

郭瑞,刘蔚,李宗省,等.祁连山甘肃片区土地利用变化特征及驱动力[J].中国沙漠,2023,43(3):188-198.

祁连山甘肃片区土地利用变化特征及驱动力

郭瑞^{1a,2},刘蔚¹,李宗省^{1a},王娅^{1b},陈勇³,周立华^{1,4}

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 a.内陆河流域生态水文重点实验室, b.沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃兰州 730000; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.浙江科技学院, 浙江 杭州 310023; 4.中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190)

摘要: 基于1990—2018年4期Landsat卫星30 m分辨率土地利用数据,结合土地利用变化分析法及统计学方法,对祁连山甘肃片区近30年土地利用时空分布特征进行了分析研究,探讨了自然因素和人类活动对研究区土地利用变化的作用机制。结果表明:(1)祁连山甘肃片区土地利用类型以未利用土地和草地为主;1990—2018年研究区水域和未利用土地面积为减少趋势,其他土地利用类型面积呈动态增加趋势。(2)2000年后,参与土地转移的面积增加,以未利用土地—草地、未利用土地—林地、耕地—草地这3种转化关系为主。(3)自然因素是祁连山甘肃片区土地利用变化的主导因素,以“三北”防护林工程、“天保”工程和退耕还林还草为主的生态工程在限制了人类农牧业生产活动的同时,给祁连山甘肃片区土地利用变化带来明显的局地效应。

关键词: 土地利用; 动态变化; 转移矩阵; 生态工程; 驱动力

文章编号: 1000-694X(2023)03-188-11

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00123

中图分类号: U412.1

文献标志码: A

0 引言

土地利用变化作为人类与地球环境进行物质、能量交换的重要体现,决定了生态系统服务功能整体状况及空间差异特征^[1-4],与生态系统结构、质量和过程演变息息相关^[5-6],并随着全球环境变化研究的不断深入得到广泛关注^[7-11]。土地利用变化驱动力分析是土地利用变化时空过程研究的核心内容,揭示土地利用发生时空改变过程的原因、影响因素的作用途径及其驱动机制。目前驱动力研究主要从自然因素和人类活动两个层面展开,刘纪远等^[11]认为自然因素主要体现为长时间的累积效应,而社会经济因素对土地利用时空变化过程的影响更为活跃且易于捕捉。对于人类活动中生态工程的实施对区域农业及社会经济活动进行主动抑制,进而导致土地利用变化过程发生的改变效应前人研究涉及较少。传统的土地利用变化驱动力研究在考虑人类活动因素时更关注于人类农业社会经济活

动,多以区域人口及社会经济发展数据为依据进行分析^[12-16]。也有学者考虑到生态工程的影响,但大多仅将某一种生态工程纳入驱动因素进行研究^[17]。事实上,林、草地等生态用地大多受惠于多种生态工程或生态治理政策,即生态工程在具体实施过程中存在一定的重叠性。因此,结合生态工程因素,综合分析并讨论自然和人类活动影响下的土地利用变化特征及驱动因素,由此得到的结论会更符合现实,否则可能是片面且缺乏完整性的。

祁连山是中国重要水源涵养地和生态安全屏障,担负着阻隔腾格里、巴丹吉林和库姆塔格三大沙漠向南侵袭的重任^[18-20]。祁连山北部地区更是黑河、疏勒河、石羊河等重要内陆河的发源地和流经地,亦是“一路一带”经济带上联通中亚各国的必经之地。为保证河西走廊绿洲区的高质量发展以及整个西北地区的水资源安全,这里亦是典型的生态工程覆盖区。从1980年开始,以“三北”防护林工程、天然林资源保护工程、退耕还林还草和退牧还

收稿日期:2022-06-14; 改回日期:2022-08-26

资助项目:第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK0404);中国科学院战略性先导科技专项(XDA20020401);甘肃省林业和草原科技创新计划项目(GYCX[2020]01);甘肃省重点研发计划项目(20YF8FA002)

作者简介:郭瑞(1982—),女,山西临汾人,博士研究生,研究方向为生态系统服务。E-mail: guorui@lzb.ac.cn

通信作者:周立华(E-mail: lhzhou@casid.cn)

草工程等为主的多项重大生态工程陆续开展实施,在恢复祁连山生态环境、保护和提升祁连山生态系统服务功能方面取得了显著成效^[21]。因此以祁连山北部甘肃片区为研究区,研究近30年来在自然-人类活动的综合影响下的土地利用时空动态变化特征以及驱动力,可以为进一步研究祁连山生态系统服务功能,制定祁连山生态环境保护政策、区域可持续发展战略,以及后续生态工程的实施奠定理论基础。

本文以1990—2018年4期遥感数据为基础,结合“3S”技术和土地利用变化分析方法,对祁连山甘肃片区近30年土地利用格局和时空变化特征进行分析。结合各项影响因素指标,拟揭示自然因素和人类活动的交互影响对研究区土地利用变化的作用机制,以期为区域可持续发展、生态环境修复、下一步生态治理政策的制定和工程的实施提供理论依据和技术支持。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

祁连山地处青藏高原东北部边缘,其北部甘肃片区作为石羊河、黑河、疏勒河及苏干湖的发源地,影响着河西走廊绿洲乃至整个西北地区的生态环境和水资源安全。研究区(图1)涉及甘肃省酒泉市的阿克塞哈萨克族自治县(以下简称为阿克塞)、肃北蒙古族自治县(以下简称为肃北县),张掖市的肃南裕固族自治县(以下简称为肃南县)、民乐县、甘

