

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.01.013; CSTR:32311.14.rswc.2025.01.013.

姜民, 武志平, 付建新. 1980—2020 年汾河流域耕地显性转型时空分异及其驱动力[J]. 水土保持研究, 2025, 32(1): 257-265, 284.

Jiang Min, Wu Zhiping, Fu Jianxin. Spatiotemporal differentiation and driving forces of cultivated land dominant transition in Fenhe River Basin from 1980 to 2020[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1): 257-265, 284.

1980—2020 年汾河流域耕地显性 转型时空分异及其驱动力

姜民¹, 武志平¹, 付建新^{2,3,4}

(1. 太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中 030619; 2. 太原师范学院城镇与区域发展研究所,
山西 晋中 030619; 3. 太原师范学院汾河流域地表过程与资源生态安全山西省重点实验室,
山西 晋中 030619; 4. 太原师范学院碳中和研究院, 山西 晋中 030619)

摘要: [目的] 刻画耕地利用转型变化特征, 揭示耕地转型发展规律, 为汾河流域耕地资源保护和乡村转型发展提供理论支撑和参考依据。[方法] 基于 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2020 年土地利用遥感影像数据, 利用耕地转型速度、转移矩阵和地理探测器方法, 分析了汾河流域耕地利用转型的时空分异特征, 并探测了其驱动因子。[结果] (1) 1980—2020 年, 流域内耕地面积减少 10.59 万 hm^2 , 其中, 耕地转为建设用地的面积最大, 草地是转入耕地最多的地类, 占转入总面积的 59.37%。 (2) 1980—2020 年, 汾河流域耕地利用转型速度呈波动下降趋势, 其中中游耕地减少最明显, 人地矛盾突出。 (3) 自然因子对耕地转型影响程度明显强于社会经济因子, 其中气温 q 值最大, 达 0.72。自然因子之间的交互作用对耕地转型的解释力更强。[结论] 汾河流域耕地利用转型受自然和社会经济因素共同影响, 先后经历了缓和平稳、转型加剧、矛盾尖锐和收敛平衡不同阶段, 空间集聚性特征显著, 将指导该流域耕地资源合理、有序利用。

关键词: 耕地转型; 空间转型; 地理探测; 汾河流域

中图分类号: F301.2; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)01-0257-09

Spatiotemporal differentiation and driving forces of cultivated land dominant transition in Fenhe River Basin from 1980 to 2020

Jiang Min¹, Wu Zhiping¹, Fu Jianxin^{2,3,4}

(1. School of Geographical Sciences, Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China; 2. College of Resources and Environment, Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China; 3. Shanxi Key Laboratory of Surface Processes and Resource Ecological Security in Fenhe River Basin, Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China; 4. Institute of Carbon Neutrality, Taiyuan Normal University, Jinzhong, Shanxi 030619, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to describe the characteristics of cultivated land utilization transformation, to reveal the pattern of cultivated land transformation and development, and to provide theoretical support and reference for the protection of cultivated land resources and rural transformation and development in Fenhe River Basin. [Methods] Based on the remote sensing data of land use in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2020, the spatiotemporal characteristics of land use transition in Fenhe River Basin were analyzed by using the methods of velocity, transfer matrix and geographic detector, and the driving factors were explored. [Results] (1) From 1980 to 2020, the area of cultivated land in the basin decreased by $1.059 \times 10^5 \text{ hm}^2$, among which the area of cultivated land converted into construction land was the largest, and

收稿日期: 2024-04-01

修回日期: 2024-04-25

资助项目: 山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目(2022J026, 20210141); 山西省科技战略研究专项(202204031401111); 山西省高等学校科技创新项目(2020L0505); 山西省社科联重点课题项目(SSKLZDKT2022100)

第一作者: 姜民(1998—), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要从事城市地理与城乡规划相关方面的研究。E-mail: j17603402235@163.com

通信作者: 付建新(1980—), 男, 山西大同人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事土地利用、区域发展与国土空间规划研究。E-mail: fujx@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

grassland was the land type converted into cultivated land, accounting for 59.37% of the total area. (2) From 1980 to 2020, the transformation rate of cultivated land use in Fenhe River Basin showed a fluctuating downward trend, among which the decrease of cultivated land in the middle reaches was the most obvious, and the contradiction between man and land was prominent. (3) The degree of influence of natural factors on cultivated land transformation was significantly stronger than that of social and economic factors, and the temperature q value was the largest, reaching to 0.72. The interaction between natural factors had a stronger explanatory power for cultivated land transformation. [Conclusion] Under the influence of natural and social economic factors, the transformation of cultivated land use in Fenhe River Basin had experienced different stages of smooth easing, intensified transformation, sharp contradiction and convergence balance. The spatial agglomeration features are significant, which will guide the rational and orderly utilization of cultivated land resources in the basin.

