

1980—2020 年克鲁伦河流域草地的时空变化

程佳蕊^{1,2,3}, 毛德华³, 玉山^{1,2}, 王宗明^{3,4}, 相恒星³

(1.内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022;

2.内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022;

3.中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102; 4.国家地球系统科学数据中心, 北京 100012)

摘要: [目的] 分析克鲁伦河流域草地时空变化特征, 对比分析中蒙两国草地变化规律, 以期推动地方生态环境保护与建设, 为跨境草原的可持续发展提供科学参考。[方法] 以克鲁伦河流域为研究对象, 基于面向对象的随机森林分类方法对 Landsat 系列影像进行信息提取, 获得 1980—2020 年克鲁伦河流域 5 期土地覆被数据, 并通过草地动态模型、草地变化转移矩阵、质心模型及相关性分析的方法对比分析中蒙两侧草地变化及其驱动因素。[结果] ①1980—2020 年克鲁伦河流域草地整体呈减少趋势, 共减少 486 km², 其中中国一侧草地增加 130 km² (0.88%), 裸土地的转入是草地面积增加的主要原因; 蒙古国一侧减少 616 km² (0.61%), 主要转化为裸土地和耕地; ②克鲁伦河流域草地质心向东北方向移动 1.6 km。[结论] 克鲁伦河流域草地退化的是自然因素和人为因素协同作用的结果, 但从其面积转移来看, 人类活动是导致其退化的直接原因。

关键词: 草地变化; 遥感; 质心模型; 驱动因素; 克鲁伦河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0296-08

中图分类号: P901, S151⁺.3

文献参数: 程佳蕊, 毛德华, 玉山, 等. 1980—2020 年克鲁伦河流域草地的时空变化[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 296-303. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220525.003; Cheng Jiarui, Mao Dehua, Yu Shan, et al. Temporal and spatial changes of grassland in Kherlen River basin from 1980 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 296-303.

Temporal and Spatial Changes of Grassland in Kherlen River Basin from 1980 to 2020

Cheng Jiarui^{1,2,3}, Mao Dehua³, Yu Shan^{1,2}, Wang Zongming^{3,4}, Xiang Hengxing³

(1.College of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia

010022, China; 2.Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing and Geography Information System,

Hohhot, Inner Mongolia 010022, China; 3.Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese

Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102, China; 4.National Earth System Science Data Center, Beijing 100012, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variation characteristics of grassland in the Kherlen River basin were analyzed, and the change laws of grassland in China and Mongolia were compared in order to promote the protection and construction of the local ecological environment and to provide a scientific reference for the sustainable development of cross-border grassland. [Methods] Information was extracted from a series of Landsat images based on object-oriented and random forest classification methods to obtain five-phase land cover data for the Kherlen River basin from 1980 to 2020. Grassland changes and the driving factors of grassland change on both sides of the China-Mongolia border were compared and analyzed by means of a grassland dynamic attitude model, a grassland change transfer matrix and a centroid model. [Results] ① Grassland in the Kherlen River basin declined from 1980 to 2020. A total reduction of 486 km² was found,

收稿日期: 2021-10-27

修回日期: 2022-01-08

资助项目: 内蒙古师范大学引进高层次人才项目(2020YJRC050); 内蒙古“科技兴安”行动重点专项“阿尔山森林草原防火监测预警系统研发与集成示范”(2020ZD0028); 阿尔山森林草原防火监测预警系统研发与集成示范; 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19040500); 吉林省科技发展计划项目(20200301014RQ); 中国科学院青年创新促进会(2012277)

第一作者: 程佳蕊(1997—), 女(汉族), 山东省东营市人, 硕士, 主要从事资源环境遥感方面的研究。Email: 19847372698@163.com。

通信作者: 玉山(1978—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区库伦旗人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事遥感技术应用与自然災害遥感监测方面的研究。Email: yushangis@163.com。

where grassland on the Chinese side increased by 130 km² (0.88%). The transfer of bare land was the main reason for the increase in the grassland area. The Mongolia side decreased by 616 km² (0.61%), as grassland was mainly converted into bare land and cultivated land. ② The grassland centroid in the Kherlen River basin moved 1.6 km northeast due to the loss of grassland in the middle and lower reaches of the Kherlen River. [Conclusion] The loss of grassland in the Kherlen River basin was the result of the combination of natural and human factors. From the perspective of grassland area transfer, human activity was the direct cause of its grassland loss.

Keywords: grassland changes; remote sensing; area-weight centroid model; driving factors; Kherlen River basin

草地是陆地上分布最广的土地利用类型之一,约占全球陆地面积的五分之一^[1],植物总量的三分之一,是陆地生态系统中重要的水源涵养区、生物基因库和碳储库^[2]。目前,草原退化^[3-4]已成为全球亟待解决的生态问题,《生物多样性公约》(CBD)的爱知生物多样性目标和联合国可持续发展目标(SDGs)都针对陆地生态系统的恢复和可持续利用提出具体规范。与此同时,“抗击退化”^[5]也成为《联合国生态系统恢复十年(2021—2030年)》的核心内容,强调该 10 a 迫切地需要制定包括草原在内的退化生态系统恢复战略,以预防、制止和扭转^[6-8]生态系统退化。

