

基于土地利用的北方农牧交错带生境质量研究

刘孟竹^{1,2}, 张红娟^{1,2}, 王彦芳³, 裴宏伟^{1,2}

(1.河北建筑工程学院 市政与环境工程系, 河北 张家口 075000;

2.河北省水质工程与水资源综合利用重点实验室, 河北 张家口 075000; 3.河北地质大学, 石家庄 050031)

摘 要: 明晰生态脆弱区生境变化及其驱动因素, 对区域内生态建设和可持续发展具有切实意义。以中国北方农牧交错带为研究对象, 基于该区 2000 年、2010 年、2018 年土地利用数据, 通过土地动态度、转移矩阵等指标并结合 InVEST 模型分析了研究区退耕还林还草以来土地利用演变特征及其视角下的生境质量变化。结果表明: (1) 2000—2018 年中国北方农牧交错带土地利用类型以草地、耕地、林地为主, 面积合计逾 43 万 km², 占比超过 90%; 区内林地、建设用地显著扩张, 草地与耕地有明显减少趋势。 (2) “高”与“较高”等级的生境质量区域占据研究区 48%, “较低”和“较高”等级的生境质量区域面积最大, 多年来两者占比均保持在 32%~35%。 (3) 2000—2018 年, 中国北方农牧交错带的退耕还林还草区域生境质量进化区域面积超过 7 000 km², 退化区域未超过 1 200 km²。近 20 年来北方农牧交错带整体生境质量偏高, 整体呈现“南高北低”的分布, 退耕还林还草政策是促使该区生境质量转好的主要原因之一。

关键词: 生境质量; 土地利用; 北方农牧交错带; InVEST 模型; 退耕还林还草

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)03-0156-07

Characteristics of Habitat Quality in the Agro-pastoral Ecotone of Northern China Based on Land Uses

LIU Mengzhu^{1,2}, ZHANG Hongjuan^{1,2}, WANG Yanfang³, PEI Hongwei^{1,2}

(1. Department of Municipal and Environmental Engineering, Hebei University of Architecture,

Zhangjiakou, Hebei 075000, China; 2. Hebei Key Laboratory of Water Quality Engineering and Comprehensive

Utilization of Water Resources, Zhangjiakou, Hebei 075000, China; 3. Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Understanding the spatiotemporal changes of habitat quality and its concrete driving factors accurately could help generate a scientific basis for local regional ecological construction and sustainable development, especially in ecologically fragile areas. Taking the agro-pastoral ecotone of northern China as study site, we analyzed the characteristics of land use change and habitat quality evolution by using dynamic degree, transfer matrix and InVEST model under the perspective of land use through the land use data of the study area in 2000, 2010 and 2018. The results indicated that: (1) from 2000 to 2018, grassland, cultivated land and forestland still served as the main land use types of the northern agro-pastoral ecotone, covering an area of more than 4.3×10^5 km², accounting for 90%, among which forestland and construction land had expanded significantly, and grassland and cultivated land were accordingly opposite; (2) the total area of higher and above level habitat quality overspreaded 48% of the study area, meanwhile the proportion of lower and higher level habitat quality tended to be nearly similar, both floating at 32%~35% during the past two decades; (3) during the period of study, more than 7 300 km² of the area of habitat quality tended to be better under the drivers of returning farmland to forest and grassland, yet the area of degradation reached less 1 200 km². In summary, for the recent two decades, the habitat quality of the northern agro-pastoral ecotone was relatively higher as a whole, exhibiting a distribution state of ‘south high, north low’. The policy of returning farmland to forest and grassland could be considered as one of the main reasons for the improvement of the habitat quality in the northern agro-pastoral ecotone.

收稿日期: 2020-05-08

修回日期: 2020-06-24

资助项目: 国家自然科学基金“北方农牧交错带典型菜园蒸散及水盐运移过程研究”(41701017); 河北省科技厅重点研发计划项目(18397002D); 河北省教育厅青年拔尖人才项目(BJ2018027); 河北省科技厅高水平人才团队建设项目(199A4201H); 张家口市科技局人才专项(201903Y)

第一作者: 刘孟竹(1994—), 男, 湖北省荆州市人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学研究。E-mail: protectzhuzhu@163.com

通信作者: 裴宏伟(1987—), 男, 河北省张家口市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事流域生态水文和城市生态学研究。E-mail: hwpei@sjziam.ac.cn