Keywords: transformation of cultivated land; spatial transformation; geographic detection; Fenhe River Basin

土地是人类生产、生活最基本的物质基础和自然载体^[1]。土地利用变化是指一个国家或地区在一段时间内土地利用情况的变化^[2]。土地利用转型作为土地利用变化研究的新途径和新切入点,最早出现在森林转型研究中^[3],之后该概念被我国学者龙花楼等引入国内^[4],与社会经济发展特点相结合的土地利用转型相关研究成果不断涌现,主要涉及土地利用转型理论模式的构建^[5]、土地利用转型的类型^[6]、土地利用转型风险评估等^[7]。合理把握土地利用转型规律与原因,对预测土地利用变化前景,调控土地利用转型政策,实现土地资源优化配置具有重要意义。

耕地作为社会经济发展最重要的关键资源环境要素,在保障我国粮食安全、促进城乡融合、维护生态安全等方面发挥着重要作用^[8]。随着农业科学技术进步、农业劳动力迁移、农业产业结构调整、城乡空间结构优化以及农业政策实施等因素影响,耕地转型在乡村土地利用转型中愈显明显。目前,学者主要从区域等^[9]尺度,通过数学模型评估^[10]和实证分析等^[11]方法,对耕地转型类别划分、转型价值测算、转型效益评估及转型机制分析等进行系统研究。耕地转型类别主要包括耕地主要功能转型^[12]和显性、隐性转型,耕地转型价值测算多见耕地转型的生态系统服务价值研究^[13],耕地转型效益评估主要关注碳排放效应^[14]、耕地适宜性评价等^[15]方面。同时耕地在转型变化过程中,耕地边际化、非农化、破碎化、弃耕撂荒和质量下降等现象和问题也越来越受到关注^[16-17]。流域作为一种特殊且独立的地理单元,既具有自身独特的自然本底属性,也具有所属行政区划单元的社会经济属性,耕地转型及其影响因素更为复杂。汾河流域耕地客观转型发生和资源型经济转型、粮食生产地位显著、生态环境保护之间如何平衡、协调,在实行最严格的耕地保护制度的背景下,如何推动耕地资源合理利用与社

会经济发展相协调,成为当前研究的重要方向。

随着汾河流域城市化和工业化进程加快,汾河流域大量耕地被城乡建设用地和工业用地侵占,耕地面积减少、土壤污染加重^[18]、耕地退化明显等问题出现。探究汾河流域耕地利用转型变化和社会经济发展相协调,是山西实现经济转型和高质量发展的关键所在。在总结前人研究的基础上,本文采用 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2020 年遥感影像数据,从耕地显性形态转型视角,分析汾河流域耕地利用转型时空特征,并对其转型的影响因子进行地理探测。该研究将进一步丰富汾河流域耕地转型研究内容,了解流域内耕地的利用现状,为耕地资源合理利用和优化配置提供科学指导,进而实现耕地资源的可持续利用与发展。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

汾河是黄河第二大支流,流域位于黄河中游地区,经纬度范围为 $110^{\circ}26'—113^{\circ}37'E$, $35^{\circ}5'—39^{\circ}14'N$, 约占山西省总面积的 25%。地势北高南低,海拔为 351~2 799 m,西侧为吕梁山,东侧为太行山和太岳山,中部为晋中盆地和临汾盆地。流域年均降水量约 500 mm,季节和年际分配不均,年均气温约 $10^{\circ}C$ ^[19],属于温带大陆性季风气候。2020 年,流域耕地面积为 $167 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全流域面积的 39.23%。本研究区范围包括 41 个县级行政单元(图 1)。

2022 年,流域常住人口为 1 524.06 万人,占全省常住人口的 43.78%,流域 GDP 为 1.12 万亿元,占全省 GDP 的 43.85%,流域第一、二、三产业产值占全省的比重分别为 35.07%,40.52%,49.40%,农业产值为 45.59 亿元,占全省第一产业产值的 33.97%,汾河流域是我国重要的粮食主产区,其耕地利用转型格局对山西省粮食安全与社会经济发展影响深远。