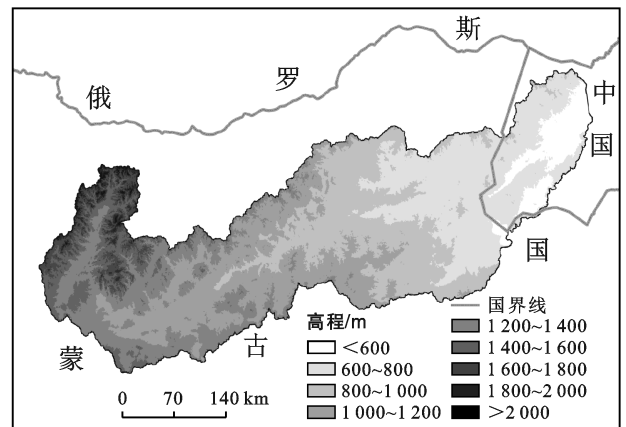
中国草地主要分布在北方,以青藏高原和蒙古高原^[9]为主要分布区,尽管已有文献报道了草地分布变化及其驱动因素的分析,但对于气候变化和人类活动对草地分布面积影响的定量化解析相对较少,尤其缺乏对比分析。跨境流域通常在人类活动强度和气候变化方面有着明显的差异^[10-12],开展长时间序列草地时空格局演变及其驱动因素的对比解析,可为草地资源管理提供决策依据。克鲁伦河流域地处蒙古高原东部,是中蒙畜牧业发展的重要分布区。因此,开展克鲁伦河流域草地时空变化及其驱动因素的跨境对比分析,具有重要的科学意义和应用价值。本研究基于 Landsat 长时间序列遥感影像,运用面向对象的随机森林分类法,得到克鲁伦河流域 1980—2020 年 5 期土地覆被数据,通过草地动态度模型、草地变化转移矩阵及质心模型的方法,定量分析 1980—2020 年克鲁伦河流域草地时空变化特征,同时对比分析中蒙两国草地变化规律,以期推动地方生态环境保护与建设,为跨境草原的可持续发展提供科学参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

克鲁伦河流域位于 107°25′—117°24′E, 46°2′—49°40′N 之间^[13],是蒙古高原东部长度最长,流域面积最大的河流。该河发源于蒙古国的肯特山南麓,自西向东流经乌兰巴托市、肯特省、东方省,在乌兰恩格

尔西端进入中国境内,流经新巴尔虎右旗,注入呼伦湖^[14],全长约 1 264 km,流域面积 1.30×10⁵ km²,其中在蒙古国流经范围较大,面积可达 1.12×10⁵ km²,长 1 090 km,是蒙古国境内的第二长河。克鲁伦河流域属中温带大陆性干旱气候,年平均气温 0~2℃,年降水量 150~300 mm^[15]。植物种类有丛生草、禾本科、针茅属、杂类草、羊茅属、锦鸡儿属、羊草为主的草原植被,常见植被有大针茅、克氏针茅、羊草、芨芨草、寸草苔、芦苇、冷蒿。克鲁伦河流域地形如图 1 所示。



注:基于审图号 GS(2016)2948 号底图制作,底图来自于自然资源部标准地图服务系统(<http://bzdt.chmnr.gov.cn>)。下同。

图 1 克鲁伦河流域地形图

1.2 数据来源

1.2.1 影像数据 本文选用了时间序列较长的 Landsat 系列影像(表 1),因研究区面积较大,且时间上选择了草地生长较为旺盛的 7—8 月,降水较多,部分区域相应年份难以选取合适影像,进而从相邻年份中收集缺失图像的区域,以最大限度地减少云层覆盖造成的数据损失。本文使用的影像下载于美国地质勘探局网站(<http://glovis.usgs.gov/>),利用 ENVI 软件对多期遥感影像进行辐射定标、大气校正及几何校正等预处理操作,参考 Wang^[16]和 Mao^[17]的土地覆被分类系统,并结合本研究区实际情况,最终确定林地、草地、耕地、人工表面、水体、湿地、及裸土地共 7 种土地覆被类型。

表 1 本研究所用 Landsat 系列数据

年份	传感器	分辨率/m	轨道号
1980	MSS	78	135025,135026,135027,136026,136027,137026,137027,138026,138027,139027,139028,140026,140027
1990	TM	30	125026,125027,126026,126027,127026,127027,128026,128027,129026,129027,
2000			129028,130026,130027
2010			
2020	OLI		

1.2.2 气象数据 1980—2020 年气温及降水数据来源于英国 East Anglia 大学的分辨率为 0.5° 的月尺度数据 Climatic Research Unit (CRU) 降水数据集 (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.05/), 利用 ArcGIS 10.6 对下载的 nc 数据进行转换提取, 最终将月尺度数据合成年数据。

1.2.3 社会经济数据集 1980—2020 年中国一侧总人口数和国内生产总值 (GDP) 数据集获取于内蒙古自治区统计局 (<http://tj.nmg.gov.cn/>) 的统计年鉴, 蒙古国一侧数据来源于世界银行公开数据 (<https://data.worldbank.org.cn/>)。

2 研究方法

2.1 基于面向对象的随机森林分类方法

基于数据影像进行多尺度分割, 提取同质对象^[18], 经多次试验选取分割尺度, 最佳分割尺度可以有效地提取地物并减少斑块冗余和碎化, 在提高目标样本纯度同时兼顾运行速度, 以此提高分类精度。