州区、山丹县,金昌市的永昌县,武威市的凉州区、古浪县、天祝藏族自治县和兰州市的永登县共11个县(区)及中牧集团山丹马场。属于高山高原气候,冬季寒冷漫长,春秋季较短,年均气温 $-5\sim-6^{\circ}\text{C}$,年降水量 $150\sim 700\text{ mm}$,年蒸发量 $1\,569\sim 1\,788\text{ mm}$,年径流深度 $100\sim 500\text{ mm}$,每年平均向河西绿洲输送 74.68 亿 m^3 的径流量。植被表现出明显的垂直带谱,海拔 $4\,000\sim 4\,300\text{ m}$ 为高山垫状植被带, $3\,800\sim 4\,000\text{ m}$ 为高山草甸植被带, $3\,200\sim 3\,800\text{ m}$ 为高山灌丛草甸带, $2\,800\sim 3\,200\text{ m}$ 为山地森林草原带, $2\,300\sim 2\,800\text{ m}$ 为山地草原植被带, $2\,000\sim 2\,300\text{ m}$ 为草原化荒漠带, $4\,300\text{ m}$ 以上为冰川分布区^[22]。

1.2 数据来源及处理

本文所涉及数据主要包含遥感解译产品、地面监测气象数据和社会经济数据三部分。

遥感影像数据来自中国科学院资源环境数据中心(<https://www.resdc.cn/Default.aspx>)。使用1990—2018年30 m分辨率土地利用栅格数据、2015年甘肃省县级行政区划矢量图。需要说明的是2015年以前该土地利用/覆被类型数据使用美国Landsat 5号卫星,其上搭载MSS/TM/ETM传感器,2015年之后使用Landsat 8号卫星,其上搭载OLI & TIRS传感器。数据采用人机交互式目视判读的方式构建,参照中国土地利用/土地覆盖数据的三级分类系统,将研究区分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地共六大类以及25个二级分类(表1)。由于2015年前后影像数据来源不同,在个

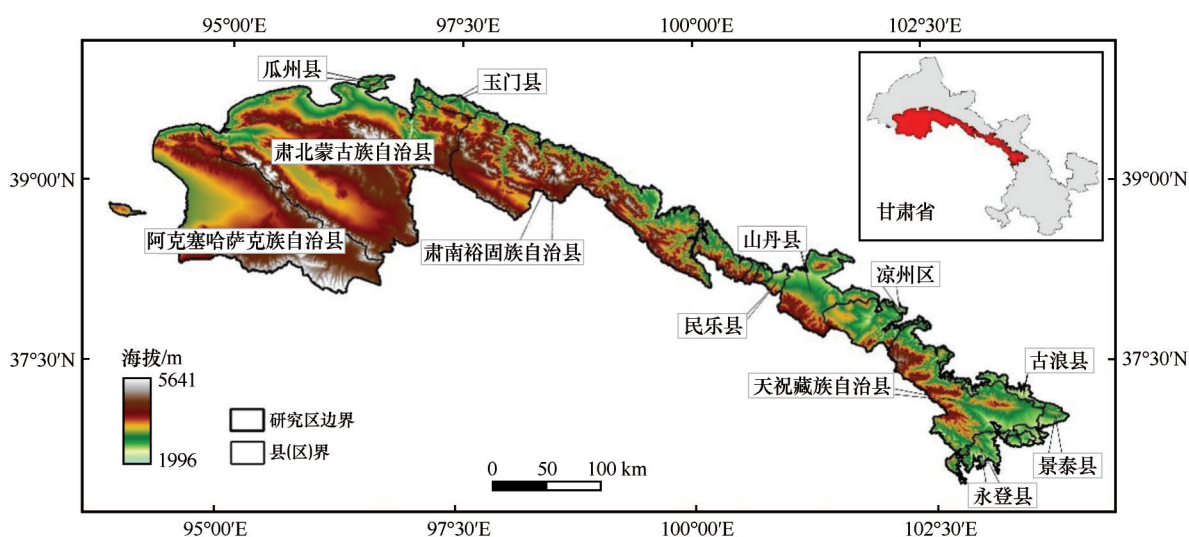


图1 祁连山甘肃片区地理位置

Fig.1 Geographic location of the Gansu part of the Qilian Mountain

表1 土地利用遥感监测数据分类

Table 1 Classification system of land use with remote sensing data

序号	一级分类名称	二级分类名称
1	耕地	11水田,12旱地
2	林地	21有林地,22灌木林地,23疏林地,24其他林地
3	草地	31高覆盖度草地,32中覆盖度草地,33低覆盖度草地
4	水域	41河渠,42湖泊,43水库坑塘,44永久性冰川雪地,45滩涂,46滩地
5	城乡居民工矿用地	51城镇用地,52农村居民点,53其他建设用地
6	未利用土地	61沙地,62戈壁,63盐碱地,64沼泽地,65裸土地,66裸岩石质地,67其他

别地类解译中存在差异,故使用谷歌地图历史影像在ARCMAP10.2中对其进行了校正。

气象数据中的气温(°C)和降水(mm)数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。社会经济数据使用中国统计出版社出版的2000—2018年《甘肃省年鉴》。生态工程数据使用中国林业出版社出版的2000—2018年《中国林业和草原统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是研究土地利用类型之间转移方向和数量变化的经典方法,揭示的是土地利用类型格局的演化过程^[23]。通过ArcGIS10.2的面积制表功能,可以计算两期土地利用栅格影像数据集的交叉制表区域,并对结果进行输出。计算公式如下:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: A_{ij} 为研究区内第*i*类土地向第*j*类土地转化的面积大小; n 为土地利用类型的分类数。

1.3.2 土地利用类型动态度

土地利用动态度反映研究区域内特定时间段不同土地利用类型的变化幅度和速度^[6,24]。单一土地利用动态度(K)反映研究区某一土地利用类型在单位时间的面积变化情况,表示某种土地利用类型的年变化率。模型表达式为:

$$K = \frac{A_j - A_i}{A_i} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型的动态度; A_i 、 A_j 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的面积; T 为研究时段长度,以年为单位。

2 结果与分析

2.1 土地利用分布格局及时空变化

2.1.1 土地利用结构和空间分布

使用ArcMap提取1990—2018年祁连山甘肃片区土地利用类型数据进行分类整理(图2),得到研究区一、二级土地利用类型多年平均数据(表2)。研究区总面积为6.59万km²,以未利用土地和草地为主,其次是林地、耕地和水域,城乡居民工矿用地所占比重极少。

