

武娟娟,杜军,旭日干,等.内蒙古十大孔兑流域土地利用变化特征及驱动力[J].中国沙漠,2024,44(6):100-109.

内蒙古十大孔兑流域土地利用 变化特征及驱动力

武娟娟^{1,2},杜军¹,旭日干³,王文¹,苗晨鑫^{1,2},
任侠³,杨志如³,曹方圆³,毛明月³

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 临泽内陆河流域研究站,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学,北京 100049; 3.鄂尔多斯市水利事业发展中心,内蒙古 鄂尔多斯 017010)

摘要: 基于1990—2020年4期Landsat卫星30 m分辨率遥感影像,解译并获取了土地利用/覆被信息,采用动态变化率和土地利用转移矩阵方法,系统分析了十大孔兑流域在过去30年的土地利用时空变化规律,同时借助随机森林模型,对土地利用结构转变的驱动力进行了探究。结果表明:(1)研究时段内,林地持续扩大,沙地面积逐渐缩小,建设用地增加最显著(47.5%),其次为林地(36.8%),其余各组分结构均未发生剧烈变动;(2)土地利用类型间发生着频繁的属性质转化,以耕地与草地的互转、草地与沙地向林地和建设用地的转化为主要特征;(3)相对于气候变化,人类活动在驱动流域土地利用结构转变进程中发挥着主导作用,突出地体现在林地的转入、草地和建设用地的转出及沙地的转化动态等方面。

关键词: 土地利用; 时空特征; 变化规律; 驱动力; 十大孔兑流域

文章编号: 1000-694X(2024)06-100-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00057

中图分类号: U412.1+4

文献标志码: A

0 引言

土地利用结构演变是自然环境变化和人类社会不断发展的背景下土地利用类型及其组合方式发生相应调整的过程^[1]。该过程受自然环境条件、社会经济现状、区域管理政策和科技发展水平等因素制约^[2]。在特定的环境条件下,土地利用变化可以反映人类对土地资源的利用方式和改造程度,合理的土地利用结构转变能够促进资源的优化配置和利用效率的提高,对区域生态平衡、农业生产、城乡发展等方面产生积极的影响。而对于那些未受或受人类活动影响较少的区域,土地利用属性的改变则体现了自然环境对下垫面的正向/负向塑造作用。因此,土地利用动态的量化研究,对于理解和应对气候变化、粮食安全、生物多样性丧失等全球或区域挑战至关重要^[3-7]。

全球气候变化背景下土地利用结构的演变态

势,已成为当前土地科学界的研究热点。国内外关于该方面的研究多聚焦于土地利用变化的方向与过程、主要的影响因素及其对生态环境的作用等,研究对象大多涉及人地关系紧张、城市化进程迅速、生态脆弱的地区^[8-11]。本研究关注的黄河内蒙古段十大孔兑流域正是集独特的地理位置、严峻的环境条件、突出的人口发展需求等于一体的典型生态脆弱区^[12]。该区域在人类活动和气候变化双重影响下,土地利用格局发生了较为显著的变化。近年来已经实施了一系列针对十大孔兑流域生态修复、水土流失、减少入黄泥沙的治理措施,如1999年底国家在罕台川、西柳沟、哈拉黑河、呼斯太河等实施的退耕还林还草、林草植被建设及坝系工程^[13],一定程度上改变了十大孔兑流域的生态景观格局和土地利用结构。前期研究发现,十大孔兑流域随着水土保持措施的相继实施,土地利用结构变化显

收稿日期:2024-02-28; 改回日期:2024-05-22

资助项目:“科技兴蒙”行动重点专项项目(2022EEDSKJXM004-2)

作者简介:武娟娟(2001—),女,山西太原人,硕士研究生,主要从事植物生态学等方面的研究。E-mail: callmejjw@163.com

通信作者:杜军(E-mail: dujun2012@lzb.ac.cn)

著,植被覆盖度显著提高^[14-15]。但这一过程受人类活动的影响程度如何以及气候变化是否也影响了这一转变过程,仍是当前十大孔兑土地利用研究的薄弱环节,对于驱动机制的解析有助于深入理解该区域的土地覆被结构及生态功能的变化。另外,随着“生命共同体”理念的不断深入,区域生态保护与修复要统筹山水林田湖草沙系统治理,对于该区域而言,“沙”是治理的关键,而以往研究缺乏对“沙地”这一重要结构组分的动态解析,取而代之的将其归为“未利用地”进行粗尺度分类,不利于景观单元的精细化管理^[16-21]。

基于此,本研究以十大孔兑流域为研究对象,选取1990、2000、2010年、2020年遥感影像数据,提取相应的土地利用结构组分,量化土地利用的变化特征,辨析潜在的驱动机制,为土地利用规划、生态环境治理与保护提供科学指导。

1 研究区概况

十大孔兑发源于鄂尔多斯台地,流经库布齐沙漠、冲积平原后汇入黄河干流,由西向东依次为毛布拉孔兑、布尔斯太沟、黑赖沟、西柳沟、罕台川、壕庆河、哈拉拉川、木哈尔日河、东柳沟、呼斯太河^[22],整个流域面积约1.06万km²(图1)。流域海拔约900~1 600 m,上游为黄土丘陵沟壑区,中游为风沙区,下游为洪/冲积平原,地势西高东低,南高北低。该流域属于温带大陆性季风气候,年均气温7℃左右,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,年降水量200~400 mm,降水量年际波动较大,由东向西逐渐减少,年蒸发量约2 200 mm^[14]。流域土壤类型主要有栗钙土、风沙土、草甸土、盐碱土等。植被类型主要为草原植被和旱生与半旱生灌丛,从东南部到西北部由典型草原向荒漠草原、草原化荒漠过渡^[23]。