1980 年, 1990 年, 2000 年, 2010 年及 2020 年分别获取样本点 1060, 977, 1043, 1123, 1040 个, 实际野外调查样本点分别为 32, 76, 156, 353, 268 个, 其中 1990 年, 2000 年, 2010 年和 2020 年课题组均进行实际野外调查, 1980 年则通过居民走访调查并结合历史资料获取。目视解译样本点 5 期分别为 1028, 901, 887, 770, 772 个, 是基于同时期的 Google Earth 影像进行识别所得。对所有样本点进行分层随机抽样, 其中 70% 作为训练样本, 30% 作为验证样本。基于影像多尺度分割结果, 对训练样本进行训练分类得到 5 期土地覆被数据。最后, 利用验证样本对分类结果分别进行精度评价, 构建混淆矩阵, 计算五期分类数据的总体精度与 kappa 系数, 分类精度如表 2 所示。

表 2 分类精度

项目	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
总体精度/%	80.67	86.26	87.22	88.26	90.42
kappa 系数	0.77	0.84	0.85	0.86	0.89

2.2 草地动态度模型

单一土地覆被类型动态度可以表达一定时间内, 某种土地覆被类型动态变化幅度^[19]。其表达式如下:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为某草地动态度; U_a 和 U_b 分别为初期和末期草地的面积; T 为时间间隔。

2.3 转移矩阵

通过转移矩阵可以把土地利用类型的相互转化关系直观地表现出来, 可以得到某一种土地类型向另一种土地类型转化的面积^[20], 其表达式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: S_{ij} 代表的是研究初期和末期时间内由类型 i 转化到类型 j 的情况; n 代表的是土地利用的类型数。

2.4 质心模型

质心是一个或多个多边形的几何中心, 可以用来确定在某一时间某一土地覆被类型在空间上的位置^[21], 用 (x_c, y_c) 的形式来表示, 表达式为:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (3)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

式中: x_i, y_i 为质心坐标, 每个多边形的面积定义为 a_i 。质心可以更直接、更明显地将位移表示为连接不同时期质心的变化的方向和距离。

2.5 相关性分析

本文利用 Pearson 相关分析来研究草地变化与相关指数的相关性^[22], 计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

式中: R 为变量 x, y 的相关系数; x_i 表示草地面积; \bar{x} 为平均草地面积; y_i 为各指数值; \bar{y} 为相应指数的

平均值。其中,相关系数 R 的取值范围为 $[-1, 1]$, R 值越大则表明相关程度越高,并采用 t 统计量进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 克鲁伦河流域草地时空变化特征

如表3所示,草地是克鲁伦河流域分布最为广泛的土地利用类型,2020年研究区内草地面积为 $1.10 \times 10^5 \text{ km}^2$,占研究区总面积的88.95%。其中蒙古国一侧草地面积为 $1.00 \times 10^5 \text{ km}^2$,占该年研究区草地总面积的87.03%;中国一侧草地面积占该年研究区

草地总面积的12.97%,仅有蒙古国草地面积的1/4。

1980—2020年5期草地覆盖率分别为88.95%, 88.82%, 88.70%, 88.80%, 88.58%, 草地面积呈现先减少再增加后又减少的趋势。其中,2010—2020年草地萎缩最为严重,动态度达 -2.48% ,面积减少 258 km^2 ; 2000—2010年草地变化较小,动态度为 1.04% ,增加 119 km^2 。由图2可看出,1980—1990年草地转入面积最大,在1990—2000年草地转出面积最大,其中以中游北部最甚;2000—2010年整体变动不大,但下游变动相对剧烈;2010—2020年则以河流沿岸土地类型变动最为复杂。

表3 1980—2020年克鲁伦河流域草地面积及其变化

区域	草地面积/ km^2					草地面积时段变化/%			
	1980年	1990年	2000年	2010年	2020年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	2010—2020年
研究区	115 283	115 117	114 963	115 082	114 797	-1.44%	-1.34%	1.04%	-2.48%
中国	14 757	14 715	14 913	15 110	14 887	-2.85%	13.46%	13.21%	-14.76%
蒙古国	100 526	100 402	100 050	99 972	99 910	-1.23%	-3.51%	-0.78%	-0.62%