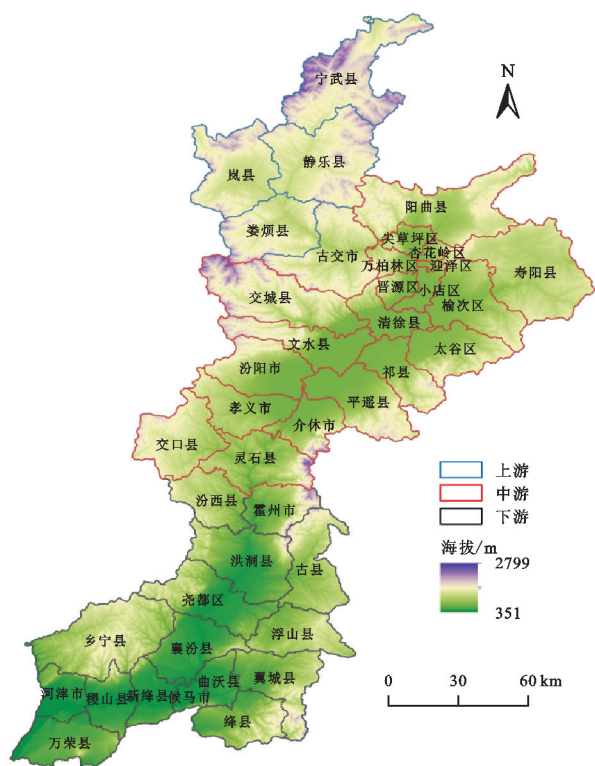


图1 研究区范围

Fig. 1 Study area range

1.2 数据来源

土地利用遥感影像数据主要信息源为美国陆地卫星 Landsat 遥感影像,通过人工目视解译构建1980年、1990年、2000年、2010年、2020年土地利用/土地覆盖专题数据库,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/DOI>),解译精度>95%。一级地类分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6类,建设用地分为城镇用地、农村居民点和其他建设用地。社会经济数据和数字高程模型(DEM)数据分别来源于《山西省统计年鉴》、地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地转型速度和转移矩阵 本文采用土地利用动态度^[20]来刻画耕地转型速度,反映特定地区某种地类数量和速度的变化。耕地利用转移矩阵^[21]表示特定地类在不同时间点的转移量,即不同土地利用类型之间的转移速率。

1.3.2 地理探测器 地理探测器^[22]是一种统计学方法,它能够探测耕地利用转型在空间上的差异性,以及这些差异背后的驱动力,包括因子探测和交互作用探测。它既可以检验单变量的空间分异性,又能探测两变量之间可能的因果关系。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (1)$$

式中: q 为影响因子; N_h 和 N 分别表示层 h ($h=1,2,\dots,L$)和研究区的样本量; σ_h^2 和 σ^2 分别表示层 h 和研究区 Y 值的方差。 q 值在 $[0,1]$, q 值越大,表示因子对耕地转型的解释力越强,反之越弱, $q=1$,表示解释力最强, $q=0$,表示因子与地理事物无关。

2 结果与分析

2.1 耕地现状及数量变化

由图2可知,2020年,汾河流域耕地面积为167.00万 hm^2 ,占总面积39.22%,主要集中在中、下游的太原盆地和临汾盆地,呈带状分布,面积分别为62.96,79.31万 hm^2 ,占总面积的比例分别为37.7%,47.5%。1980—2020年,流域内耕地面积和占比分别由177.59万 hm^2 ,41.71%降为167.00万 hm^2 ,39.22%。各时段也均表现为下降态势,2000—2010年耕地面积下降速度最快,减少了7.2883万 hm^2 ,变化幅度为-4.12%。各时段上、中、下游耕地面积均为下降趋势,其中,上游和中游地区耕地面积在2000—2010年下降最快,变化幅度分别为-2.33%和-9.16%,2010—2020年,下游地区耕地面积降低最为剧烈,变化幅度为-0.97%。

2.2 耕地利用转型速度

由表1可知,1980—2020年,汾河流域耕地利用转型速度呈波动下降趋势,其均值为-0.14%。2000—2010年,耕地减少幅度最大,转型速度为-0.37%。从不同河段看,中游地区耕地减少最明显,转型速度达-0.29%,人地矛盾突出。上中游在2000—2010年耕地变化大,下游在2010—2020年减少显著。

由图3可知,1980—2020年汾河流域县域耕地利用转型速度除万荣县、尧都区、霍州市、交口县和岚县为正值之外,其余县域耕地利用转型速度均为负值。正值区呈点状分布,负值区连片分布。其中,流域北部和东南部耕地利用转型速度为-0.09%~0%。太原市六城区和孝义市耕地利用转型速度最快,耕地面积下降最明显。