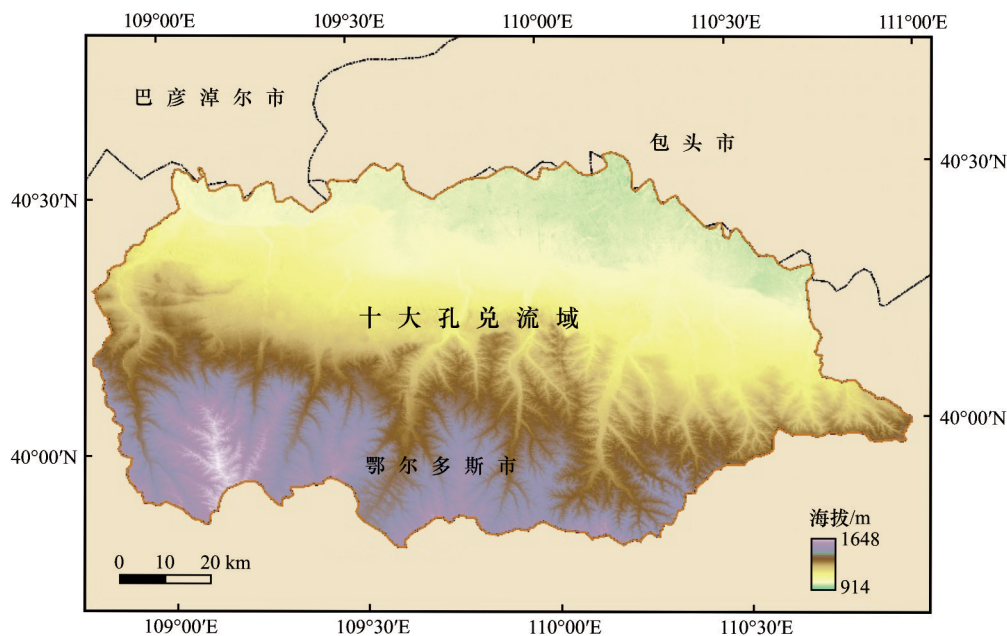


图1 十大孔兑流域位置

Fig.1 Location of the Ten Tributaries Basin

2 数据与方法

2.1 数据获取与处理

本文以Landsat获取的遥感影像数据为信息源,通过人工目视解译,建立流域尺度1:10万多时期遥感监测数据集。该数据集包括1990、2000、2010年和2020年4期;前3期使用Landsat TM/ETM+遥感影像数据,2020年使用Landsat8 OLI遥感影像数

据。遥感影像经过辐射定标、大气纠正等预处理工作,以1:10万地形图为基础对其进行了几何校正,按区域完成了每幅影像的图像拼接与镶嵌,以十大孔兑流域为边界进行了影像裁剪。以《土地利用现状分类(GB/T 21010—2017)》标准为参照,将研究区的土地划分为7类:耕地、林地、草地、水域、建设用地、沙地及其他未利用地。利用ArcGIS软件,结合十大孔兑流域边界制图,得到研究区1990、2000、2010年和2020年4期土地利用组分结构空间格局。

气象数据来自于中国科学院资源环境科学与数据中心,包括1990—2020年逐年气温和降水空间插值栅格数据,该数据基于全国2 400多个站点的观测数据插值得到1 km面域格网数据,用于分析流域内气象要素的年际变率。除此之外,本文使用人口密度来表征该区域的人类活动强度,因为研究发现人口密度高的地区人类活动往往聚集且强烈。人口密度数据同样来源于中国科学院资源环境科学与数据中心,该数据的生产过程涉及居民点密度的人口分布、夜间灯光亮度等的加权合成,后经空间计算得到1 km栅格化数据。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化

土地利用变化量反映研究区域一定时期内某种土地利用类型的面积数量之差,表示该种土地利用类型面积的变化大小;土地利用变化率反映某种土地利用类型变化量占研究初期该种土地利用类型面积的比率,表示土地利用面积变化的剧烈程度^[24]。

$$\Delta S = S_b - S_a \quad (1)$$

$$K = (S_b - S_a) / S_a \times 100\% \quad (2)$$

式中: S_a 、 S_b 分别表示研究初期和末期某种土地利用类型的面积; ΔS 、 K 分别为某种土地利用类型在一定时期内的变化量及变化率(%)。

土地利用转移矩阵表示研究区域不同时期的土地利用结构变化情况,是定量研究土地利用类型间面积相互转移数量和方向特征的主要方法^[25]。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: S_{ij} 表示研究区域一定时期内第*i*类土地利用类型向第*j*类土地利用类型转移的面积; n 为土地利用类型的分类数量,在本研究中 $n=7$ 。

2.2.2 驱动力分析

在分析土地利用变化驱动力时,本文首先计算了年尺度的土地利用变化强度,为了和气象及人口数据保持一致,本文将4期土地利用矢量数据转变为1 km栅格数据,将土地利用变化强度定义为每个格网内任意时期土地利用属性发生转变的面积比例。

$$I = 1 - S_0 / S \quad (4)$$

式中: I 为土地利用变化强度; S_0 、 S 分别为4个时期土地利用属性未发生变化的面积之和及格网面积。除此之外,本文还针对每一类土地覆被属性,分别计算了各自的转变强度。对于特定土地类型来说,不同时期可能既表现出转出为其他用地,也有可能由其他用地转入,因此,本文对每一类土地利用属性同时计算了转出和转入的变化强度,此时的 S 分别对应1990年该类属性的格网面积和2020年该类属性的格网面积。