Keywords: habitat quality; land use; agro-pastoral ecotone of northern China; InVEST model; returning farmland to forest and grassland

生境质量作为一项关系到人类福祉的重要生态服务服务^[1],反映了生态系统可提供给系统内物种个体、群落及人类等生存和延续所需的自然资源的质量,同时也是生态系统是否适于人类生存的重要指标^[2]。近代以来,由于人类社会追求经济快速发展而展开对自然资源的过度掠夺,进而导致全球变暖、环境污染等一系列全球性问题日益凸显,致使全世界超过60%的生态系统出现退化^[3]。在此背景下,以生境质量为代表的生态系统服务的研究已经成为当前国际生态领域相关研究的重要内容^[4]。而对生境质量影响最大的主要因素为生态系统内的土地利用变化^[5],其余生态服务功能的改变也可归因于此^[6]。土地利用变化引发生态系统结构与格局的改变,进而影响着生境要素、生境区域之间的物质能量循环^[7]。因此,基于土地利用变化视角研判区域内的生境质量演化规律已成为国内外相关学者关注的热点研究领域。如包玉斌等探讨了陕西省黄河湿地保护区内土地利用变化对生境质量的影响,结果认为该区生境退化与城镇化扩张及湿地萎缩密不可分^[8];Leh等^[9]以土地利用数据为源数据分析了非洲西部包括生境质量在内的各项生态系统服务;Mushet等^[10]分析了美国中部平原地区各种土地利用类型的生境特征。综上所述,土地利用对国内外学者开展生境质量相关研究的地位举足轻重。

早期的研究侧重于对地区、流域等小范围区域内动植物的调查来获得研究区内的生境质量参数,通过主成分分析、层次分析或专家打分等方法对各参数权重比较进而构建该区生态质量的评价体系^[11]。而如今随着3S技术的兴起,研究范式更倾向于借助生态模型对生境质量进行的定量化的时空变化特征分析^[12],如HSI模型、ARIES模型、InVEST模型等均是应用较为广泛的生态模型。其中,InVEST模型以其理论发展成熟、输入变量少且易获取、能便捷评价区域生境质量等优点而受到广泛应用^[13]。

我国北方农牧交错带处于半干旱向半湿润过渡区,生态环境极为脆弱^[14],易受到土地利用变化的影响^[15]。自退耕还林(草)政策实施以来,该区长期奉行“重农轻牧”,“重生产轻生态”等理念^[16],产业结构严重失衡、超载放牧以及水资源无序超采等造成该区草场退化、土地沙化、水土流失等现象极为严重^[17],该区土地利用格局发生了显著改变,包括生境质量在内的各种生态系统服务功能发生了明显退化。北方

农牧交错带实际蕴藏着可观的生态开发能力^[18],同时也是中东部地区的生态屏障和京津冀地区重要的水源涵养地^[19],其生态意义和区位重要性不言而喻。目前,针对整个农牧交错带地区的生境质量等生态服务的研究鲜有报道。本文通过InVEST模型分析北方农牧交错带2000—2018年以来土地利用变化视角下生境质量的时空变化特征,定量探讨退耕还林还草政策对该区生境质量转变的具体影响,旨在为生态脆弱区生态系统服务评估的完善以及生态可持续性发展提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

我国学者对北方农牧交错带的范围划分一直标准各异。本文参考中国农业农村部于2017年发布的《农业部关于北方农牧交错带农业结构调整的指导意见》,该指导意见中详细划分的重要区域共涉及宁夏、甘肃、内蒙古、陕西、山西、河北、辽宁在内7省的146个县市。本文中划定的北方农牧交错带总面积约为 $4.7 \times 10^5 \text{ km}^2$,海拔27~3 061 m。该区年均气温在2~8℃,近30 a来年均增温0.32℃/10 a,明显高于全国和全球增长率;年均降雨量在300~450 mm,降水极不稳定^[20]。该区地貌单元主要以高原、丘陵结合为主,部分区域地貌为平原、沙地、山地^[9]。该区多年来存在过度开垦、超载过牧现象,导致生态环境退化,动植物数量和种类不断减少,甚至出现过严重的荒漠化现象^[21]。目前研究区已施行的国家政策主要有“三北防护林”、“自然保护区建设”、“退耕还林(草)”。