2.3 耕地时空形态分异特征

由图4—5可知,1980—2020年汾河流域耕地转为其他地类面积为22.27万 hm^2 ,其中转为建设用地的面积为15.31万 hm^2 ,占比为68.75%,其中,转为农村居民点面积占比最大,城镇用地次之,其他建设用地最小。主要集中在太原市城乡结合部,呈团块状分布,太原盆地边缘地带分布较为明显,为环状分布格局,临汾盆地分布显著,为带状分布。河津市存在工业用地占用耕地的现象。其他地类转入耕地的地类主要是草地,比例达64.83%,主要集中分布在临汾

市尧都区,为片状分布,交口县与孝义市交界处分布也较为明显,呈带状分布。水域转为耕地面积为 1.01 万 hm^2 ,占转入总面积 8.65%,主要分布汾河注入黄

河处的万荣县西部,呈条状分布。耕地转为其他建设用地面积为 3.55 万 hm^2 ,占比 23.21%,主要集中在河津市、孝义市等县市。

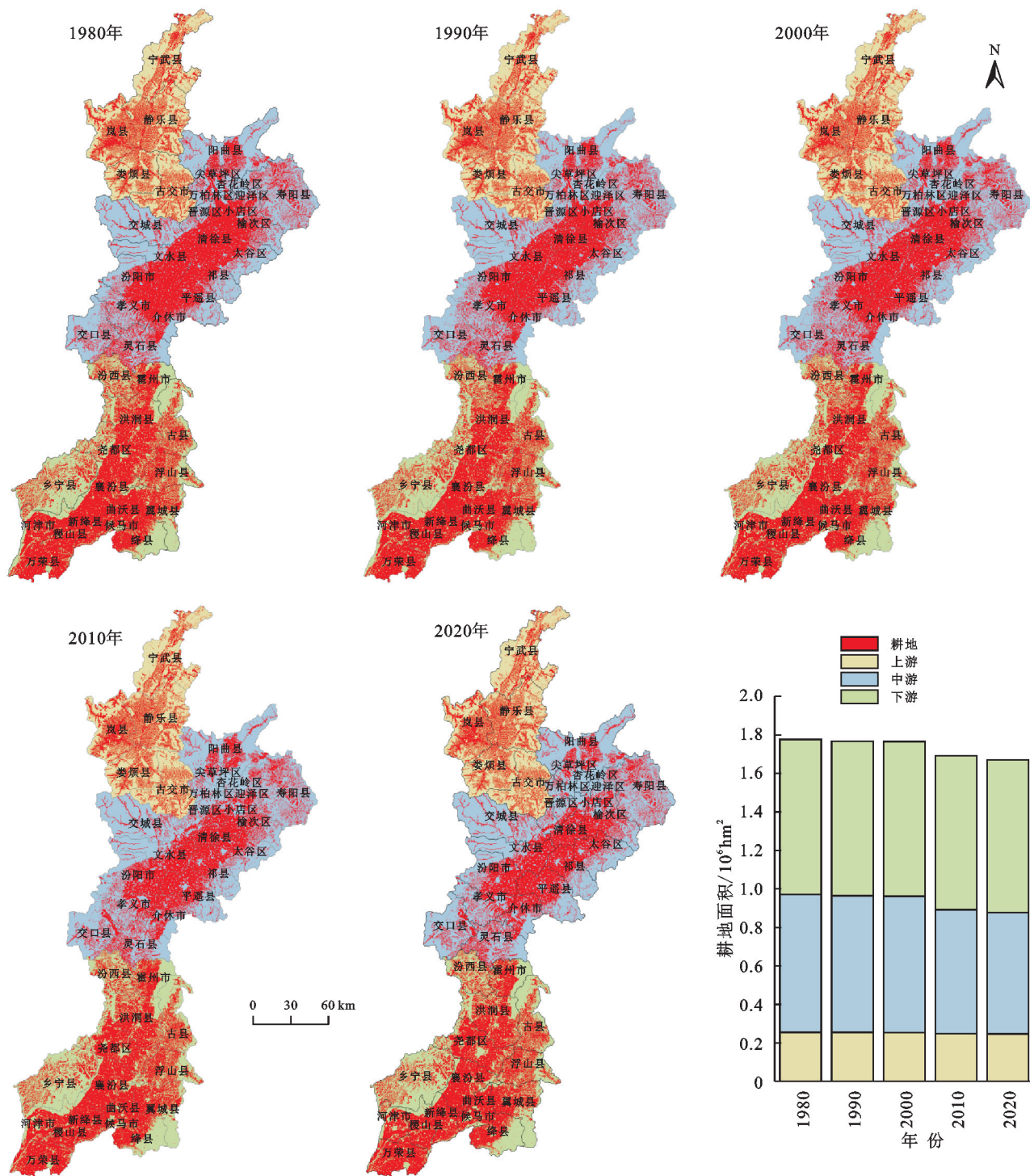


图 2 汾河流域耕地分布

Fig. 2 Distribution of cultivated land in Fenhe River Basin

以 2010 年为界,耕地转为其他地类面积呈先升后降态势,其中,1980—1990 年、1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2020 年耕地转为其他地类面积分别为 1.13 万 hm^2 、1.88 万 hm^2 、15.08 万 hm^2 、6.85 万 hm^2 。

