34] Volcani A, Karnieli A, Svoray T. The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 215(1): 239-250.
- [35] Mcfeeters S K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [36] 茹克亚·萨吾提, 阿里木江·卡斯木, 玉苏普江·艾麦提. 基于多遥感数据的喀什市1972—2010年城市扩展研究 [J]. *冰川冻土*, 2014, 36(3): 732-739. [Sawuti R ukeya, Kasimu Alimujiang, Aimaiti Yusupujiang. Analyzing the urban expansion in Kashghar City, Xinjiang during 1972–2010 based on multi-source remote sensing images. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(3): 732-739.]
- [37] 聂勇, 张懿锂, 刘林山, 等. 近30年珠穆朗玛峰自然保护区冰川变化的遥感监测 [J]. *地理学报*, 2010, 65(1): 13-28. [Nie Yong, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. Monitoring glacier change based on remote sensing in the Mt. Qomolangma National Nature Preserve, 1976–2006. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 13-28.]
- [38] 王岩, 马贤磊, 石晓平, 等. 农民土地流转行为决策: 一个道义经济的分析视角: 基于和田地区K村的考察 [J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(8): 82-88. [Wang Yan, Ma Xianlei, Shi Xiaoping, et al. Land transfer decision-making for farmers: A moral economic analysis perspective: Based on K Village in Hetian area. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(8): 82-88.]
- [39] 赵俊, 周长江. 和田地区农村土地承包经营权流转的影响因素探讨 [J]. *山东农业科学*, 2013, 45(7): 153-156. [Zhao Jun, Zhou Changjiang. Study on influencing factors in transference of rural land contractual management right in Hetian area. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(7): 153-156.]
- [40] 张蔷. 让土地整理复垦切实惠民: 做好和田地区土地整理复垦开发工作的建议 [J]. *中国土地*, 2010, 29(9): 39-40. [Zhang Qiang. Making land consolidation and reclamation benefit civilians: Suggestions for a better land consolidation and reclamation development in Hotan. *China Land*, 2010, 29(9): 39-40.]

- [41] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红, 等. 和田河流域土地利用变化及其生态环境效应分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(3): 49-54. [Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Analysis on land use changes and their ecological effect in Hotan River Basin. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(3): 49-54.]
- [42] 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. [Dou Yan, Chen Xi, Bao Anming. Eco-environmental responses of land use and cover change in nearly 40 years in the Hetian River Basin. Arid Land Geography, 2008, 31(3): 449-455.]

Monitoring land-use change in Hetian Tarim Basin, China using satellite remote sensing observation between 1990 and 2016

HU Xu^{1,2}, NIE Yong^{2,4*}, XU Xia¹, JIANG Sheng^{1,2}, ZHANG Yili^{3,4}

(1. The Faculty of Geography and Resource Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 3. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: Rapid land use changes in the arid area of western China make the region a hotspot of global land use change research. In this study, land use inventories in the Hetian Tarim Basin in 1990, 2000, 2010, and 2016 were completed by using stratified and object-oriented image processing method based on Landsat images with a consistent spatial resolution of 30 m to reveal the characteristics of land-use change, patterns and trend, and spatial heterogeneity. The results show that from 1990 to 2016: 1) Cropland continuously expanded with an increase rate of 2.9%/a, with gradual expansion and sudden reclamation. 2) The area of construction land increased significantly at a rate of 12.1%/a, which can be mainly attributed to the increase in area of urbanization, rural residential land, and transportation land. 3) The increase in cropland and construction land resulted in the decrease of forests, shrubs, and grasslands. 4) Spatial heterogeneity in land use developments among counties of Hetian Prefecture are significant: Hetian City had the highest percentage of construction lands; Hetian County and Moyu County experienced the greatest expansion in total area and rates of change in both cropland and construction land, followed by Luopu County, Yutian County, Pishan County, Cele County, and Minfeng County with relatively slow development in cropland and construction land. The increase rates of cropland and construction land in Hetian Tarim Basin are above average in Xinjiang Uighur Autonomous Region. Attention should be focused on the impact of the rapid land-use changes on eco-environmental issues in the near future.

Keywords: land-use change; remote sensing; Landsat; cropland expansion; construction land; Tarim Basin; Hetian region