在进行驱动力分析时,本文借助随机森林模型对影响十大孔兑流域土地利用变化的因素进行贡献度测定。随机森林是一种常用的机器学习方法,通过决策树回归的组合算法,能够客观评估变量的重要程度,在处理高维度数据、随机性样本选择方面具有比其他回归算法较强的优势^[26-27]。本文假定气候变化和人类活动均对土地结构的转变具有一定的影响,因此,将气温和降水量的年际变率(即变异系数)及人口密度数据作为影响变量,分别表征气候变化幅度和人类活动强度,将整体及每个类型的土地利用变化强度作为响应变量,计算模型的整体方差解释率及各影响变量的重要性(%IncMSE)。除此之外,其他因素如地貌、政策法规等也可能在某种程度上影响土地利用的属性,例如地势平坦的地区易于进行农业生产及城市发展、土地管理规划往往减少城市扩展占用耕地等^[28-31]。但考虑到地形更侧重对土地利用类型选择的静态影响,而对动态变化信息的贡献有限;政策法规的制定具有突变性,不易于量化,且多与人类活动密切相关;因此,本研究对这些因素并未予以考虑,而将关注重点放到了影响程度普遍较高的气候变化与人类活动强度上。

3 结果与分析

3.1 土地利用结构及其变化特征

在十大孔兑流域,草地在4个时期均是面积最大的组分类型,平均占比49.7%(图2,表1)。其次是沙地和耕地,所占比例分别为23.5%和14.0%。除此之外,其他地类如林地、水域、建设用地、其他未利用地所占比例均未超过10.0%。

沙地、建设用地及耕地面积的变化量较大(表1,图3)。1990—2000、2000—2010、2010—2020年,沙地面积呈持续下降趋势,总体减少了223.4 km²;

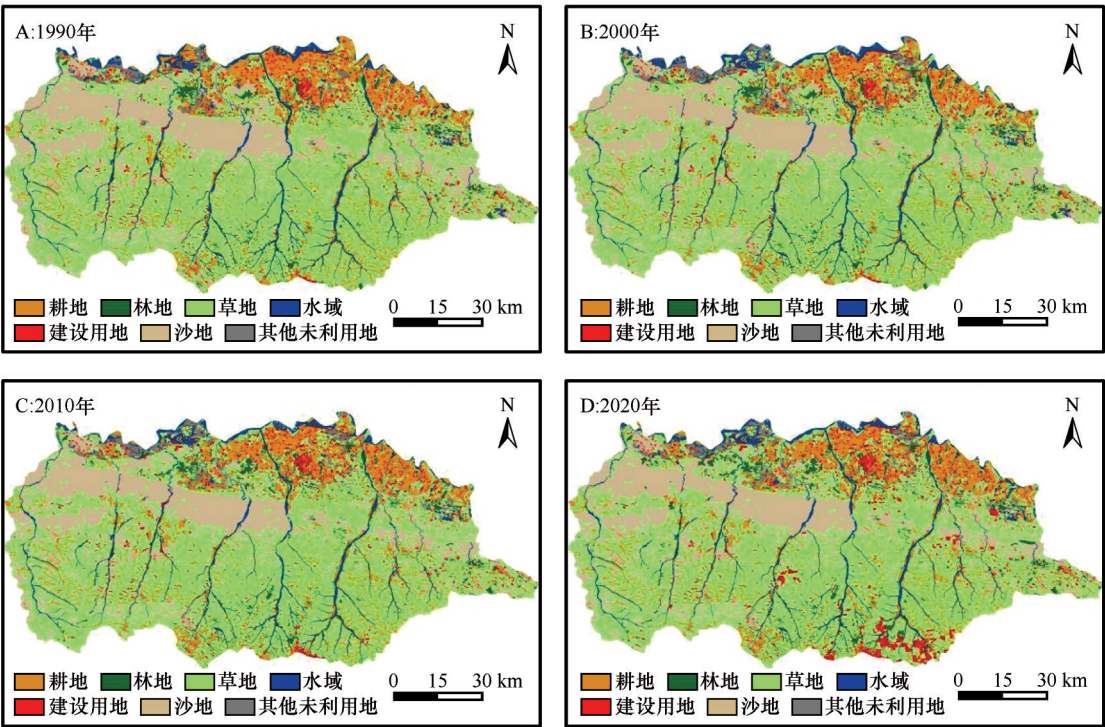


图2 土地利用组分结构空间格局

Fig.2 Spatial pattern of land use component structure

表 1 1990 年以来十大孔兑流域土地利用结构及其变化趋势

土地利用 类型	1990 年		2000 年		2010 年		2020 年		1990—2020 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	变化量/km ²	变化率/%
耕地	1 568.2	14.8	1 397.9	13.2	1 494.1	14.1	1 479.0	13.9	-89.2	-5.7
林地	217.8	2.1	227.2	2.1	263.4	2.5	297.8	2.8	80.1	36.8
草地	5 197.7	48.9	5 344.2	50.3	5 340.6	50.3	5 252.9	49.4	55.2	1.1
水域	550.9	5.2	552.2	5.2	521.9	4.9	536.7	5.1	-14.3	-2.6
建设用地	319.4	3.0	321.8	3.0	341.1	3.2	471.1	4.4	151.7	47.5
沙地	2 602.8	24.5	2 547.0	24.0	2 442.7	23.0	2 379.5	22.4	-223.4	-8.6
其他未利用地	170.5	1.6	237.1	2.2	223.7	2.1	210.5	2.0	40.0	23.4
流域合计	10 627.4	100.0	10 627.4	100.0	10 627.4	100.0	10 627.4	100.0	—	—