其中,各时段耕地转为建设用地的面积也呈先升后降趋势,但耕地转为建设用地的比重呈现逐渐下降态势,其值分别为 86.79%,76.41%,70.69%,51.53%,此比重仍占主体。1980—2000 年耕地转为建设用地形态呈点状分布格局,2000—2010 年建设

用地急剧扩张,太原盆地边缘区建设用地占用耕地面积显著增加,呈环状分布,尤其在太原市城区周边扩张最为明显,由点状变为团块状分布,空间地域由尖草坪区、小店区扩张为太原市六城区。

表 1 汾河流域耕地利用转型速度

Table 1 Transformation speed of cultivated land use in Fenhe River Basin						%
年份	1980—1990	1990—2000	2000—2010	2010—2020	1980—2020	
全流域	−0.04	−0.01	−0.37	−0.12	−0.14	
上游	−0.01	−0.0005	−0.21	−0.03	−0.06	
中游	−0.08	−0.02	−0.83	−0.18	−0.29	
下游	−0.02	−0.0028	−0.02	−0.97	−0.03	

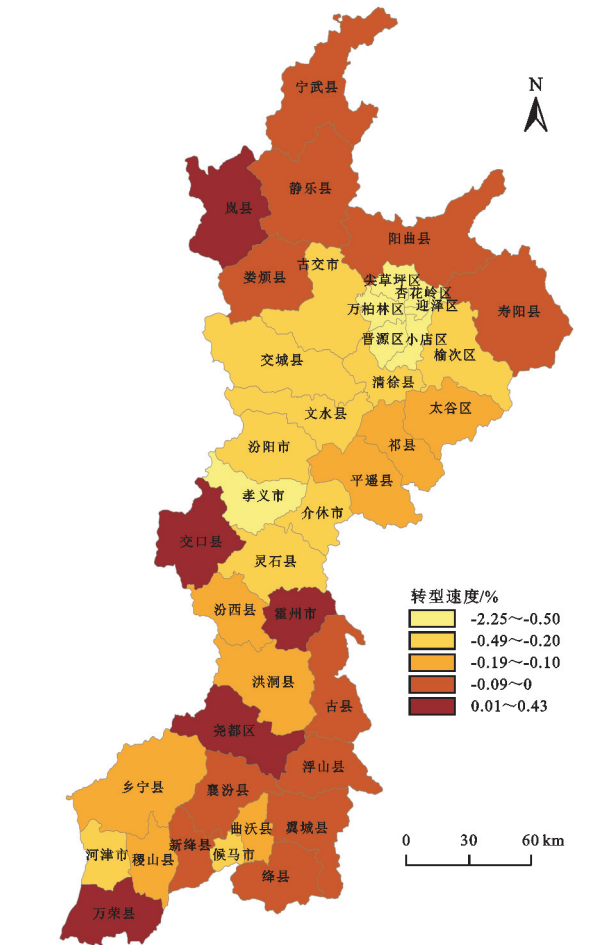
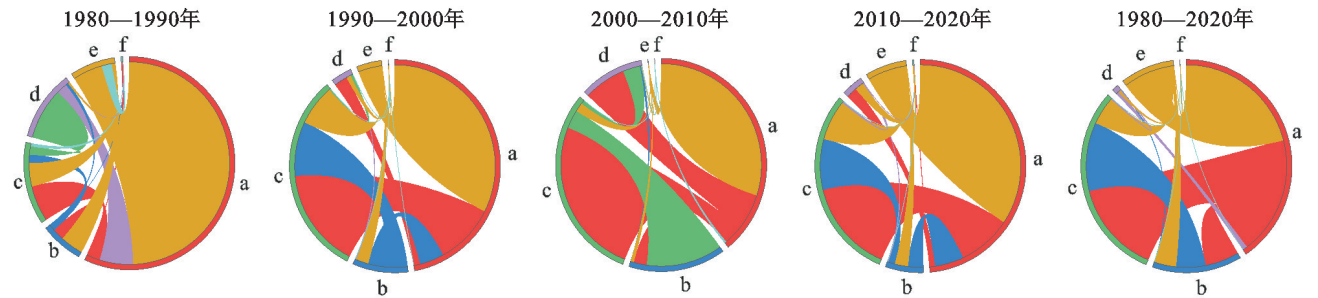