1.2 数据来源

本研究所用的土地数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,其均由Landsat卫星影像目视解译制成,分辨率为30 m。时间选取了2000年、2010年、2018年共计3期。数据经过人工检验,数据精度在85%以上,能满足本文研究需要。土地利用分类根据《土地利用现状分类》标准并参考北方农牧交错带地区的实际情况将其分为6类:耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地。由于研究区过大,经测试现有的计算机在InVEST模型中运行栅格单元为30 m×30 m的数据较为困难,故选择适合于离散数据重采样的最邻近法,在GIS软件中通过Resample工具对InVEST模型所需的空間数据的栅格单元均重采样至90×90 m。危险源中的城镇、交通、村

落等数据均从同期土地利用数据中进行重分类获得对应地类的二值图数据。

1.3 研究方法

1.3.1 单一土地动态度 土地利用动态度能定量反映出土地变化的速度,其中单一土地利用动态度侧重研究期内某种土地利用类型数量的年变化率,综合土地利用动态度则是对研究区内土地利用整体变化情况的刻画。为深入细化分析多年来坝上地区土地利用的变化情况,本文选择土地利用动态度这一指标,其公式参考文献^[22]如下:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(1)

式中: K 表示研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期和研究末期某种土地利用类型的数量; T 为研究时长。

1.3.2 不同生境质量等级的土地转移矩阵 不同生境质量等级的土地转移矩阵反映了研究区在研究初期和研究末期不同等级生境质量等级相应的区域互相转化的动态信息,不仅可以定量地表明不同等级生境质量等级之间的土地转化情况,还可以间接反映其转移速率。转移矩阵表达式参考文献^[23]如下:

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

(2)

式中: S 为面积; n 为转移前后生境质量的等级数; i 、 j ($i, j=1, 2, 3, \cdots, n$) 分别表示转移前后的生境质量的等级; S_{ij} 表示转移前的 i 等级生境质量土地转移成 j 等级生境质量土地的面积。

1.3.3 InVEST 模型生境质量评估 本文选择由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发的生态系统服务评估工具模型 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Model)模型生境模块来计算生境质量以及生境退化度。生境退化指数反映单元栅格受胁迫程度的大小,值越高代表受胁迫程度最大,生境退化程度越高,其公式^[24]如下:

$$D_{xj}=\sum_{r=1}^R\sum_{y=1}^{Y_r}\left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^Rw_r}\right)r_yi_{rxy}B_xS_{jr}$$

(3)

$$i_{rxy}=1-\left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}}\right)$$

(4)

$$i_{rxy}=\exp\left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{rmax}}\right)$$

(5)

式中: D_{xj} 为土地利用类型 j 中 x 栅格的生境退化度; R 为威胁源个数; w_r 为危险源权重; Y_r 为威胁源的栅

格数; r_y 为栅格 y 的胁迫指; i_{rxy} 为栅格 y 的胁迫值 r_y 对栅格 x 的胁迫水平; B_x 为危险源对栅格 x 的可达性; S_{jr} 为土地利用类型 j 对危险源 r 的敏感度; d_{xy} 为栅格 x 到栅格 y 的直线距离; d_{rmax} 为危险源 r 的最大胁迫距离。

生境质量指数反映在胁迫条件下生境质量的优劣,其值在 0~1。值越高代表区域生物多样性越丰富,生境质量越好;反之则生境质量越差,易受破坏,计算公式参考文献^[25]如下:

$$Q_{xj}=H_j\left[1-\left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z+k^z}\right)\right]$$

(6)

式中: Q_{xj} 为土地利用类型 j 中 x 栅格的生境质量指数; H_j 为土地利用类型 j 的生境适宜度; k 为半饱和常数,取 D_{xj} 最大值的一半; z 为归一化常量,通常取 2.5。

根据模型要求,并参考以往类似地区的研究以及研究区实际情况,自然环境对于外来胁迫敏感性程度大,人工环境受胁迫影响最弱,因此,本文将林、草地及水域定义为提供生境质量的地类,将耕地、村落、城镇用地、交通用地设为威胁源^[2,5]。各个威胁因子最大距离、权重、衰退类型参考本研究区内已有的研究^[8],各个地类生境适宜度、对威胁因子敏感度的设定,参考同地区研究^[8,26],以及专家的建议确定各项参数值,详见表 1、表 2。