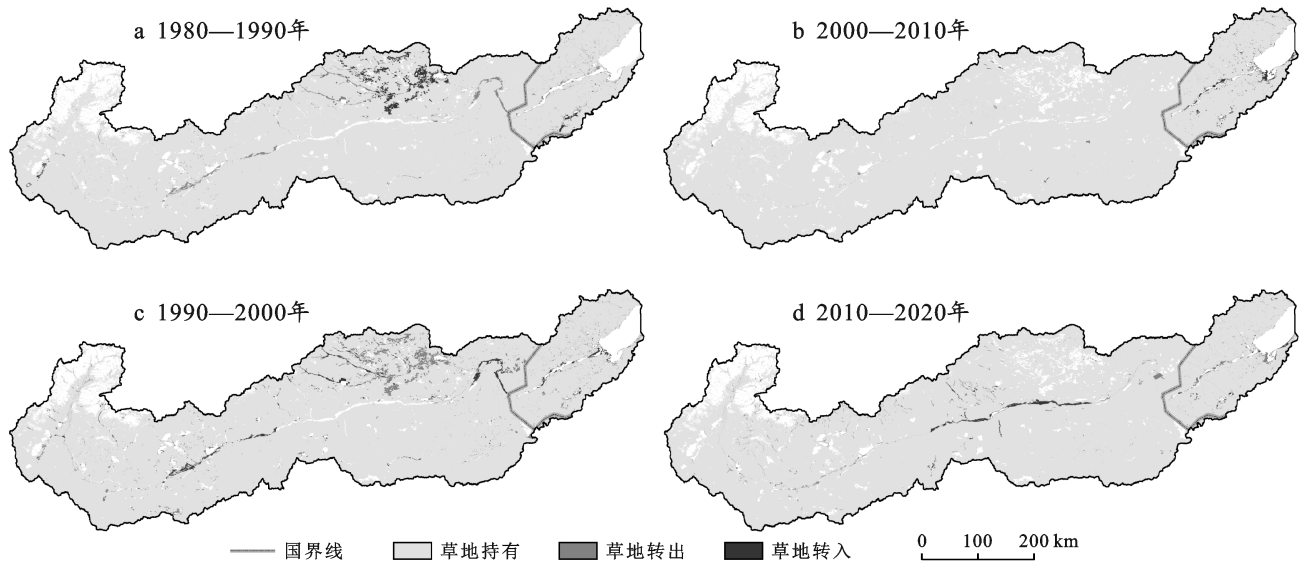


图2 1980—2020年克鲁伦河流域草地变化空间格局

图3展示了1980—2020年克鲁伦河流域草地在4个时间段内与其他土地覆被类型之间转入及转出的占比,总体来看草地的主要去向为耕地(385 km^2)和裸土地(235 km^2)。

蒙古国一侧草地在40 a间一直处于减少趋势,草地面积净减少 616 km^2 (0.61%)。湿地是与草地相互转化最为剧烈的土地覆被类型,其次是裸土地和耕地。与湿地之间的转化多以转入为主,而与裸土地和耕地之间的转化则以转出为主,二者是草地退化最主要去向,其中向裸土地转化面积为 384 km^2 ,向耕地转化的面积为 360 km^2 。中国一侧草地则呈现小幅度增加趋势,草地面积净增加 130 km^2 ,占中国一侧

总面积的0.74%。其中裸土地的贡献最大,共向草地转化 149 km^2 ,其次是湿地(109 km^2)。但是40 a间,中国一侧的人工表面面积一直呈现扩张趋势,在2010—2020年间草地向人工表面转化面积最大(46 km^2)。

3.2 草地质心迁移

图4显示了各个时期草地质心的迁移轨迹。在过去的40 a间,克鲁伦河流域草地质心整体上呈现出先向东北方向转移再向东南方向转移的过程。1980—1990年迁移距离最大,向东北方向迁移 1.0 km ;1990—2000年偏移整体迁移轨迹,向西南方向迁移 0.5 km ;2010—2020年迁移距离最短,向东南方向迁移 0.4 km 。