图 3 1980—2020 年县域耕地利用转型速度空间变化
Fig. 3 Spatial change of cultivated land use transformation speed in county area from 1980 to 2020

1980—2020 年耕地转为城镇用地、农村居民点用地面积先后均呈缓慢上升、急剧增加和快速下降态势,其中 1990—2000 年转为城镇用地、农村居民点用地面积仅是 1980—1990 年的 1.64 倍、2.06 倍,而 2000—2010 年转为城镇用地、农村居民点用地面积是 1990—2000 年的 3.06,12.19 倍,2010—2020 年分别迅速降为 0.29,0.31 倍。1980—2020 年城镇用地、农村居民点用地和其他建设用地转为耕地面积呈现波动上升趋势,其中 1990—2020 年农村居民点用地转为耕地面积比重一直占主体,此比重在 2000—2010 年达最大,为 82.85%。各时期耕地转入比例最大的地类均是草地,分别为 39.63%,73.56%,59.37%,54.23%。

2.4 汾河流域耕地转型影响因子地理探测

耕地利用转型是自然和社会经济因子复杂耦合作用的过程,并不是孤立的地理现象。结合研究区实际情况,参考前人研究成果^[23-24],从自然、经济、科技投入和人口 4 个方面选取 19 个自变量。其中,自然因子包括高程(x_1)、坡度(x_2)、气温(x_3)和降水(x_4)。社会经济因子包括城镇化率(x_5)、常住人口(x_6)、固定资产投资增长速度(x_7)、农业机械总动力(x_8)、农业产值(x_9)、农用化肥施用量(x_{10})、年末有效灌溉面积(x_{11})、农村用电量(x_{12})、农用塑料薄膜使用量(x_{13})、农药使用量(x_{14})、牧业产值(x_{15})、大牲畜年末存栏数(x_{16})、粮食作物播种总面积(x_{17})、粮食作物产量(x_{18})、粮食作物单产(x_{19})。



注:a:耕地;b:林地;c:草地;d:水域;e:建设用地;f:未利用地。

图 4 汾河流域耕地与其他地类转移变化轨迹

Fig. 4 The transfer and change trajectory of cultivated land and other land types in Fenhe River Basin