表 1 研究区威胁源参数

威胁源	最大影响距离	权重	衰退类型
耕地	4	0.6	线性
村落	8	0.8	指数
城镇	6	1	指数
交通	3	0.6	线性

表 2 研究区土地利用类型生境适宜度及对威胁因子敏感系数

土地利用类型		生境	敏感系数			
一级地类	二级地类	适宜度	耕地	村落	城镇	交通
耕地	水田	0.50	0.30	0.80	0.50	0.40
	旱地	0.30	0.30	0.70	0.50	0.60
林地	有林地	1.00	0.70	0.80	0.80	0.65
	灌木林	1.00	0.60	0.65	0.70	0.60
	疏林地	0.80	0.60	0.60	0.60	0.50
	其他林地	1.00	0.80	0.85	0.85	0.70
草地	高覆盖度草地	0.80	0.50	0.55	0.60	0.35
	中覆盖度草地	0.70	0.55	0.60	0.65	0.40
	低覆盖度草地	0.60	0.50	0.50	0.60	0.30
水域	河流	0.90	0.30	0.65	0.75	0.60
	水库坑塘	0.70	0.50	0.50	0.80	0.60
建设用地	城镇用地	0	0	0	0	0
	农村居民点	0	0	0	0	0
	其他建设用地	0	0	0	0	0
未利用地	沙地/裸岩	0	0	0	0	0

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

三期土地利用图经 ArcMap 软件统计所得结果见图 1。可知,2000—2018 年期间,北方农牧交错带土地利用类型以耕地,林地和草地为主,三者面积共计超过 $4.3\times 10^5\text{ km}^2$,近占比超过 91.83%。面积最大的是草地,2000 年时面积最大,超过研究区的 40.00%;面积最小的为水域,多年面积占比均在 1.50% 左右。从变化趋势来看,近 20 a 来北方农牧交错带土地利用类型处于减少趋势的为耕地、草地和未利用地,减少面积分别为 $5\,852.58\text{ km}^2$, $6\,488.41\text{ km}^2$, 557.59 km^2 ;林地、水域和建设用则处于增加态势,增加面积分别为 $6\,972.62\text{ km}^2$, 173.45 km^2 , $5\,781.54\text{ km}^2$ 。

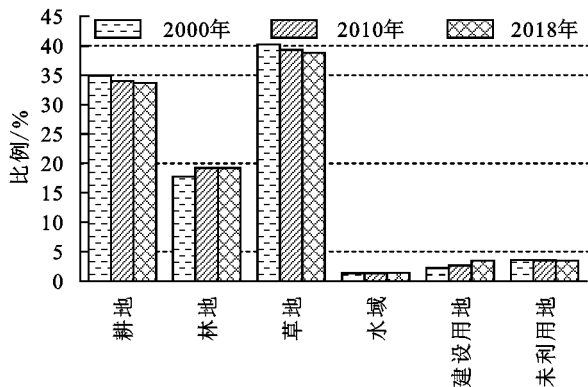


图 1 研究区 2000—2018 年各地类面积占比

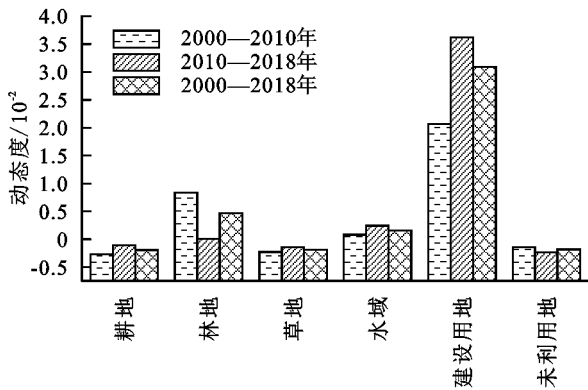


图 2 研究区 2000—2018 年单一土地动态度

从变化速度来看,图 2 中建设用地无论是整个研究期还是分阶段来看,其相对变化程度都非常剧烈,动态度均高达 0.02 以上,其次是林地,在 2000—2010 年期间,动态度值为 0.83×10^{-2} ,上升趋势较为急剧,但在 2010—2018 年期间则变化极为缓和。耕地和草地的变化趋势较为相似,两者动态度在各阶段均较为相近。总体来看,水域、建设用地和未利用地在前一时期变化程度均不如后一时期剧烈,尤其表现在耕地、林地、草地的变化显著发生于 2000—2010 年时期,三者作为研究区主要的土地利用类型,对该区的土地利用整体的变化特征的解释最具代表性。可以认为,自退耕还林(草)政策实施以来,北方农牧交错带地区取得了一定成效,最大成效期发生在 2000—2010 年,主要表现在“还林”部分,而“还草”的效果并未达到预期。经分析,北方农牧交错带区域多年来因气候条件恶劣及人为因素干扰,该区草地退化严重并被建设用地大面积占用,导致草地多年来萎缩明显,“还草”起到的更多是对草地减少的抑制效果。