建设用地面积则持续增加,总体增加了 151.7 km²,增加最明显的时段在 2010—2020 年;耕地面积呈现波动式下降的趋势,总体减少了 89.2 km²。除此之外,林地面积呈现总体增加的态势,总体增加了 80.1 km²,草地面积呈现波动式增加的趋势,总体增加了 55.2 km²;水域面积略有下降,其他未利用地略有增加。

在整个时段内,建设用地、林地和其他未利用地面积的变化率较大,均超过 15.0%,草地的变化率最小。建设用地在 1990—2000、2000—2010、2010

—2020 年的增加分别为 0.8%、6.0%、38.1%,总的增加为 47.5%,其中 2010—2020 年增长极为迅速。林地面积在 3 个时段内增加分别为 4.3%、15.9%、13.1%,总的增加 36.8%,主要发生在 2000 年以后。其他未利用地面积在 1990—2020 年总的增加为 23.4%,主要发生在 1990—2000 年。

3.2 土地利用转移特征

1990—2000 年,转出面积较多的主要为耕地、沙地和草地,转入面积较多的则集中在草地、沙地

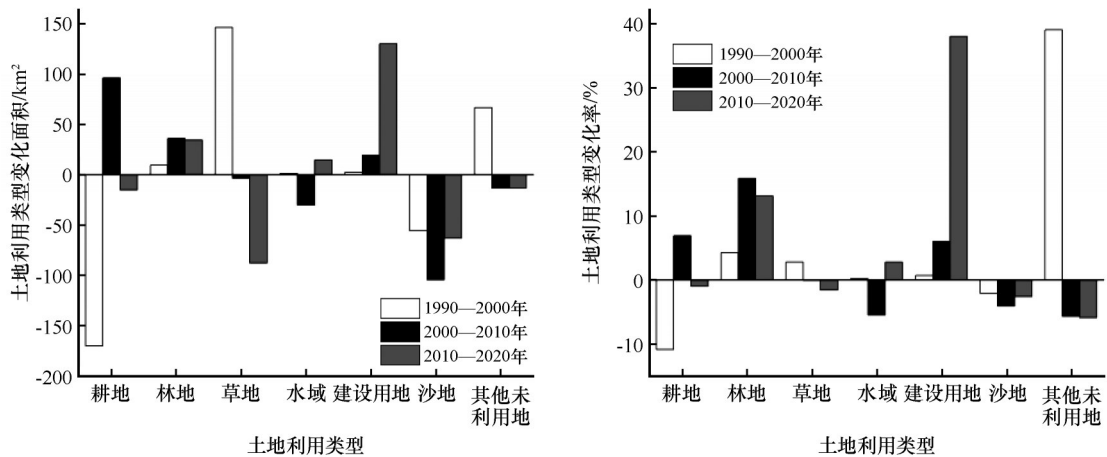


图3 不同时期十大孔兑流域土地利用类型变化面积和变化率

Fig.3 Variation in the area and rate of land use types in the Ten Tributaries Basin over different time periods

和其他未利用地,其中,耕地主要向草地和其他未利用地转化,前者转化面积达到了120.5 km²;沙地与草地以相互转化为主,其中沙地向草地的正向转化比反向转化的面积多63.9 km²;其他未利用地的转入以耕地和草地的转化为主。

2000—2010年,各地类间转化均较为频繁,但仍以草地的转出和转入为主,其中,草地的转出方向主要为耕地,面积为100.1 km²,而草地的转入则主要来自沙地、水域和其他未利用地,草地的转入面积达到了179.0 km²,由沙地转化而来的面积占比55.7%。在此期间,林地的面积有所增加,增加的面积为36.2 km²,主要来自草地和沙地的属性转变。

2010—2020年,主要表现为建设用地面积的增加,以草地和耕地的转入为主,两者转化面积分别为98.2 km²和24.8 km²;林地面积继续增加,增加了34.5 km²,主要来自于沙地和草地的贡献;水域范围也表现出一定的扩张,增加了14.8 km²。

过去30年,十大孔兑流域土地利用演变空间格局发生了较为明显的变化。草地增加的区域主要集中在流域中部和北部,草地主要向建设用地、耕地转化,草地向建设用地转化主要分布在流域东南部,向耕地转化主要分布在流域下游,2010—2020年草地面积减少较快。耕地主要向草地、其他未利用地和建设用地转化,主要分布在流域下游地区,转化区域以黑赖沟、西柳沟、罕台川、壕庆河的下游相对较多。建设用地增加的区域主要集中在流域上游东南部。林地转入的区域主要发生在流域的中下游,且流域北部和西部变化最明显。沙地减少的区域主要分布于流域中部和两侧。水域变化的

区域分布在流域的下游。其他未利用地变化的区域集中在流域北部(图4,图5)。

土地利用转化方式与刘晓林等^[14]对1980—2010年十大孔兑流域土地转化特征及转化分布的论述基本一致,但是在数量上存在微小差异,可能与数据来源、分类方法等因素有关。1990—2010年土地利用变化趋势与闫丽等^[32]研究结果基本一致,但变化量和变化率存在有一定程度的差异,可能与研究时间的长短和土地利用分类的精度有关。土地利用统计与刘振婷等^[15]对1990—2020年十大孔兑流域土地利用变化的结果和生态敏感性分析基本一致,微小差异来自于对其他未利用地和沙地的划分。