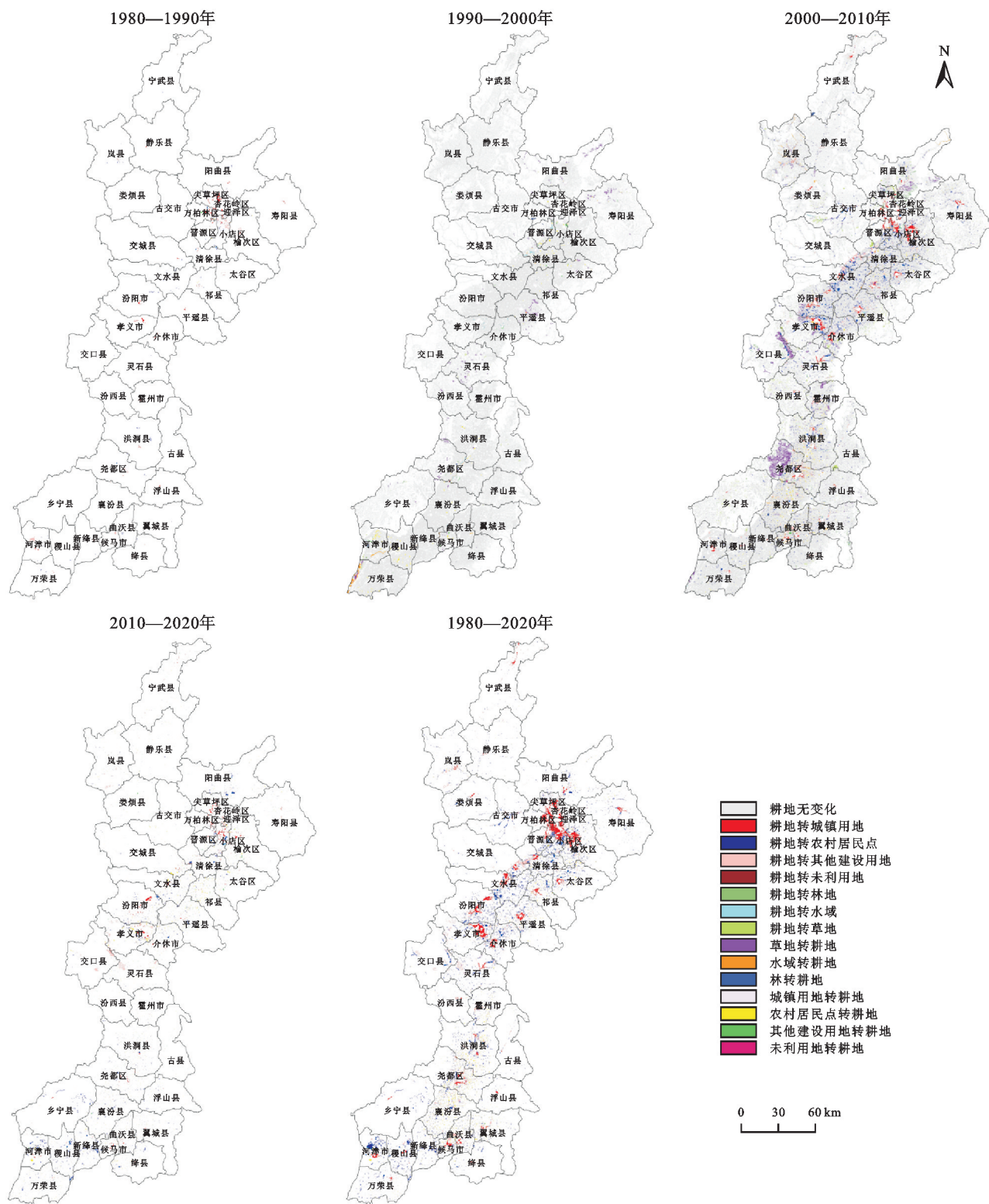


图 5 汾河流域耕地与其他地类空间转移格局变化

Fig. 5 Changes of spatial transfer pattern between cultivated land and other land types in Fenhe River Basin

由表 2 可知,自然因子对流域耕地利用转型影响程度明显强于社会经济因子,耕地利用转型解释力由强到弱的自然因子分别是气温>高程>坡度>降水,其中气温的 q 值最大,为 0.72。社会经济因子对耕地利用转型的影响程度位于前 4 位的分别是农药使用量、农业产值、农业机械总动力和年末有效灌溉面积。

汾河流域耕地利用转型是社会经济因子与自然因子综合作用的结果,由图 6 知,因子间交互作用类型主要为双因子增强和非线性增强两种。自然因子与社会经济因子之间的交互作用>社会经济因子之间的交互作用>自然因子之间的交互作用,其中,高程、坡度和气温因子与社会经济因子之间的交互作用

最强,气温与城镇化率、气温与农村用电量、气温与牧业产值、坡度与农药使用量的交互作用值均大于 0.9。

自然因子中,高程和降水、坡度和气温、气温和降水的交互作用值均大于 0.8。

表 2 汾河流域耕地转型影响因子探测结果

Table 2 Detection results of influencing factors of cultivated land transformation in Fenhe River Basin

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
q 值	0.63	0.47	0.72	0.17	0.38	0.26	0.30	0.48	0.60	0.47
p 值	0.00	0.00	0.00	0.44	0.01	0.06	0.70	0.00	0.00	0.00
指标	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	
q 值	0.59	0.40	0.20	0.64	0.37	0.06	0.39	0.49	0.47	
p 值	0.01	0.02	0.38	0.00	0.03	0.96	0.07	0.00	0.00	