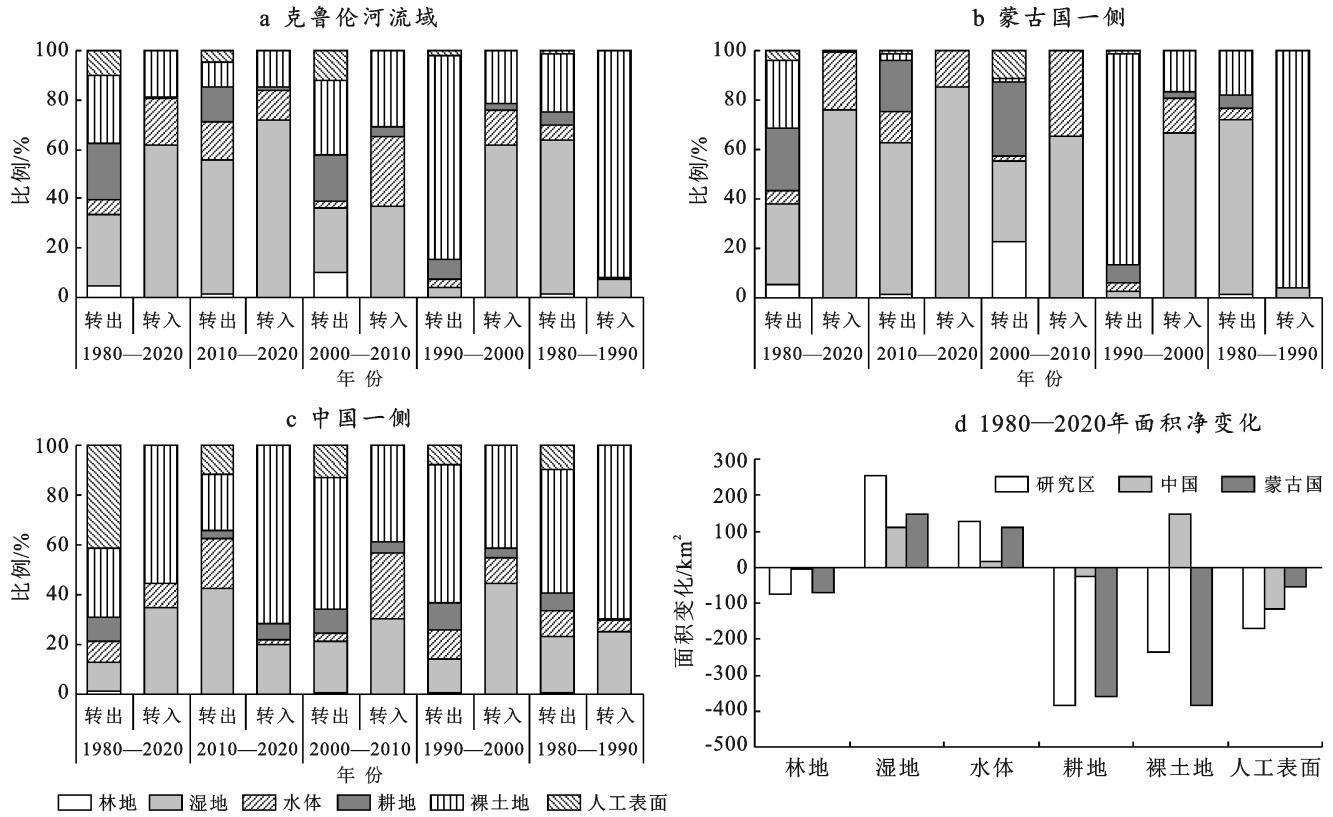


图 3 克鲁伦河流域草地与其他土地利用类型之间的转换

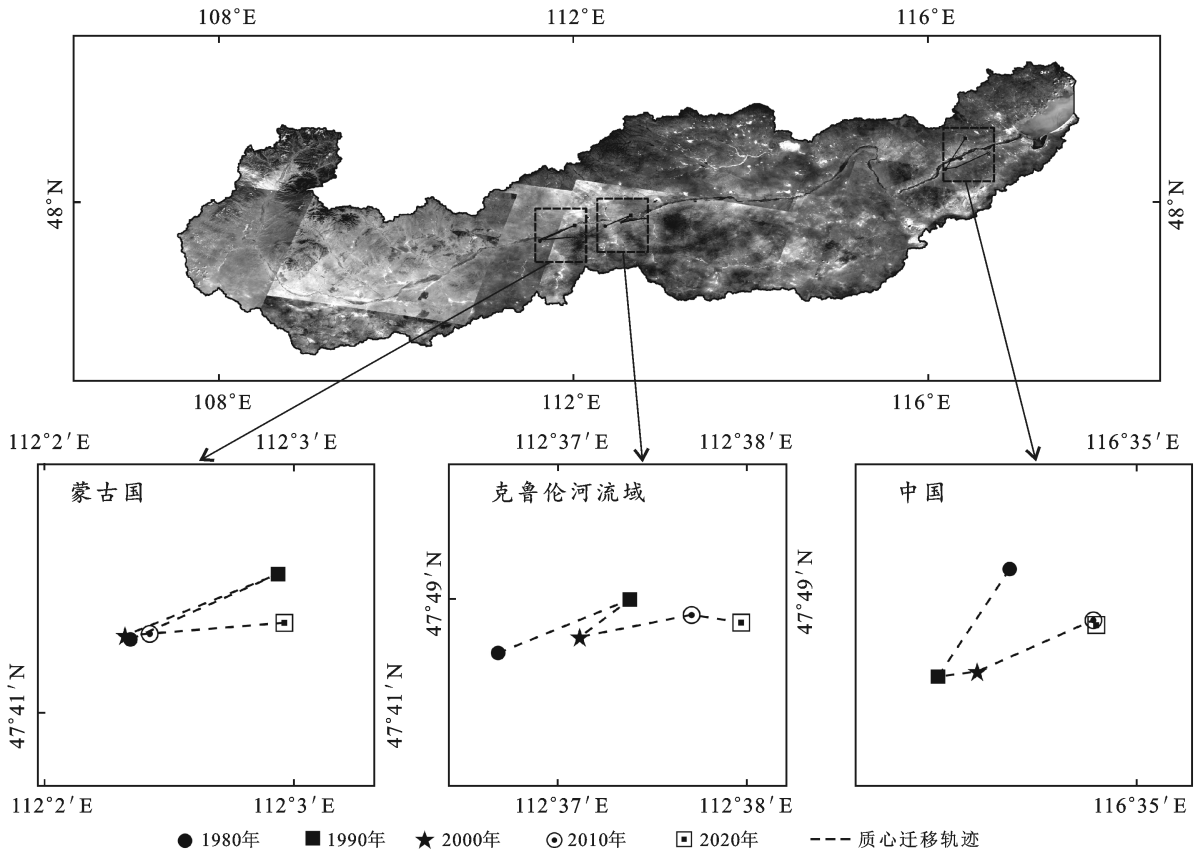


图 4 1980—2020 年克鲁伦河流域草地质心位置迁移

蒙古国一侧草地质心经历了先向东北再向西南最后又向东北方向迁移的过程。其中 1980—1990 年

与 1990—2000 年迁移方向相反,但迁移距离均为 1.3 km;最短迁移距离出现在 2000—2010 年,仅向东

北方向迁移 0.2 km。中国一侧草地质心则先向西南方向偏移,再向东北方向偏移,最终向东南方向迁移。1980—1990 年迁移距离最大,向西南方向迁移 0.6 km;2010—2020 年迁移距离最小,向东南方向迁移不足 0.1 km。

1980—2020 年蒙古国一侧与研究区的草地质心转移方向大体一致,主要是由于 2000—2010 年中国一侧草地质心向北偏移角度过大,导致 2010—2020 年蒙古国一侧质心迁移方向与研究区迁移方向不统一,但总体都向东迁移。通过 1980—1990 年和 1990—2000 年蒙古国一侧和研究区的草地质心迁移轨迹方向相反,主要是由于 1990 年气候变化剧烈,降水增多,使得原本地势较为低洼的地方汇聚大量雨水,在影像上表现为水体和湿地,研究区地势又表现为西南高东北低,因此该时间段内质心向东北方向转移;降水所带来的土地覆被类型转换是短暂的,雨量回归正常水平后,由降水转化来的草地又转化回原本的土地类型,使得 1990 年前后质心轨迹呈往返现象。