3.3 驱动力

人为因素在驱动十大孔兑流域土地利用结构转变进程中发挥着主导作用,影响范围涵盖了土地结构的各个单元,较为突出地体现在林地、草地、建设用地及沙地等方面(图6)。因此,在土地管理和规划中,需要综合考虑人类活动对生态系统的影响,以实现可持续的土地利用。具体而言,由于近年来实施一系列政策法规等人工干预的治理措施^[33-35],研究区域中部库布齐风沙区林地面积扩张最为明显,使得林地转入量持续增加。在草地的转出方面,由于近年来人口的增长、经济发展水平的提高、人类活动范围的增加^[36],草地大量转化为建设用地,特别是在2000年以后建设用地面积扩张尤为明显,城乡居住、公路用地都有所扩张;除此之外,有相当部分的草地转化为了耕地,在北部平原区、中部风沙区和南部丘

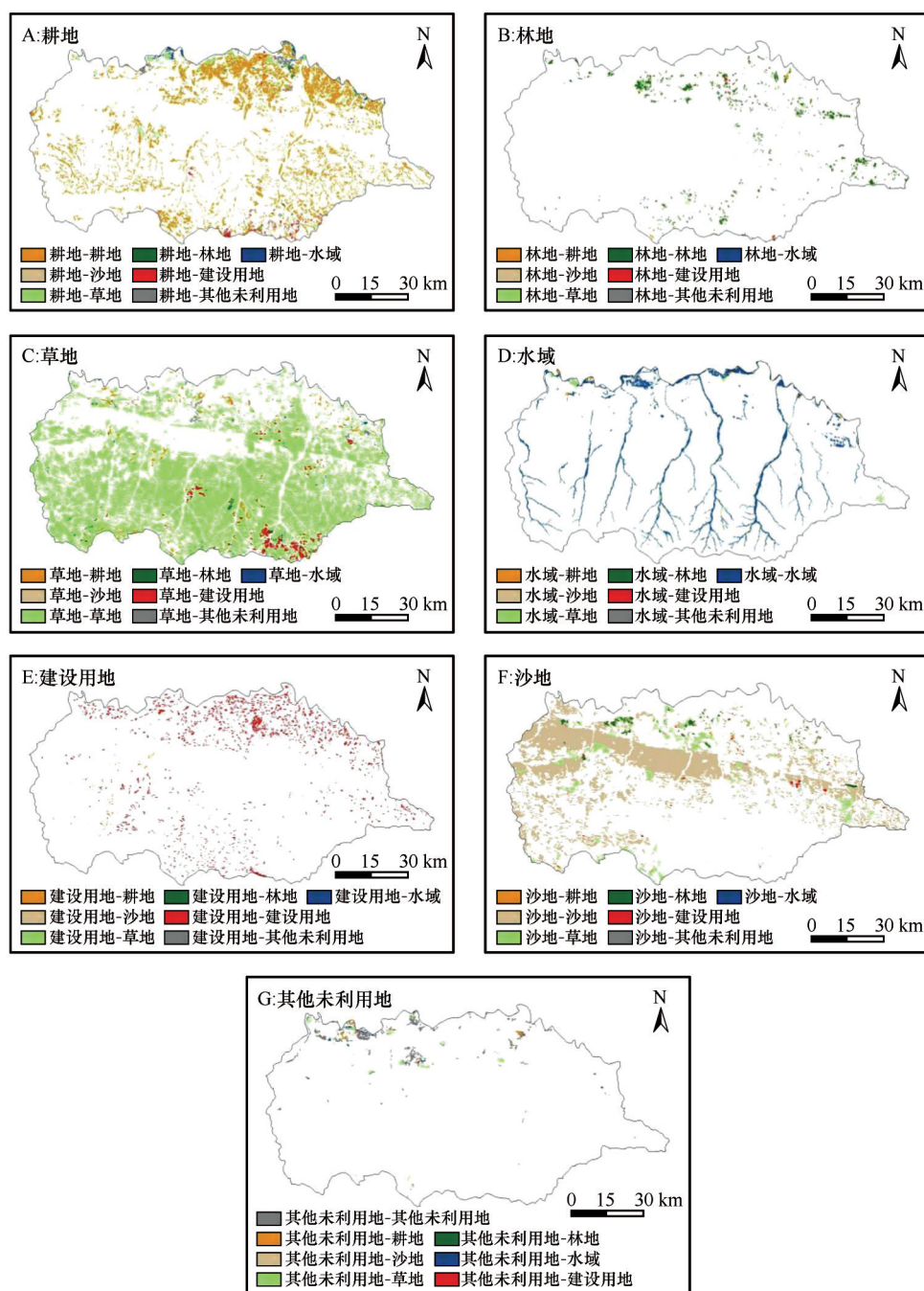


图4 1990—2020年土地利用各类型变化空间分布

Fig.4 Spatial distribution of changes in various land use types from 1990 to 2020

陵沟壑区沿河道两侧区域,出现了集中分布的耕地。这与人类活动密不可分,人口增长必然需要更多的粮食与之相匹配。对于水域和建设用地向其他利用类型的转化,人为因素贡献同样较大,水域的转出大多分布于北部平原区,该区是人口密度较大且集中的区域,相对平坦的冲积扇或洪积扇相继在平水年份被开垦为农田;而建设用地转出则可能与十大孔兑流域的规划和发展密切相关,旧城区的

改建和土地再开发项目可能导致原有的建设用地结构发生变化,政府和地方规划机构可能通过土地用途变更规划,调整土地的使用类型^[37-38]。相比于以上几类的单向转化,沙地范围的演进受人类活动的主要影响,沙地的减少主要得益于一系列国家及地方关于生态保护及荒漠化治理政策的制定,如京津风沙源治理工程、全国防沙治沙规划、沙化土地封禁保护修复制度方案、北方防沙带生态保护和修