未利用土地占整个研究区面积的45.62%,以裸岩石质地、高寒荒漠以及戈壁为主,集中分布在祁连山西部的党河南山以南,其次在野马南山、大雪山和鹰嘴山南坡呈条带状分布,在托来山中西部地区有部分未利用土地呈斑块状分布。其次是草地,占研究区总面积的38.93%,草地分布范围广泛,除在研究区西北的各山脉北坡以斑块状分布外,在研究区中部及东部地区均为连片分布,其中西部和东部地区以中低覆盖度草地为主,中部多中高覆盖度草地。林地占研究区面积的9.93%,以有林地和灌木林地为主,集中在研究区中部走廊南山、冷龙岭和乌鞘岭海拔2400~3500m的中山带范围内及荒漠河流沿岸。耕地面积较少且全部为旱地,仅占研究区面积的3.69%,主要分布在河西走廊中部、冷龙岭以北的平原地带,以及祁连山甘肃片区东部天祝藏族自治县和永登县境内的河谷地区,其中河西走廊中部、冷龙岭甘肃片区的平原地带属于山丹马场,种植作物以油菜、大麦、青稞等为主。水域面积占全区面积的1.65%,其中大部分为冰川积雪覆盖区,占水域面积的68.92%,大多位于研究区西部党河南山、大雪山等山脉的高海拔地区,其次分布于祁连山中部走廊南山,剩余零星分布于冷龙岭高山

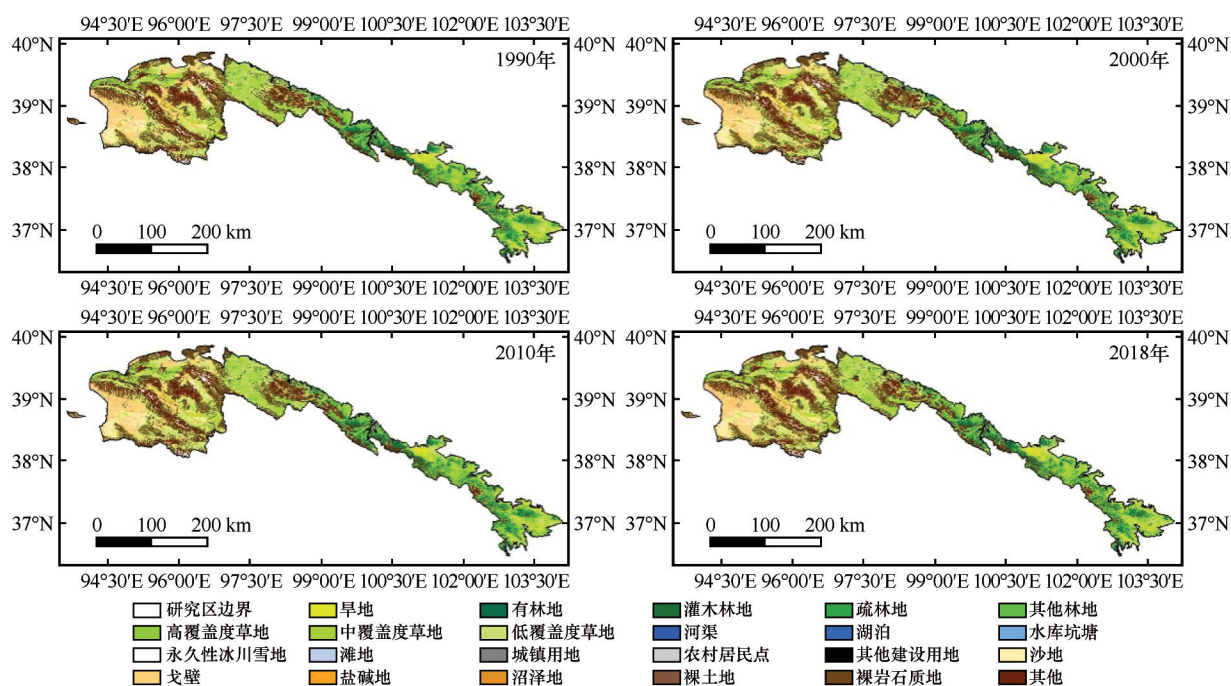


图2 1990、2000、2010、2018年祁连山甘肃片区土地利用类型

Fig.2 Land use types of the Gansu part of the Qilian Mountain in 1990, 2000, 2010 and 2018

地区。城乡居民工矿用地则仅占研究区面积0.18%,呈点状分散于研究区范围内。

2.1.2 土地利用时间变化及动态度

1990—2018年研究区耕地、林地、草地和城乡居民工矿用地面积均有不同程度的增加(表3),按面积增加程度排序依次为草地、林地、耕地和城乡居民工矿用地;未利用土地和水域面积呈减少趋势。不同类型土地动态度数据变化较大,特别是水域和城乡居民工矿用地因面积较小,导致动态度数据波动较大。1990—2018年草地总面积增加258.20 km²,其中高、中、低覆盖度草地分别增加50.99、192.64、14.57 km²。从动态度上来看,中覆盖度草地变化速率最大,动态度变化从2000年前的-0.03%到2000年后分别以0.07%和0.17%的速率增加。林地总面积增加25.52 km²,其中有林地和疏林地面积分别增加0.59 km²和38.8 km²,但灌木林和其他林地面积有所减少。从动态度看,2000年前各类林地面积变化均不大,2000—2018年开始有所变化,分别以0.01%和0.04%的速率逐步增加,增加的面积以疏林地为主。耕地面积累计增加20.81 km²,2010年以前相对稳定,动态度分别为-0.02%和-0.01%,2010年后增至0.11%。未利用土地面积1990—2018年累计减少283.35 km²,动态度2000年前为0,2000年后以-0.05%的速度持续下降。水域

面积1990—2018年呈波动下降趋势,面积累计减少48.90 km²,其中冰川积雪面积多年来持续下降,累计减少面积达到69.56 km²,2010年后动态度降低至最低-0.86%。