2.2 生境质量变化分析

经 InVEST 模型运行所得 2000—2018 年北方农牧交错带生境质量指数 HQI(Habitat Quality Index)见图 3,相应的面积统计见表 3。在 ArcMap 软件中根据平均间隔进行分区,得到生境质量低级区($0\leq\text{HQI}<0.2$),较低级区($0.2\leq\text{HQI}<0.4$),中级区($0.4\leq\text{HQI}<0.6$),较高级区($0.6\leq\text{HQI}<0.8$),高级区($0.8\leq\text{HQI}<1.0$)。

表 3 研究区各生境质量等级面积及比例

生境质量等级	2000 年		2010 年		2018 年	
	面积/ km^2	比例/%	面积/ km^2	比例/%	面积/ km^2	比例/%
低	31309.27	6.67	36208.93	7.71	36208.93	7.71
较低	161259.04	34.34	156734.16	33.37	156734.16	33.37
中等	48464.39	10.32	45448.56	9.68	45532.29	9.70
较高	155794.95	33.17	150367.40	32.02	150332.35	32.01
高	72811.65	15.50	80880.26	17.22	80831.58	17.21

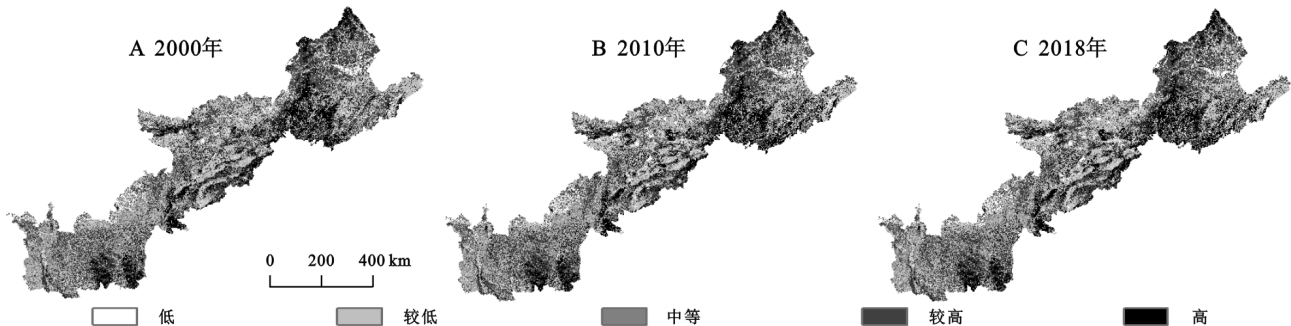


图 3 研究区 2000—2018 年生境质量变化

由表 3 可知,2000—2018 年北方农牧交错带地区生境质量水平以较低等级和较高等级生境质量为

主,总面积超过 307 066.51 km²,多年来占比均在 32%~35%,呈现两级分化状态。生境质量较低及以下等级区域占比超过 40%,生境质量较高及以下等级区域占据研究区近一半,超过 48%。中等级质量区域最高为 48 464.39 km²,最低时占比为 9.68%。研究区低等级生境质量区域面积最少,生境质量数值区间主要集中在 0.2~1.0。从整个研究区变化情况来看,2000—2010 年生境质量变化最为显著,主要变现为低等级、高等级生境质量区的扩张,相应面积分别为 4 899.66 km²,8 068.61 km²;同时较低、中等、较高等级生境质量区不同程度下降,分别减少了 0.97, 0.64,1.15 个百分点。

研究区在 2010—2018 年生境质量变化不够明显,生境质量较低以下等级区域基本没有发生变化,中等及以上等级区变化程度非常微小。该现象经分析,原因有二,其一为基于土地利用视角的生境质量变化中,当土地利用变化不明显时,生境质量变化亦然;其二乃生境质量等级的分区间偏大造成未分区前生境质量具体数值的变化值也集中在生境质量等级未发生变化的区间中。由图 3 可知,研究期间生境质量较高区域主要在陕西南部、山西南部、河北东南部及辽宁西南部地区,较低区主要在陕西北部、内蒙古中部及河北西北部。整体来看,2000—2018 年北方农牧交错带整体生境质量处于“南高北低”的分布状态,