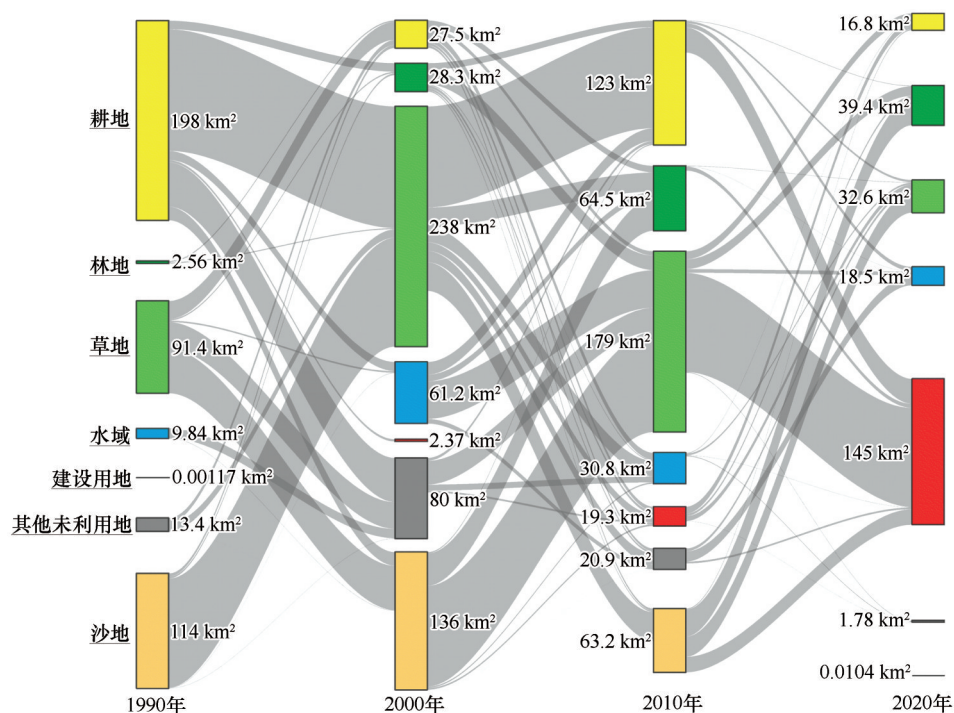


图5 1990—2020年土地利用转移桑基图

Fig.5 Land use transition Sankey diagram from 1990 to 2020

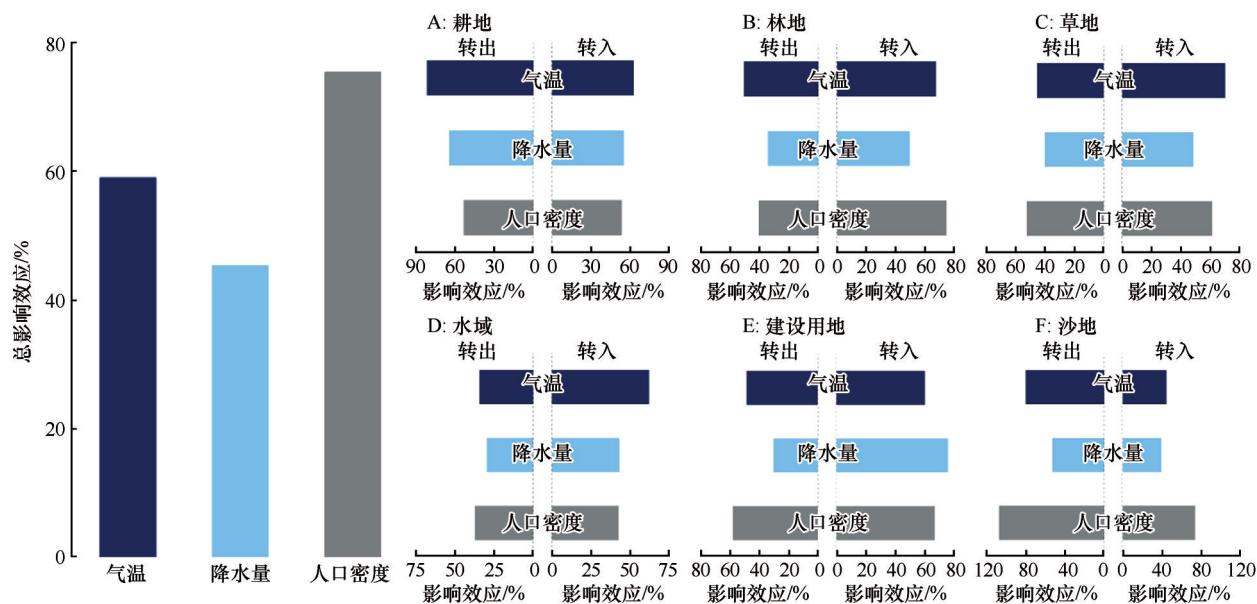


图6 十大孔兑土地利用变化的影响因素

Fig.6 Influencing factors of land use change in the Ten Tributaries Basin

复重大工程建设计划、黄河内蒙古河段十大孔兑治理规划等^[39],这些治理措施的执行促使十大孔兑流域沙地占比的缩减;同时,由于人类不合理的水土资源开发,也带了一些负面影响,一些区域出现了沙进人退的现象,与过度放牧、不合理的农业实践和城市化建设有关。

除了人类活动的影响外,气候变化尤其是气

温、降水量的年际变率对某些土地结构属性的变动具有较高的解释率^[12]。气温变率在较大程度上决定着耕地的动态^[24],十大孔兑的旱作农田主要分布在流域的下游地区,由于黄河水的灌溉,土壤水分较高,但盐渍化现象较为严重,气温的年际变率显著影响着农田作物的蒸散量,表层盐积程度进而随之发生改变,从而导致弃耕与开垦的动态变化。气