2.2 土地利用类型的转化特征

对1990—2018年祁连山甘肃片区土地利用二级数据制作转移矩阵桑基图(图3),因水域和城乡居民工矿用地所占研究区面积比重较小,仅占1.65%和0.18%,以二级分类制图意义不大,因此对水域和城乡居民工矿用地使用一级分类数据进行制图。再结合土地利用类型变化空间分布图(图4)分析可知,1990—2000年,各类型土地面积相对稳定,发生转移的土地面积为114.63 km²,其中以草地和未利用土地为主,分别占60.36%和32.71%。草地的转化以不同覆盖度草地间的转化为主,占草地总转移面积的82.35%,以中覆盖度草地转化为低覆盖度草地为主,主要分布在肃北县党河南山中段;其次是低覆盖度草地向沙地转化,零星分布于酒泉土尔根达坂山西部和党河南山。未利用土地的转化除以草地为来源转入外,以裸土地向沙地转化和沙地向盐碱地转化为主,占未利用土地转化面积的34.77%。其他类型土地面积较稳定。

表 2 1990—2018 年祁连山甘肃片区多年平均土地利用类型面积统计
Table 2 Statistics of the multi-year average land use area in the Qilian Mountain Gansu part during 1990—2018

一级土地 分类名称	二级土地 分类名称	平均面积 /km ²	占一级土地分类 面积的比例/%	总面积 /km ²	占总土地面积 的比例/%
耕地				2 430.81	3.69
	旱地	2 430.81	100.00		
林地				6 543.95	9.93
	有林地	1 920.42	29.35		
	灌木林地	3 107.85	47.49		
	疏林地	1 502.53	22.96		
	其他林地	13.15	0.20		
草地				25 667.13	38.93
	高覆盖度草地	4 715.32	18.37		
	中覆盖度草地	9 179.18	35.76		
	低覆盖度草地	11 772.63	45.87		
水域				1 090.79	1.65
	河渠	19.33	1.77		
	湖泊	3.65	0.33		
	水库坑塘	11.08	1.02		
	永久性冰川雪地	751.79	68.92		
	滩地	304.93	27.96		
城乡居民工矿用地				121.03	0.18
	城镇用地	1.79	1.48		
	农村居民点	76.25	63.00		
	其他建设用地	42.99	35.52		
未利用土地				30 074.65	45.62
	沙地	1 957.53	6.51		
	戈壁	7 364.20	24.49		
	盐碱地	409.97	1.36		
	沼泽地	134.96	0.45		
	裸土地	439.06	1.46		
	裸岩石质地	10 526.23	35.00		
	其他	9 242.71	30.73		
合计				65 928.36	100.00

2000—2010 年土地利用类型转化程度加剧,参与转移的土地面积为 3 018.79 km²,以草地、未利用土地和林地为主,分别占 49.40%、21.00%和 18.98%。草地转化以不同覆盖度草地间相互转化为主,占草地转化面积的 32.70%,其中以中、低覆盖度草地向高、中覆盖度草地转化为主,即草地覆盖度增加。

其次是草地与林地间的转化,有林地、灌木林和疏林地向中、高覆盖度草地转化,占草地转化面积的 27.25%。草地向未利用土地间的转化,占草地转化面积的 22.53%,按转化的面积大小依次为戈壁、其他未利用土地、盐碱地和裸岩石质地,主要分布区位于阿克塞的土尔根达坂山西端和肃北县党河南

表 3 1990—2018 年祁连山甘肃片区土地利用类型变化情况

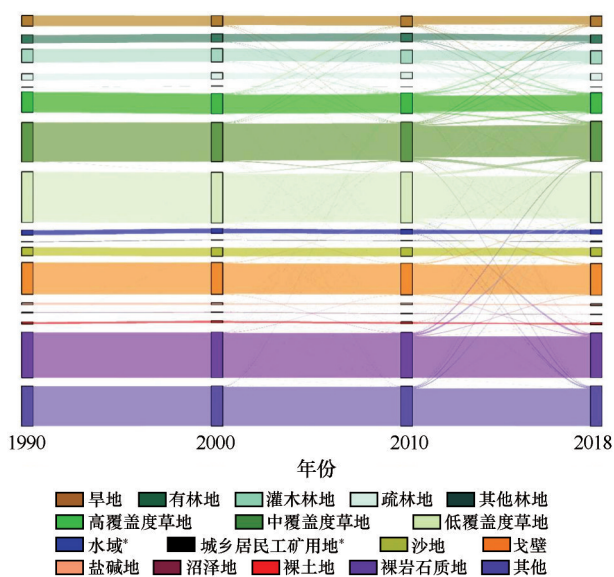
Table 3 Changes of the areas of land use type in the Gansu part of the Qilian Mountain from 1990 to 2018

一级地类	二级地类	1990—2000 年		2000—2010 年		2010—2018 年		累计变化 面积/km ²
		面积/km ²	动态度/%	面积/km ²	动态度/%	面积/km ²	动态度/%	
耕地	旱地	-4.65	-0.02	-1.85	-0.01	27.31	0.11	20.81
林地		-7.12	-0.01	8.52	0.01	24.11	0.04	25.52
	有林地	-0.01	0.00	27.74	0.14	-27.13	-0.14	0.59
	灌木林地	-7.60	-0.02	18.79	0.06	-24.37	-0.08	-13.17
	疏林地	0.49	0.00	-36.50	-0.24	74.82	0.51	38.81
	其他林地	0.00	0.00	-1.50	-1.13	0.80	0.67	-0.71
草地		-3.94	0.00	130.17	0.05	131.97	0.05	258.20
	高覆盖度草地	0.54	0.00	24.61	0.05	25.84	0.05	50.99
	中覆盖度草地	-26.78	-0.03	67.30	0.07	152.12	0.17	192.64
	低覆盖度草地	22.30	0.02	38.26	0.03	-45.99	-0.04	14.57
水域		-0.90	-0.01	7.75	0.07	-55.75	-0.50	-48.90
	河渠	0.00	0.00	-0.06	-0.04	4.25	2.42	4.18
	湖泊	0.00	0.00	1.02	3.06	-0.09	-0.22	0.92
	水库坑塘	-0.39	-0.32	-0.61	-0.52	-3.50	-3.19	-4.50
	冰川雪地	-0.02	0.00	-4.26	-0.06	-65.27	-0.86	-69.56
	滩地	-0.49	-0.02	11.67	0.38	8.87	0.28	20.05
城乡居民工矿用地		3.94	0.34	0.16	0.01	23.58	1.99	27.69
	城镇用地	0.45	3.16	-0.07	-0.39	0.21	1.18	0.59
	农村居民点	3.49	0.48	0.78	0.10	3.50	0.45	7.76
	其他建设用地	0.00	0.00	-0.54	-0.14	19.86	5.05	19.32
未利用土地		12.68	0.00	-144.79	-0.05	-151.24	-0.05	-283.35
	沙地	20.50	0.11	-7.45	-0.04	-0.05	0.00	13.00
	戈壁	-1.43	0.00	-20.40	-0.03	-18.71	-0.03	-40.54
	盐碱地	2.05	0.05	-63.74	-1.45	-3.72	-0.10	-65.42
	沼泽地	0.89	0.07	2.93	0.21	-5.45	-0.39	-1.62
	裸土地	-9.40	-0.21	-7.17	-0.16	8.97	0.21	-7.61
	裸岩石质地	0.04	0.00	1.38	0	-199.54	-0.19	-198.13
	其他	0.05	0.00	-50.34	-0.05	67.25	0.07	16.96