3.3 驱动因素分析

克鲁伦河流域草地的变化驱动因素包括自然因素和人文因素两类。本文选取了各因素指标两个。由表 4 可以看出,气温及人口之间的相关性通过了显著性检验($p < 0.05$),表明克鲁伦河流域草地面积的

变化并非其中任一因素导致的,而是自然因素和人文因素协同作用的结果。

表 4 克鲁伦河流域草地与各指数的相关性

指数	降水	气温	人口	GDP
相关性	-0.244	-0.819*	-0.881*	-0.786

注:* 在 0.05 水平上显著相关。

3.3.1 自然因素 克鲁伦河流域是典型的温带大陆性气候,且具有干旱区较为明显的气候特征,夏季多降水,过于集中的雨水会造成水土流失及地表破碎等环境问题,进一步恶化原本就脆弱的生态环境。1990 年丰富的降水使得草地向湿地及水体转化,而裸土地向草地转化,让生态环境暂时性呈现好转趋势,但 1990—2000 年,部分湿地和水体向草地转化,另一部分则直接转化为裸土地,这也是导致该年裸土地增加的主要原因,原本表现出好转的生态环境也迅速恶化,使 2000 年的草地面积在 1980 年原有草地面积的基础上减少 320 km²。

1980—2020 年克鲁伦河流域降水量以每年 2.6 mm 的速度减少,气温则以每年 0.5 °C 的速度升高(图 5),降水减少气温升高使气候暖干化严重,地表蒸散发过程加快,间接导致草地面积减少,草地生产力下降^[23-24]。

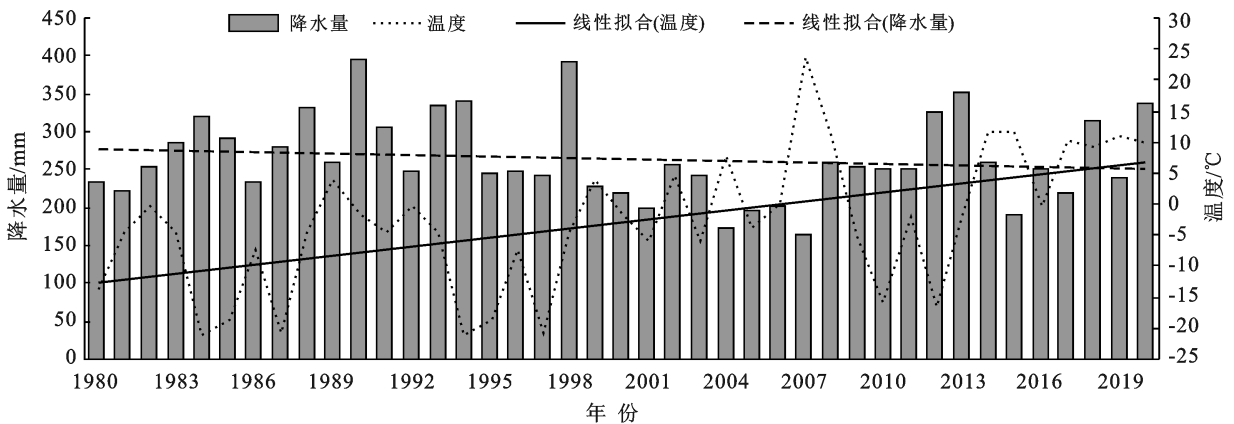


图 5 1980—2020 年克鲁伦河流域气温和降水的年际变化和趋势

由图 6 可以看出,在海拔小于 600 m 的地方,草地分布仅占 4%,该海拔范围内以呼伦湖占地最广,因此草地分布较少。当海拔在 600 m 至 1 200 m 范围内时,草地面积分布达到最大,达 443 km²。当海拔超过 1 200 m 后,草地分布越来越稀疏,海拔与草地分布面积呈负相关。

3.3.2 人文因素 根据世界银行的统计数据对中蒙人口进行分析,发现两侧人口均呈现出增长趋势。1980 年蒙古国总人口仅 1.69×10^6 人,2019 年增长至 3.23×10^6 人,40 a 时间,人口增长近一倍。随着人

口增加,蒙古国现有的与人类相关的土地利用不能满足人们的生活需求,因此人工表面及耕地的扩张成为一种必然趋势。由图 3 可以看出,在 2000—2010 年耕地和人工表面侵占草地面积与其他时期相比较为明显,可知在该时间段内人口增长较为剧烈。因为中国面积广大,而克鲁伦河流域流经中国的面积较小,遂采用内蒙古自治区的人口数据与蒙古国人口数据做对比。1980 年内蒙古自治区常住人口约 1.93×10^7 人,到 2020 年的 2.40×10^7 人,人口增长速度仅为蒙古国的三分之一,但增长人数是蒙古国的 3 倍。