温对林地转出的影响可能体现在近年来较高的气温水平使得人工栽植不久的未成林因较高的水分消耗而枯死,导致一些单一结构的人工林属性发生反转。与之不同的是,由于草本的耗水量相对较少,枯死的人工林以及因盐渍化而弃耕的农田相继转化成了草地;另外,草本植物丰富的物种多样性,能够适应不同的气温条件^[40],这也有利于草本植物在多变的气候背景下入侵那些对气温变率抵抗力较差的生态系统类型,进而导致结构属性发生改变。对于水域转入,通常认为降水变率的贡献更为直接,但本文的分析结果显示气温变率的贡献较降水更大,可能是因为气温和降水的影响相互交叠,气温变率较大时往往也会引起一些极端降水事件发生,高温时空气中水汽含量增加,突发洪水的概率也相应提高,例如,1998年年均气温显著高于多年平均水平,与此同时,该年发生的特大暴雨冲出河道,改变了一些原本的土地属性,转变为了洪水位沟道类型^[41-44]。相较于气温而言,降水的变率在影响建设用地的转入方面具有重要贡献,可能是因为近年来建设用地面积的增加主要集中在十大孔兑上游砒砂岩区,该区降水的时空格局对人们生活与生产具有重要影响,从而在较大程度上依赖于降水的动态变化。

4 结论

十大孔兑流域的主要土地结构类型(草地、沙地和耕地)在研究时段内占比之和基本稳定,但期间变化各异。沙地、建设用地及耕地的绝对变化量相对较大,而建设用地、林地和其他未利用地的相对变化率均超过了15.0%。这一期间,建设用地和林地面积持续增加,沙地面积持续减少。

1990—2020年,十大孔兑流域耕地主要向草地、建设用地转化,主要分布在流域下游地区;草地主要向建设用地、耕地转化,而草地的转入主要集中在流域中部和北部;建设用地的增加主要在流域上游东南部;林地转入主要由沙地和草地所贡献;沙地减少的区域主要分布于流域中部和两侧。

人类活动在驱动十大孔兑流域土地利用结构转变进程中发挥着主导作用,突出地体现在林地的转入、草地和建设用地的转出及沙地的转化动态等方面;除此之外,气温变率也在较大程度上影响着耕地的转化、林地的转出及草地与水域的转入;相

对而言,降水的影响较为有限,仅在建设用地的转入方面发挥着显著的影响。

参考文献:

- [1] 张颖,赵宇鸾.黔桂岩溶山区土地利用程度演变的空间分异特征[J].水土保持研究,2018,25(1):287-297.
- [2] 陈磊,孙佳新,姜海,等.南京市土地利用结构时空格局及驱动因素[J].水土保持研究,2020,27(1):197-206.
- [3] 姜飞强.基于耕地进出平衡的土地利用格局动态变化研究[J].华北自然资源,2023(6):157-160.
- [4] 武帅,田冰,顾世杰,等.植被覆盖度对生态脆弱性动态演变的影响:以河北省张家口为例[J].水土保持研究,31(2):310-320.
- [5] 项颂,庞燕,杨天学,等.内蒙古典型草原区土地利用动态变化及其对水质的影响[J].农业环境科学学报,2022,41(4):857-867.
- [6] 罗谷松,李涛.碳排放影响下的中国省域土地利用效率差异动态变化与影响因素[J].生态学报,2019,39(13):4751-4760.
- [7] Winkler K, Fuchs R, Rounsevell M, et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated[J]. Nature Communications, 2021, 12(1):2501.
- [8] 付乐,迟妍妍,于洋,等.2000—2020年黄河流域土地利用变化特征及影响因素分析[J].生态环境学报,2022,31(10):1927-1938.
- [9] 赵子娟,范蓓蕾,王玉庭,等.2000—2018年西辽河流域植被覆盖度时空变化特征及影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(12):75-88.
- [10] 贾丹阳,熊祯祯,高岩,等.近30 a台特玛湖地区土地利用/土地覆被变化及其影响因素[J].干旱区地理,2021,44(4):1022-1031.
- [11] Carlos A T G, Vanderlise G, Diana Sr, et al. Land-use change alters the stocks of carbon, nitrogen, and phosphorus in a Haplic Cambisol in the Brazilian semi-arid region[J]. Soil Use and Management, 2022, 38(1):953-963.
- [12] 姚海芳,师长兴,顾珍逵.气候变化和人类活动对黄河上游十大孔兑水沙过程的影响[J].干旱区地理,2018,41(3):472-479.
- [13] 裴新富,甘枝茂,刘啸.黄河流域退耕还林有关技术问题研究[J].干旱区资源与环境,2003(3):98-102.
- [14] 刘晓林,杨胜天,周旭,等.1980年以来黄河内蒙古段十大孔兑流域土地利用变化时空特征[J].南水北调与水利科技,2016,14(1):30-36.
- [15] 刘振婷,包雪源,郭建英,等.十大孔兑流域土地利用变化与生态系统健康耦合分析[J].绿色科技,2023,25(10):8-16.
- [16] 李磊.达拉特旗土地利用动态变化及驱动机制研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [17] 冯异星.遥感与GIS支持下的土地利用动态变化研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2008.
- [18] 康文慧,徐进才,张武文,等.内蒙古达拉特旗土地利用方式