山中段、野马南山及土尔根达坂山西部、肃南县走廊南山东端。旱地向高、中、低覆盖度草地转化面积占草地总转移面积的 12.48%，主要分布在山丹县大黄山保护区周边、肃南县东部、天祝藏族自治县东北部以及庄浪河沿岸农耕区。与此同时，由高、中、低覆盖度草地向各类林地的转化面积占林地总转化面积的 71.35%，由于林、草地相互转化，最终林地总面积仅增加 8.52 km²。未利用土地的减少主要是上述转

化为草地的部分，占未利用土地转化面积的 43.13%。

2010—2018 年土地转移面积持续增加，参与转移的土地面积达到 9 348.11 km²，仍以草地、未利用土地和林地为主，分别占 52.65%、22.78% 和 17.35%。草地转化仍以内部转化为主，高、中、低覆盖度草地相互间转化面积占草地转化面积的 38.13%；其次为向未利用土地的转化，依次为向裸岩石质地、其他未利用土地和戈壁的转化，占草地转化面积的



* 因“水域”和“城乡居民工矿用地”面积占研究面积比重较小，因此使用一级土地分类数据进行制图

图3 1990—2018祁连山甘肃片区土地利用变化转移矩阵桑基图

Fig.3 Transfer matrix of the land use change at the Gansu part of the Qilian Mountain during 1990 and 2018

28.24%，主要分布在走廊南山、肃南县洪水坝河上游地区及肃北县。有林地、灌木林、疏林地向草地转化的面积占22.04%。林地由高、中、低覆盖度草地为来源转化的面积占林地转化面积的67.89%；其次为各类林地相互转化面积，占林地总转化面积的16.45%。裸岩石质地、其他未利用土地向林地转化的面积占林地总转化面积的8.27%，主要分布在祁连山甘肃片区中部冷龙岭北坡。需要说明的是这一时期耕地的增加主要是草地向耕地的转化，面积40.19 km²，占耕地总转入面积的77.21%，主要在大马营草原中部，这里属于山丹军马场范围，耕地种植以牧草、麦草等为主，在遥感土地分类中归为耕地，实际为人工种植草地，属于人为干预下的天然草场向人工草场转变的过程。若将该部分算作草地，则这一时期实际耕地面积小于2010年之前耕地面积。未利用土地的转化主要是向各类林、草地转化的部分，占未利用土地转化面积的75.77%。水域减少面积部分主要转化为其他未利用土地和裸岩石质地，占水域转化面积的52.65%，主要分布在党河南山、大雪山等山脉的冰川积雪分布区。

3 驱动力分析

通常认为影响区域土地利用变化的因素主要

分为自然因素和人类活动两大类^[13]，二者从不同时空尺度上对土地利用类型的面积、质量和转化方式产生不同的影响。在大空间尺度上，土地利用类型的形成及演变主要受气温、降水、海拔、地形等自然因素的影响和制约；而在局地区域范围内，除突发性自然灾害外，自然条件相对稳定，此时，人类活动对区域土地利用变化所产生的影响更为显著^[25-26]。本文拟从自然、社会经济和生态保护政策等方面探讨祁连山甘肃片区土地利用变化的驱动机制。

3.1 自然因素对祁连山甘肃片区土地利用变化的影响

研究区地处祁连山以北海拔1 996~5 641 m，以山地为主，已有研究证实，植被覆盖情况和冰川积雪储量主要受气候因素影响^[27-29]。祁连山地区作为全球气候变化响应的敏感区，随着全球气候变暖及中国西部由暖干型向暖湿型过渡^[30]，研究区冰川积雪面积以及植被覆盖情况，特别是草地的覆盖度、面积出现显著变化。

气温升高是冰川积雪消融、雪线上升，冰川面积、数量和储量均呈现减少趋势的主要原因。根据中国第一、二次冰川编目数据，2010年之前50年间，祁连山各主要流域冰川面积减少速率为10~25 km²/10a^[29]。虽然近年来降水量呈现增加趋势，依旧无法弥补气温升高所带来的冰川物质亏损。祁连山冰川作为西部内陆河重要补给来源，冰川积雪储量的持续减少带来两方面的影响，一是对径流补给量的改变；二是对土地利用类型面积和分布格局的改变。一方面，冰川消融可以在一定程度上增加径流补给，同时随着近年来降水量的增加（图5），除冰川积雪以外，滩地、河渠、湖泊等其他水域面积均呈现增加趋势，已有研究表明近年来祁连山出山径流量有明显增加趋势^[31]。另一方面，祁连山北部冰川消融后，随着雪线的上移，原本冰川积雪覆盖区转化为以裸地和高寒荒漠为主的新生未利用土地，即山区原本沿垂直海拔梯度分布的各土地利用类型分布边界随着气候变化向高海拔移动，这一结论与Lenoir等^[32]的研究结果一致。