因为人口增加较多,因此中国一侧草地减少受人口的影响要大于蒙古国一侧。

蒙古国在这 40 a 间经历了社会制度和经济上的双重变革,在国家调控下,经济迅速发展。经济迅猛发展,随之而来的就是对水资源的需求量加大,2007 年首次出现在汛期断流现象^[25]。断流使得呼伦湖水源补给减少、水位下降,河道以及呼伦湖附近生态环境和生物多样遭到严重破坏,但在 2000—2010 年间,中国一侧草地表现出增加趋势(图 2),从侧面反映了保护区的建立对草地起到了较强的保护和恢复作用。同时“中蒙俄经济走廊”的建立,对于蒙古国来说也是前所未有的机遇,畜牧业作为蒙古国的支柱产业需要迅速崛起,放牧量的增加也是导致草地大面积减少的原因之一。

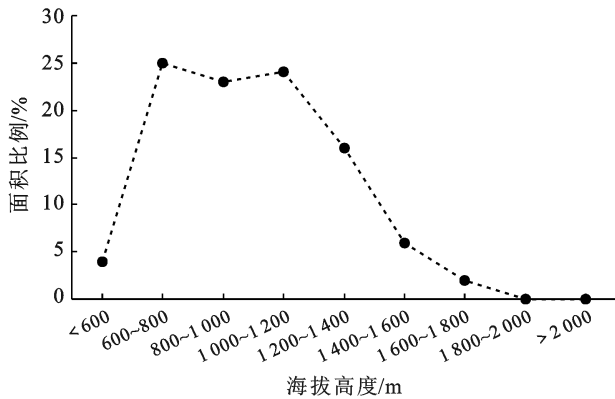


图 6 克鲁伦河地形与草地分布的关系

4 讨论与结论

4.1 讨论

天然草地具有丰富的生物多样性,承载着许多该生态系统特有的物种,其中许多动物正面临灭绝的威胁。相较于林地,草地在碳储存中的作用常常被忽视,但它包含了世界土壤碳储存的 30%^[26-27]。此外,天然和稀疏放牧的草原含有“不可回收的碳”^[28],易受土地利用转换的影响,这些碳一旦失去,就无法在短时间内恢复。同时,干旱半干旱区草地也被证明其在防治水土流失和水资源保护方面的效果比林地更甚,但对草地的政策保护仍逊色于林地,基于这一现实,如果要对草原进行可持续性评价和管理^[29],首要意义应是认识到草原作为多种生态系统服务提供者和生物多样性热点的价值^[30],再制定保护可持续管理的目标。

中蒙两国政府都已认识到生态环境保护方面的重要性,对此采取了积极的措施来保护草地^[31-33]。1992 年,根据《蒙古宪法》规定,牧场收归国有,牧民需在政府部门的监督和管理下在牧场放牧;1995 年,

由于草原问题愈发严峻,制定并通过了《自然环境保护法》,但环境保护并没有引起大家的重视,仍致力于大力发展经济,因此在 1990—2000 年草地退化严重;2002 年土地法允许牧民在草场进行春冬营牧,由于所有权划分不明确,草原没有得到预期保护效果。2008 年《土地无偿私有化法》将草场划分到个人,大大调动了牧民保护草原的积极性,因此在 2000—2010 年蒙古国一侧草地减小趋势得到大幅度改善,但过度放牧问题仍然突出。2015 年该国议会认为应该根据牧场的承载能力和生态评估来调整胜出的数量、种类和结构,以此来实现合理利用、保护和恢复草场的目的,使草地恶化进一步减缓。当然,草地动态度的不断减小,也表明蒙古国境内保护区的建立对草地保护确实起到了一定的积极作用。

20 世纪 80 年代“家庭责任”制度在中国一侧实施,将牧区划分到个人,大大提高了对草原的利用率;1985 年为了保护、建设和合理利用草原,改善生态环境,维护生物多样性,全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过《中华人民共和国草原法》并于该年 10 月 1 日起实施。中国大力实施天然林保护、退耕还林还草、三北防护林体系建设、沙化土地封禁保护补助试点建设、全国防沙治沙综合示范区等重点生态修复工程,在一定程度上遏制了草地退化愈发严重的趋势。由图 2 可以看出,中国一侧草地转化为耕地和人工表面的速度明显下降,且部分裸土地转化为草地,这些都表明中国一侧生态状况正在逐渐好转。目前,国务院办公厅又发布关于加强草原保护修复的若干意见,目标到 2025 年,草原综合植被盖度稳定在 57% 左右,我国草原生态状况将持续得到改善。

4.2 结论

本研究基于长时间序列遥感数据探讨克鲁伦河流域草地分布、动态及其驱动因素,主要结论如下:①2020 年克鲁伦河流域草地面积为 1.15×10^5 km², 占总面积的 88.58%。其中蒙古国一侧草地面积广大,占研究区草地面积的 87.03%。②1980—2020 年克鲁伦河流域草地共减少 486 km²,其中中国一侧草地增加 130 km²,蒙古国一侧草地退化相对严重,共减少 616 km²。③近 40 a 间,中蒙两侧草地均一定程度地向耕地、人工表面和林地转化。其中蒙古国一侧草地转为裸土地是蒙古国一侧草地减少的主要原因,中国一侧草地则受人类活动的影响较大。④草地质心指示克鲁伦河流域草地向东北方向移动 1.6 km,主要是由于克鲁伦河中游及下游草地退化严重导致的。本研究综合分析了草地在克鲁伦河流域中的分布、变化及其原因,对草地生态系统的可持续管理、流