- 对土壤养分的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(8): 161-166.
- [19] 陈燕, 齐清文. 达拉特旗土地利用及水土保持措施现状遥感调查与制图[J]. 水土保持学报, 2003(6): 137-139.
- [20] 钟莉娜, 郭旭东, 赵文武, 等. 内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗土地利用结构变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国土地科学, 2014, 28(10): 25-32.
- [21] 赵峰, 鞠洪波, 刘华, 等. 基于生态工程区的土地利用变化和景观格局分析: 以内蒙古达拉特旗为例[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 216-220.
- [22] 姬宝霖, 吕忠义, 申向东, 等. 内蒙古达拉特旗十大孔兑综合治理方案研究[J]. 人民黄河, 2004(1): 31-32.
- [23] 王慧. 黄河内蒙古段十大孔兑生态脆弱性演变及驱动力分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [24] 娄和震, 杨胜天, 周秋文, 等. 延河流域2000-2010年土地利用/覆盖变化及驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4): 15-21.
- [25] 任斐鹏, 江源, 熊兴, 等. 东江流域近20年土地利用变化的时空差异特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(1): 143-152.
- [26] 胡谦磊. 基于HOG和随机森林的极限学习机图像分类研究[D]. 湖南湘潭: 湘潭大学, 2018.
- [27] 吴梦红. 西辽河流域湿地演变特征及其驱动力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [28] 杨祯琦, 麻明友, 田建林. 土地利用景观格局的地形分异及驱动机制研究: 以张家界市永定区为例[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(5): 1226-1238.
- [29] 滕哈, 夏建新, 任华堂. 退耕还林还草工程对黄土高原延河流域水土保持功能影响研究[J]. 泥沙研究, 2015(4): 14-19.
- [30] 胡春宏, 王延贵, 张燕菁, 等. 中国江河水沙变化趋势与主要影响因素[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 524-532.
- [31] 畅田颖, 张仲伍, 乔旭宁, 等. 黄河流域2000-2020年“三生”空间土地利用转型及其生态环境效应[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 268-275.
- [32] 闫丽, 包慧娟, 郭佳. 内蒙古达拉特旗土地沙漠化动态研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2009, 38(3): 315-319.
- [33] 苗平, 达古拉. 黄河流域十大孔兑山水林田湖草沙系统治理对策措施[J]. 内蒙古水利, 2023(2): 65-66.
- [34] 苗平, 陈燕. 浅析十大孔兑岸线利用与管控措施与对策[J]. 内蒙古水利, 2022(12): 41-43.
- [35] 王丽云, 马振刚, 高云飞, 等. 近10 a来十大孔兑现状淤地坝拦沙作用分析[J]. 人民黄河, 2018, 40(9): 89-92.
- [36] 曾令建. 十大孔兑区生态系统服务功能及其权衡协同关系[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [37] 李晔琳. 鄂尔多斯市城乡规划工作开展对策[J]. 乡村科技, 2020(21): 26-29.
- [38] 巴特尔. 浅析鄂尔多斯市土地利用总体规划实施中存在的问题[J]. 内蒙古林业调查设计, 2015, 38(4): 113-114.
- [39] 娄佳乐. 1986-2020年黄河流域十大孔兑土地利用与植被覆盖时空演变及影响因素研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [40] 石冰, 王开运, 邹春静, 等. 大气CO₂浓度和温度升高对草本植物生长的影响[J]. 现代农业科技, 2008(15): 15-16.
- [41] 张荣刚, 王金花, 靳莉君, 等. 引发2016年十大孔兑严重山洪的暴雨诊断分析[J]. 人民黄河, 2017, 39(9): 1-4.
- [42] Yao H, Shi C, Shao W, et al. Impacts of climate change and human activities on runoff and sediment load of the Xiliugou Basin in the upper Yellow River [J]. *Advances in Meteorology*, 2015, 481713: 1-12.
- [43] Wei W, Chen L, Fu B, et al. The effect of land uses and rainfall regimes on run-off and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 335(3): 247-258.
- [44] 王文君, 陈新闯, 李小倩, 等. 十大孔兑降雨侵蚀产沙时空分布特征及预测[J]. 人民黄河, 2019, 41(4): 1-6.

Land use change characteristics and driving forces in the Ten Tributaries Basin, Inner Mongolia

Wu Juanjuan^{1,2}, Du Jun¹, Xurigan³, Wang Wen¹, Miao Chenxin^{1,2},
Ren Xia³, Yang Zhiru³, Cao Fangyuan³, Mao Mingyue³

(1. Research Station of Inland River Basin, 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. Water Conservancy Development Center of Ordos City, Ordos 017010, Inner Mongolia, China)

Abstract: Based on Landsat satellite imagery with a resolution of 30 meters covering the period from 1990 to 2020, land use/land cover information was interpreted and extracted. The study used dynamic change rate and land use transfer matrix methods to systematically analyze the spatiotemporal patterns of land use changes in the Ten Tributaries Basin over the past three decades. Additionally, using the Random Forest models, the driving forces of the structural transformation of land use were explored. The results showed that: (1) During the study period, forest area continued to expand, while sandy areas gradually decreased. The most significant increase was observed in construction land (47.5%), followed by forest land (36.8%), with no drastic changes in the structure of other components. (2) Frequent attribute transformations occurred among land use types, with mutual transformation between farmland land and grassland, and conversions from grassland and sandy land to forest land and construction land being the main characteristics. (3) In comparison to climate change, human activities played a predominant role in driving the structural transformation of land use in the basin, which were particularly reflected in the input of forest land, the output of grassland and construction land, and the transformation dynamics of sandy land.

Key words: land use; spatiotemporal characteristics; change patterns; driving forces; Ten Tributaries Basin