降水是影响祁连山林地和高山植被的主要因素^[33-34]。研究区年平均降水量在2000年后呈现显著升高趋势，与此同时，草地面积和覆盖度情况出现明显改变。研究区草地面积在2000年前略有减少，2000年后呈现波动增加趋势，面积的增加主要

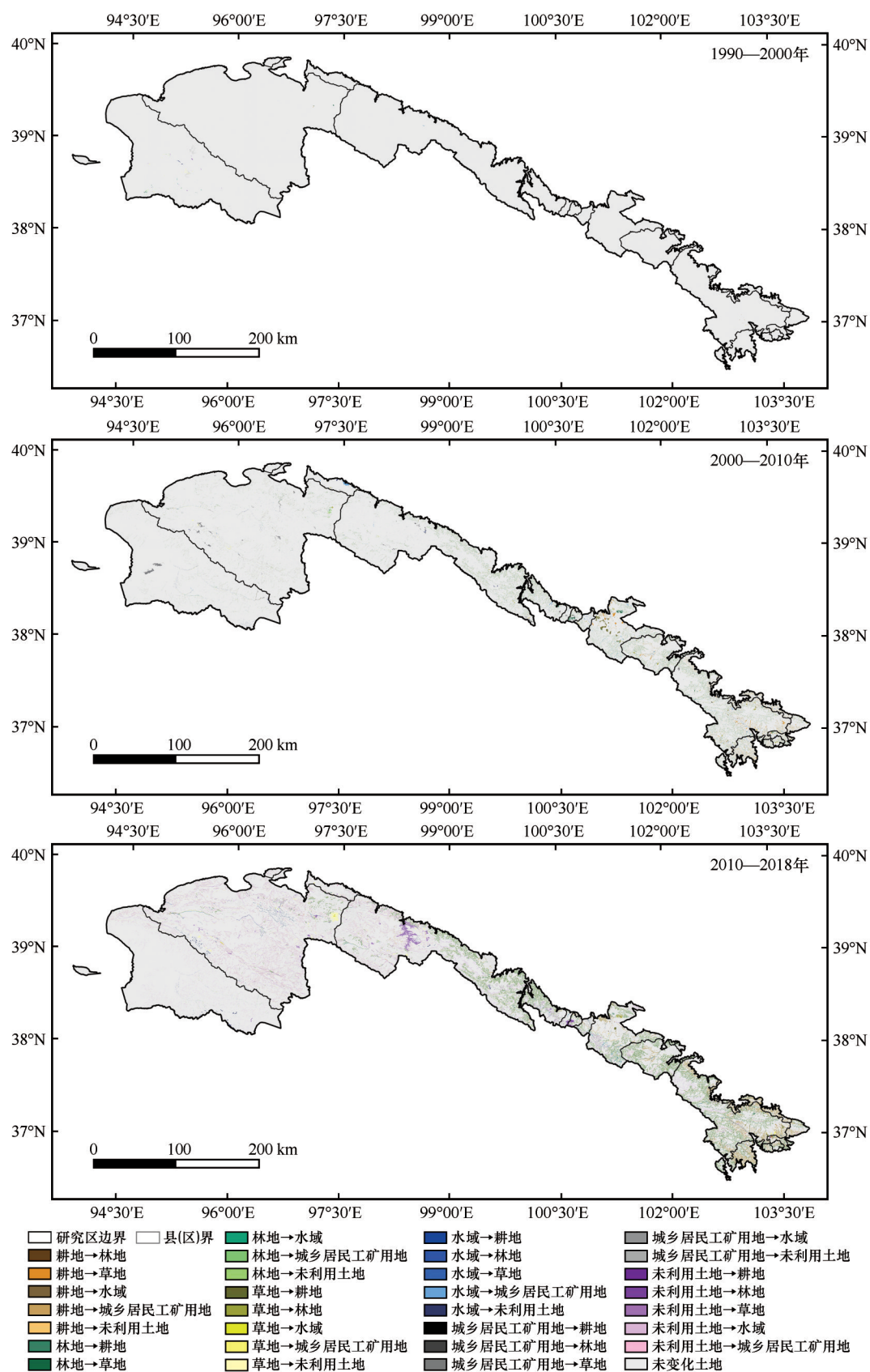


图4 1990—2018年祁连山甘肃片区土地利用类型变化空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the Land-use type Changes at the Gansu part of the Qilian Mountain during 1990–2018

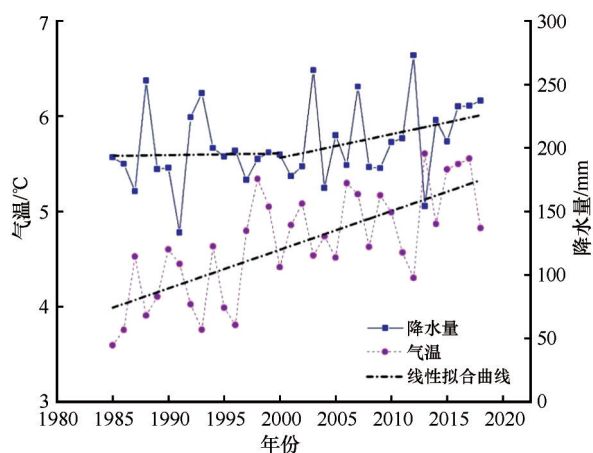


图5 1985—2018年祁连山甘肃片区气温、降水量

Fig.5 Temperature and precipitation variations at the Qilian Mountain Gansu part during 1985–2018

来源于未利用土地。未利用土地,尤其是高海拔未利用土地多以裸地和高寒荒漠为主,在气候变化的影响下逐步向草地转化,成为草地面积增加的主要来源,这与土地利用转移矩阵所反映的结果基本一致。草地覆盖度情况也从2000年后开始好转,由低、中覆盖度草地分别向中、高覆盖度草地转化的面积呈现显著增加趋势。