2.3 生境质量数量转移分析

通过 ENVI 软件对北方农牧交错带 2000 年和 2018 年生境质量图谱进行变化检测后所得统计数据见表 4。可知,2000—2018 年期间,研究区生境质量区域变化较大的主要发生在较低级到较高级、高级到较高级、较高级到较低级生境质量区域的转移,转入面积均在 6 800~7 200 km²。其次为高级和低级到较低等级的土地转入,相应面积均接近 4 000~4 800 km²。较高层级到较低层级生境质量的土地互相转入的程度大抵相等,约在 6 900 km² 左右;研究区转入较低等级生境质量的土地面积最大,总额近 14 000 km²,而转入高等级质量生境的面积也高达 13 000 km²,两者比较下,生境的退化影响略高于进化。

研究期间,中等级别生境质量区域退化程度大于进化程度,其向低级及较低等级转入面积共计 3 376 km²,而转入较高及以上区域面积仅为 1 723 km²,差值约为 1 652 km²。较低及以下等级生境质量区域转为较高及以上等级区域为 11 219.90 km²,略微低于对应的逆向转化的总面积 12 931.44 km²,尽管生

境质量进化区域低于退化区域 1 171.54 km²,但结合表 4 中较高及高等级生境质量区域退化成较低及低等级生境的面积来看,其远低于较低及以下层级向较高以上层级生境区域的转化,退化程度低于进化程度。可以认为,北方农牧交错带区域在 2000—2018 年期间生境质量在整体上趋于更优。

表 4 研究区 2000—2018 年不同生境质量等级区

		土地转移矩阵				km ²
年份	生境质量	2000 年				
	等级	低	较低	中等	较高	高
2018 年	低	26959.19	4822.51	1574.22	2145.46	707.55
	较低	1726.01	142752.9	3888.29	6924.39	1442.50
	中等	969.24	2406.97	40432.53	1435.57	287.99
	较高	1026.34	6880.50	1829.96	138113.36	2482.12
	高	628.45	4396.10	739.39	7176.15	67891.49

2.4 生境质量空间转移分析

通过栅格计算器对 2018 年和 2000 年生境质量图栅格图进行相减得到图 4。可以发现北方农牧交错带 2000—2018 年生境质量显著变化区域主要在陕西、辽宁两省全境,其中陕西省是最早实施退耕还林政策的试点区之一,上述区能较明显分辨出生境质量进化区域多于退化区,两区整体生境呈现更优趋势。同时可知,土地利用变化的程度一定程度上决定了生境质量变化的水平,山西、辽宁两省在研究期间土地更迭程度较显著,辽宁省土地利用变化最剧烈。从局部来看,在河北中西部及东北部、陕西北部、内蒙古西部及东部部分区域生境质量也发生了较为显著的变化。其中内蒙古东、西部生境退化程度尤为明显,山西及河北涉及地区生境质量变化区域趋于两极化。甘肃、宁夏地区生境质量变化不够明显,除宁夏东北部有一定程度变化,两省其余区域均“偏灰”。可以发现,生境质量变化区域集中在北方农牧交错带中心核心地带,即 B,C,D,E 样区,所涉地区处于耕地与林草地交错的典型地段,且城镇化水平相比其余区域明显较高,该区局部生境质量变化与城镇化水平、农区牧区交错程度密不可分。同时从整体上看,近 20 a 来研究区生境质量变化趋向“偏白”,生境向更优态势转变。

2.5 退耕还林还草对生境质量的影响

通过提取了北方农牧交错带 2000—2018 年土地转移图中耕地转为林、草地的图层,设置该图层耕地转林、草区域的栅格值为 1,其余部分全为 0,得到了研究区退耕还林还草二值图。通过栅格计算器,将该二值图单元栅格值与 2000—2018 年研究区生境变化图单元栅格值进行相乘处理,得到结果为研究区退耕还林