域生物多样性的保护、干旱半干旱地区碳储量的定量研究以及全球草地对人类活动和气候变化的动态响应研究具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 耿元波,董云社,齐玉春.草地生态系统碳循环研究评述[J].地理科学进展,2004,23(3):74-81.
- [2] 白永飞,赵玉金,王扬,等.中国北方草地生态系统服务评估和功能区分助力生态安全屏障建设[J].中国科学院院刊,2020,35(6):675-689.
- [3] 潘庆民,薛建国,陶金,等.中国北方草原退化现状与恢复技术[J].科学通报,2018,63(17):1642-1650.
- [4] Gang Chengcheng, Zhou Wei, Chen Yizhao, et al. Quantitative assessment of the contributions of climate change and human activities on global grassland degradation [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014,72(11):4273-4282.
- [5] Gibbs H K, Salmon J M. Mapping the world's degraded lands [J]. *Applied Geography*, 2015,57:12-21.
- [6] Xu Dandan, Guo Xulin. Evaluating the impacts of nearly 30 years of conservation on grassland ecosystem using Landsat TM images [J]. *Grassland Science*, 2015,61(4):227-242.
- [7] Zhou Qiang, Rover J, Brown J, et al. Monitoring landscape dynamics in Central US grasslands with harmonized landsat-8 and sentinel-2 time series data [J]. *Remote Sensing*, 2019,11(3):328.
- [8] Fassnacht F E, Li Li, Fritz A. Mapping degraded grassland on the Eastern Tibetan Plateau with multi-temporal Landsat 8 data: Where do the severely degraded areas occur? [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015,42:115-127.
- [9] 乐荣武,张娜,王晶杰,等.2000—2019年内蒙古草地上生物量的时空变化特征[J].中国科学院大学学报,2022,39(1):21-33.
- [10] 满卫东,李春景,王宗明,等.基于面向对象分类方法的乌苏里江流域中俄跨境区域湿地景观动态研究[J].遥感技术与应用,2016,31(2):378-387.
- [11] 康乾坤,于皓,王宗明,等.1990—2015年乌苏里江流域土地覆被变化[J].水土保持通报,2020,40(4):312-320.
- [12] 焉恒琦,毛德华,朱卫红,等.鸭绿江河口湿地近40年景观格局变化:中朝对比[J].生态学杂志,2021,40(9):2883-2894.
- [13] 邢苒苒,王文华,邢子丰,等.克鲁伦河流域水文特性分析[J].内蒙古水利,2011(1):49-50.
- [14] 乌云娜,许田,山丹.蒙古国克鲁伦河流域土地利用与土地覆盖现状分析[J].大连民族学院学报,2008,10(1):10-12.
- [15] 乌云娜,张凤杰,冉春秋.近50年蒙古高原东部克鲁伦河流域气候变化分析[J].大连民族学院学报,2009,11(3):193-195.
- [16] Wang Zongming, Mao Dehua, Li Lin, et al. Quantifying changes in multiple ecosystem services during 1992—2012 in the Sanjiang Plain of China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015,514:119-130.
- [17] Mao Dehua, Wang Zongming, Du Baojia, et al. National wetland mapping in China: A new product resulting from object-based and hierarchical classification of Landsat 8 OLI images [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020,164:11-25.
- [18] 王猛,张新长,王家耀,等.结合随机森林面向对象的森林资源分类[J].测绘学报,2020,49(2):235-244.
- [19] 满卫东,刘明月,王宗明,等.1990—2015年东北地区草地变化遥感监测研究[J].中国环境科学,2020,40(5):2246-2253.
- [20] 张国坤,邓伟,张洪岩,等.新开河流域土地利用格局变化图谱分析[J].地理学报,2010,65(9):1111-1120.
- [21] 于皓,张柏,王宗明,等.1990—2015年韩国土地覆被变化及其驱动因素[J].地理科学,2017,37(11):1755-1763.
- [22] 张腾,常军,马宇,等.山东渤海滨海湿地演变特征及其与人类活动相关性研究[J].世界地理研究,2022,31(2):329-337.
- [23] 牛建明.气候变化对内蒙古草原分布和生产力影响的预测研究[J].草地学报,2001,9(4):277-282.
- [24] 季劲钧,黄玫,刘青.气候变化对中国中纬度半干旱草原生产力影响机理的模拟研究[J].气象学报,2005,63(3):257-266.
- [25] 王伟.浅析克鲁伦河汛期断流的原因[J].内蒙古水利,2009(1):35-37.
- [26] Wu Gaolin, Liu Yifan, Cui Zeng, et al. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2020,57(5):875-885.
- [27] Chang J, Ciais P, Gasser T, et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands [J]. *Nature Communications*, 2021,12:118.
- [28] Goldstein A, Turner W R, Spawn S A, et al. Protecting irrecoverable carbon in earth's ecosystems [J]. *Nature Climate Change*, 2020,10(4):287-295.
- [29] Zhao Yuanyuan, Liu Zhifeng, Wu Jianguo. Grassland ecosystem services: A systematic review of research advances and future directions [J]. *Landscape Ecology*, 2020,35(4):793-814.
- [30] Bardgett R D, Bullock J M, Lavorel S, et al. Combating global grassland degradation [J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021,2(10):720-735.
- [31] 娜仁.蒙古国草原畜牧业发展问题研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古大学,2008.
- [32] 刘清.中蒙跨境地区近20年土地覆被格局与变化分析[D].江西南昌:江西农业大学,2016.
- [33] 姜康.中蒙边境草原带气候变化及其主要影响因子[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古师范大学,2020.