3.2 人类活动对祁连山甘肃片区土地利用的影响

从祁连山甘肃片区土地利用类型分布情况可以看出,适宜人类利用的土地以草地和耕地为主,但耕地面积有限,因此当地以畜牧业生产为主。有学者在对内蒙古草原土地利用变化研究中证明人类活动对草地生产力的影响占80%^[35]。但对祁连山地区而言,由于其生态保障功能的重要性,这里

作为典型生态工程实施区,人类社会经济活动在很大程度上受生态保护政策的影响和制约,因此有必要将生态工程因素纳入土地利用变化的影响因素中进行考虑。

耕地作为承载种植业发展的客体,其变化必然受人类活动因素主导,而耕地面积的增减和类型的转移则会进一步导致局地土地利用类型发生变化。2000年退耕还林还草工程在甘肃地区开始实施,本研究区内所含工程实施范围主要是中牧山丹军马场、肃北北部荒漠生态保护区祁连山水源涵养区以及石羊河上、中游流域。选取研究区2000—2018年农业人口(万人)、农民人均纯收入(元)、大牲畜存栏数(万只)和羊只存栏数(万只)作为人类农业经济活动要素;退耕造林种草面积(hm^2)、退耕还林还草工程年末封育面积(hm^2)作为退耕还林还草工程要素(需要说明的是该数据为甘肃省生态工程实施数据,假定工程的实施在区域范围内为均质)。将以上数据连同耕地面积数据进行标准化消除量纲,以进行相关性分析。由表4可以看出,耕地面积与退耕还林还草实施面积具有显著负相关性,说明耕地面积随着每年工程实施面积的增加而减少。这也与转移矩阵数据统计结果相一致,2000—2010年,耕地开始向草地,特别是中、低覆盖度草地转移,净转移面积 45.84 km^2 ,向灌木林净转移 4.64 km^2 ;2010—2018年,耕地与高、中、低覆盖度草地的净转化面积为 40.19 km^2 ,向各类林地转移 14.71 km^2 。退耕造林种草面积和年末封育面积与羊只存栏数也具有显著负相关性,说明生态工程的实施对放牧数量具有显著的调控作用。

表4 耕地面积变化与社会经济因素、生态工程要素相关性分析

Table 4 Correlation analysis of socioeconomic factors, ecological engineering factors and farmland change

	农业人口	农民人均纯收入	大牲畜存栏数	羊只存栏数	退耕造林种草面积	退耕还林还草年末封育面积	耕地面积
农业人口	1	-0.956**	-0.654**	-0.781**	-0.850**	-0.892**	0.612**
农民人均纯收入	-0.956**	1	0.803**	0.783**	0.951**	0.853**	-0.655**
大牲畜存栏数	-0.654**	0.803**	1	0.316	0.937**	0.379	-0.211
羊只存栏数	-0.781**	0.783**	0.316	1	0.597**	0.970**	-0.937**
退耕造林种草面积	-0.850**	0.951**	0.937**	0.597**	1	0.661**	-0.481*
退耕还林还草工程年末封育面积	-0.892**	0.853**	0.379	0.970**	0.661**	1	-0.875**
耕地面积	0.612**	-0.655**	-0.211	-0.937**	-0.481*	-0.875**	1

** 在0.01级别(单尾),相关性显著;* 在0.05级别(单尾),相关性显著。

祁连山甘肃范围内林地以青海云杉、祁连圆柏、油松、青杆为主要建群种,林木生长缓慢,自然成长和人工种植成林所需周期较长。受人为砍伐影响,20世纪90年代祁连山北坡森林面积较60年代减少约10%^[36-37]。为恢复和改善祁连山生态环境,中国开展实施了一系列生态保护工程,从20世纪90年代的“三北”防护林工程到2000年的“天保”工程以及祁连山自然保护区的建立等。生态工程的实施有效遏制了森林资源的破坏,通过封山育林和人工造林等方式祁连山北坡森林资源得到逐步恢复,2018年祁连山林地面积较1990年增加了25.52 km²,可见生态工程的实施对森林资源的保护具有重要意义。

4 结论

祁连山甘肃片区土地利用类型以未利用土地和草地为主,其次是林地、耕地,水域和城乡居民工矿用地面积较小。研究区土地利用类型分布格局遵循山地垂直地带性分布规律。2000年前后各土地利用类型变化趋势发生明显改变,植被覆盖区面积显著增加,其中草地面积变化最大;未利用土地面积显著减少。由动态度数据可知,2000年后草地和未利用土地变化趋势较平稳,林地、耕地和城乡居民工矿用地加速增加,水域面积加速减少。

研究区土地利用转移总体趋势为2000年前稳定,2000年后参与转移的各土地利用类型面积显著增加。1990—2000年,土地利用类型较稳定。2000—2010年土地利用类型转化程度开始加剧,以未利用土地转化为草地为主;中、低覆盖度草地相互转化程度剧烈,整体覆盖度有所提高;耕地与草地转化关系加强,存在部分人工种植草地,耕地通过退耕转化为草地。2010—2018年,发生转移的土地面积约为前10年的3倍,未利用土地继续向草地转移;冰川积雪消融加剧,未利用土地向林地转化,耕地面积持续减小。

自然因素是祁连山甘肃片区土地利用变化的主导因素,包含生态工程在内的人类活动在局地范围内对土地利用变化产生影响,二者相互作用共同影响着土地利用变化过程。自然因素中气温和降水分别是造成研究区冰川积雪面积减少和草地面积增加的主要原因;农牧业生产受生态治理工程的影响和制约,对土地利用变化产生的影响有所削弱,而以“三北”防护林、“天保”工程和退耕还林还

草等为主的生态保护工程对研究区植被覆盖区域具有明显的局地效应,对增强研究区生态系统服务功能具有重要作用。

参考文献:

- [1] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍.生态空间理论与景观异质性[J].生态学报,1997,17(5):453-461.
- [2] 王仰麟,赵一斌,韩荡.景观生态系统的空间结构:概念、指标与案例[J].地球科学进展,1999,14(3):235-241.
- [3] 徐新良,刘纪远,邵全琴,等.30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J].地理研究,2008,27(4):829-839.
- [4] 张海燕,樊江文,邵全琴.2000—2010年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化[J].地理科学进展,2015,34(7):840-853.
- [5] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等.土地利用变化对生态系统服务功能的影响:以密云水库流域为例[J].生态学报,2013,33(3):726-736.
- [6] 江凌,肖焱,饶恩明,等.内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响[J].生态学报,2016,36(12):3734-3747.
- [7] Bagan H, Yamagata Y. Land-cover change analysis in 50 global cities by using a combination of landsat data and analysis of grid cells[J]. Environmental Research Letters, 2014, 9(6): 64015.
- [8] Dadashpoor H, Azizi P, Moghadasi M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area [J]. Science Of the Total Environment, 2019, 655: 707-719.
- [9] Scharsich V, Mtata K, Hauhs M, et al. Analysing land cover and land use change in the Matobo National Park and surroundings in Zimbabwe [J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 194: 278-286.
- [10] Valbuena D, Verburg P H, Bregt A K. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2008, 128(1/2): 27-36.
- [11] 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.
- [12] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160.
- [13] 胡悦琴,马燕飞,张伟科. 中国陆地区土地利用/覆被时空格局变化及驱动力分析[J]. 农学学报, 2020, 10(4): 26-35.
- [14] 徐新良,刘纪远,庄大方,等. 中国林地资源时空动态特征及驱动力分析[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 41-46.
- [15] 张佰发,苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 460-473.
- [16] 陈龙,周生路,周兵兵,等. 基于主导功能的江苏省土地利用转型特征与驱动力[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 155-162.
- [17] 张海燕,樊江文,邵全琴,等. 2000—2010年中国退牧还草工程区生态系统宏观结构和质量及其动态变化[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 1-15.
- [18] 付建新,曹广超,郭文炯. 1980—2018年祁连山南坡土地利用地形梯度变化及其地形因子地理探测[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 371-381.
- [19] 薛健,李宗省,冯起,等. 1980—2017年祁连山水源涵养量时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2022, 44(1): 1-13.

- [20] 王宝,王涛,王勤花,等.关于确保甘肃省祁连山生态保护红线落地并严守的科技支撑建议[J].中国沙漠,2019,39(1):7-11.
- [21] 邵全琴,樊江文,刘纪远,等.重大生态工程生态效益监测与评估研究[J].地球科学进展,2017,32(11):1174-1182.
- [22] 施雅风.简明中国冰川目录[M].上海:上海科学普及出版社,2005:9-16.
- [23] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].生态学报,2020,40(2):510-521.
- [24] 许茜,李奇,陈懂懂,等.三江源土地利用变化特征及因素分析[J].生态环境学报,2017,26(11):1836-1843.
- [25] 曹慧明,许东.松花江流域土地利用格局时空变化分析[J].中国农学通报,2014,30(8):144-149.
- [26] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳.基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析:以北京市平谷区为例[J].经济地理,2013,33(1):160-166.
- [27] 何国兴,柳小妮,张德罡,等.甘肃省草地NPP时空变化及对气候因子的响应[J].草地学报,2021,29(4):788-797.
- [28] 李震,阎福礼,范湘涛.中国西北地区NDVI变化及其与温度和降水的关系[J].遥感学报,2005,9(3):308-313.
- [29] 孙美平,刘时银,姚晓军,等.近50年来祁连山冰川变化:基于中国第一、二次冰川编目数据[J].地理学报,2015,70(9):1402-1414.
- [30] 陈亚宁,李稚,范煜婷,等.西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J].地理学报,2014,69(9):1295-1304.
- [31] 程鹏,孔祥伟,罗汉,等.近60 a以来祁连山中部气候变化及其径流响应研究[J].干旱区地理,2020,43(5):1192-1201.
- [32] Lenoir J, Gégout J C, Marquet P A, et al. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century [J]. Science, 2008, 320: 1768-1771.
- [33] Yang L S, Feng Q, Jan F, et al. The role of climate change and vegetation greening on the variation of terrestrial evapotranspiration in northwest China's Qilian Mountains [J]. Science of the Total Environment, 2021, 759: 143532.
- [34] 肖云飞,陈文业,王斌杰,等.祁连山国家级自然保护区土地利用时空变化及与气候因子关系研究[J].草地学报,2021,29(9):2049-2057.
- [35] Mu S, Zhou S, Chen Y, et al. Assessing the impact of restoration-induced land conversion and management alternatives on net primary productivity in Inner Mongolia grassland, China [J]. Global and Planetary Change, 2013, 108: 29-41.
- [36] 甘肃省林业厅.甘肃祁连山国家级自然保护区建设发展研讨会专集[C].1989:19-20.
- [37] 甘肃省林业调查规划院.甘肃祁连山国家级自然保护区总体设计[R].1989.

An analysis on the land use change characteristics and driving forces in Gansu part of the Qilian Mountain

Guo Rui^{1a,2}, Liu Wei¹, Li Zongxing^{1a}, Wang Ya^{1b}, Chen Yong³, Zhou Lihua^{1,4}

(1. a. Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin / b. Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 4. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Based on Landsat 30m land use data from 1990 to 2018, combined with the land use change analysis and statistics method, the spatial and temporal distribution characteristics of land use at the Gansu part of the Qilian Mountain in recent 30 years were studied and the function mechanism of natural factors and human activities on the land use change in the area was explored. The results show that: (1) The land use types in Gansu part of the Qilian Mountain were mainly unused land and grassland; from 1990 to 2018, except the water and unused land areas which showed decreasing trends, the areas of other types showed a dynamic increasing trend. (2) After 2000, the areas and types of the land participating related transfer were increasing, mainly between unused land-grassland, unused land-woodland and cultivated land-grassland. (3) Natural factors were the leading reasons for the land use changes in Gansu part of the Qilian Mountain. The ecological projects Three-north Shelterbelt Project and Natural Forest Protection Project which focused on returning farmland to forest and grassland, returning grazing land to grassland, restricted human agricultural and animal husbandry production activities, and also brought obvious local effects on the land use change in Gansu part of the Qilian Mountain.

Key words: Land use; dynamic change; transfer matrix; ecological engineering; driving force