区域生境质量的变化情况,具体见图5。整体上看,可明显分辨研究区整体“偏黑”,退耕还林还草下生境质量变好的栅格数明显高于变差的栅格数,经生境指数栅格数统计,2000—2018年退耕还林还草区域生境质量进化区域面积7279.37 km²,占比86%;退耕还林还草区域退化区域达到1181.60 km²,占比14%。研究区耕地转林(草)区域生境质量显著地提高。同时对比图5可知,内蒙古东北部、河北东部耕地转林草地的迹象不够明显,而辽宁、陕西、河北中东部、山西北部、内蒙古西南部退耕还林还草效果较为显著,与图4中生境质量变化区域基本吻合,说明该区内退耕还林还草政策已经取得了一定成效,生境质量有所提升。结合以上分析可以认为,退耕还林还草政策是驱动北方农牧交错带生境质量变化主要原因之一,同时可以认定,在土地利用变化中,耕地转林、草地在一定程度上会提高该变化区域的生境质量水平。

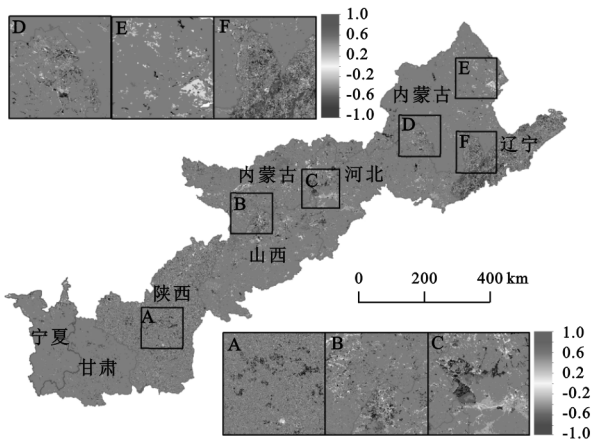


图4 研究区2000—2018年生境质量变化

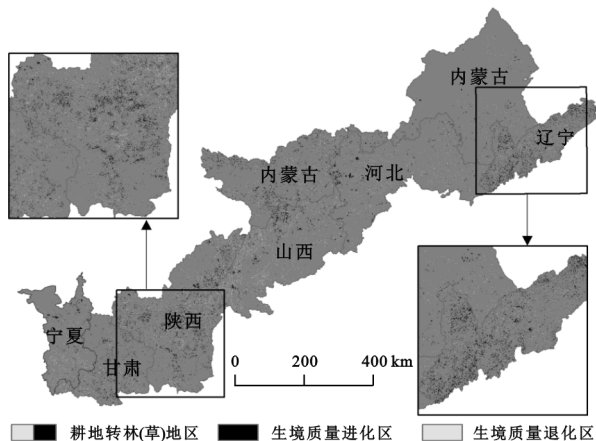


图5 研究区2000—2018年耕地转林(草)地生境质量变化

3 结论

(1) 2000—2018年北方农牧交错带土地利用类型以草地,耕地,林地为主,三者面积之和占比超过91.83%。此外,近20a来变动幅度较大的为耕地,草

地,林地,建设用地,其中耕地和草地分别减少5852.58 km²,6488.41 km²,林地和建设用地增加了6972.62 km²,5781.54 km²。变化最剧烈的为建设用地,其动态度超过0.02。退耕还林(草)政策上在研究区取得了一定成效,其主要发生于2000—2010年阶段,具体表现在耕地大幅度的下降以及林地显著的增加,但草地在研究期间下降趋势较为明显,经分析研究区处于脆弱生态区,多年来该区草地发生了一定程度的退化并被建设用地大肆占用,导致近20a来草地面积不升反降,“还草”愿景未能如期实现。

(2) 近20a来北方农牧交错带整体生境质量偏好,较高($0.6 \leq HQ < 0.8$)及高($0.8 \leq HQ < 1.0$)等级生境质量区域占据研究区近一半。较低($0.4 \leq HQ < 0.6$)等级和较高等级生境质量占比相近,多年来均保持在32%~35%,生境质量数值呈现两极化状态,分布格局趋于“南高北低”,陕西、山西、河北、辽宁南部地区生境质量普遍较高。

(3) 退耕还林还草政策是主导研究区生境质量变化的主要原因之一,尤其在辽宁、陕西中部、河北中东部、山西北部变化程度明显。退耕还林还草政策促使生境质量进化、退化的面积占比分别为86%和14%,可以认为退耕还林还草对北方农牧交错带地区生境质量变好起促进作用。

参考文献:

- [1] 王雅,蒙古军,齐杨,等.基于InVEST模型的生态系统管理综述[J].生态学杂志,2015,34(12):3526-3532.
- [2] 任涵,张静静,朱文博,等.太行山洪河流域土地利用变化对生境的影响[J].地理科学进展,2018,37(12):1693-1704.
- [3] Daily G C,欧阳志云,郑华,等.保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响[J].生态学报,2013,33(3):669-685.
- [4] Sala O E, Chapin F S, Armesto J J, et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100[J]. Science, 2000, 287(5459):1770-1774.
- [5] 谢怡凡,姚顺波,邓元杰,等.延安市退耕还林(草)工程对生境质量时空格局的影响[J].中国生态农业学报,2020,28(4):575-586.
- [6] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005,309(5734):570-574.
- [7] 欧阳志云,郑华.生态系统服务的生态学机制研究进展[J].生态学报,2009,29(11):6183-6188.
- [8] 包玉斌,刘康,李婷,等.基于InVEST模型的土地利用变化对生境的影响:以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J].干旱区研究,2015,32(3):622-629.
- [9] Leh M D K, Matlock M D, Cummings E C, et al.

- Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 165: 6-18.
- [10] Mushet D M, Neau J L, Euliss N H. Modeling effects of conservation grassland losses on amphibian habitat [J]. *Biological Conservation*, 2014, 174(3): 93-100.
- [11] 王琼, 卢聪, 韩青, 等. 太子河流域生境质量及其与社会经济的关系[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(10): 2917-2925.
- [12] Häyhä T, Franzese P P, Paletto A, et al. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 14(4): 12-23.
- [13] Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 540: 63-70.
- [14] 敖登高娃, 李跃进, 兀良哈·巴雅尔. 脆弱草原带农牧交错区村域尺度土地利用结构定量分析[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 222-231.
- [15] 李旭亮, 杨礼箫, 田伟, 等. 中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 331-339.
- [16] 何立环, 董贵华, 王伟民, 等. 中国北方农牧交错带 2000—2010 年生态环境状况分析[J]. *中国环境监测*, 2014, 30(5): 63-68.
- [17] 蒋卫国, 陈云浩, 李京, 等. 中国北方农牧交错带生态环境的空间格局演变[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 871-878.
- [18] 蔡玉梅, 郭焕成. 我国北方地区后备耕地资源开发的特点、问题及对策[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 76-80.
- [19] 高廷, 王静爱, 李睿, 等. 中国北方农牧交错带土地利用变化及预测分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(10): 52-57.
- [20] 董满宇, 江源, 任斐鹏, 等. 近 50 a 来北方农牧交错带气温变化趋势及突变分析[J]. *中国沙漠*, 2010, 30(4): 926-932.
- [21] 卢远, 华瑾, 王娟. 东北农牧交错带典型区土地利用变化及其生态效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(2): 58-62.
- [22] 卢周扬帆, 许端阳, 张绪教, 等. 阿拉善干旱荒漠区土地利用变化对生态系统服务的影响[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(6): 296-302.
- [23] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. *资源科学*, 2010, 32(8): 1544-1550.
- [24] 巩杰, 马学成, 张玲玲, 等. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生境质量时空分异[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(3): 191-196.
- [25] 荣月静, 张慧, 王岩松. 基于 Logistic-CA-Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(3): 82-89.
- [26] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3457-3466.

~~~~~

(上接第 155 页)

- [18] Fung Wing, Wong James. Spatial and temporal analysis of MODIS EVI and TRMM 3B43 rainfall retrievals in Australia[C]. *Ieee. the 19 th International Conference on Geoinformatics*, 2011: 1-6.
- [19] 熊俊楠, 李伟, 刘志奇, 等. 基于 GWR 模型的青藏高原地区 TRMM 数据降尺度研究[J]. *国土资源遥感*, 2019, 31(4): 88-95.
- [20] Zhang D, Hong H, Zhang Q, et al. Attribution of the changes in annual streamflow in the Yangtze River Basin over the past 146 years[J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2015, 187(1): 323-332.
- [21] 王成新. 循环经济, 长江流域可持续发展的必由之路[J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(6): 503-508.
- [22] Brunsdon C, Fotheringham S, Charlton M. Geographically weighted local statistics applied to binary data[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2002, 2478: 38-50.
- [23] Brunsdon C, Fotheringham A S, Charlton M E. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity[J]. *Geographical Analysis*, 2010, 28(4): 281-298.
- [24] 范雪薇, 刘海隆. 天山山区 TRMM 降水数据的空间降尺度研究[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(3): 478-488.
- [25] McMillen D P. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2004, 86(2): 554-556.