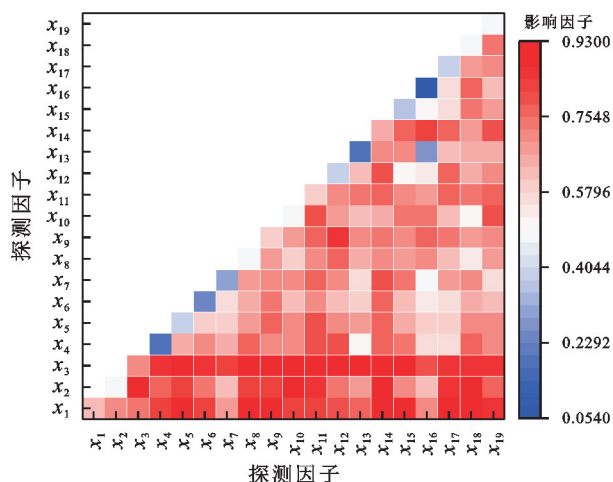


图 6 汾河流域耕地转型影响因子交互探测

Fig. 6 Interactive exploration of influencing factors of cultivated land transformation in Fenhe River Basin

由于指标选取中没有涉及政策因素,故单独阐述政策对耕地转型的影响,通过分析流域耕地转型速度可知,2000—2010 年,转型速度最大,主要因为 2000 年国家实施退耕还林还草工程,流域内耕地面积在该时段下降速度最快,空间收缩转型显著。由耕地转型时空分异特征变化可知,1990—2020 年补充为耕地的城乡建设用地占主体的地类一直为农村居民点用地,与山西省实施城乡建设用地增减挂钩政策有关系^[25]。2006 年国家开始取消农业税,一定程度上也影响流域内耕地面积的变化。临汾市尧都区等县域转为耕地面积的主体地类均为生态用地,属于生态驱动功能提升转型,“进出平衡”政策的约束是影响因素之一。2010—2020 年耕地转为城镇用地面积下降与 2012 年国土资源部颁布的《土地利用总体规划实施管理的通知》有关,要求城镇建设规模不能无序扩张,故城镇用地占用耕地现象趋缓。

3 讨论与结论

3.1 讨论

汾河流域耕地转型过程复杂,影响因素多样,主要和城乡建设用地、生态用地关系密切,此结论与前人研究相似^[26]。以下重点对流域耕地转型整体分布

特征、内部分异特征、耕地转型与建设用地变化的关系予以重点阐述。

整体特征:从人地关系视角看,1980—2020 年汾河流域耕地转型依次经历了缓和平稳、逐渐加剧、矛盾尖锐和收敛平衡 4 个阶段。汾河流域耕地空间分布呈现明显的集中和分散格局,分布形态基本与流域内地形形态一致,两大盆地地形平坦,土壤肥沃,灌溉水源充足,适合大规模机械化操作,耕地分布集中,东西两山地形起伏大,土壤相对贫瘠,机械化操作受限,制约耕地质量提升,分布较为分散。

内部分异特征:2020 年,汾河流域中游的城镇化率、常住人口数量和第二产业产值分别为 66.31%, 940.73 万人、235.74 亿元,三者均大于上游和下游,中游地区耕地面积占比位居第二,耕地转型速度最大,达—0.29%,人地矛盾最为尖锐,主要和中游地区人口集聚,城镇化水平高,工业化程度高有关,建设用地占用耕地现象较为严重。县域耕地转型速度显示,太原市六城区和孝义市耕地转型速度快,空间收缩转型明显。到 2020 年太原市六城区城镇化率达 94.11%,城镇化进程在推进过程中,城区规模不断扩大,城乡结合部的建设用地挤占耕地现象严重。孝义市作为全国百强县之一,巩固基础化工规模优势,全力打造氢能、碳基新材料、铝镁新材料等转型产业链,2020 年第二产业产值为 190.52 亿元,工业化和城镇化促使耕地被建设用地侵占。受太原城区经济和城镇化的辐射带动,其周边的晋中市榆次区、古交市、清徐县的耕地和建设用地竞争力较强^[27]。由于 2011 年山西大学城开始建设,以及带动周边商业、房地产等产业发展迅速,促进经济发展的同时,城镇用地对耕地侵占激烈,晋中市城市建设用地中的居住用地和商业服务业设施用地的面积分别由 2012 年的 13.8, 5.37 km² 增加为 2020 年的 45.6, 7.6 km²,晋中市榆次区耕地转型显著。河津市受电解铝等产业影响,存在工业园区等工矿用地占用耕地现象。临汾市尧都区等县(区)域通过耕地“非粮化”问题整改,耕地集约化和规模化经营,农业全产业链发展等举措实现耕地“量”“质”优化提升转型。临汾市尧都区、万荣县、岚县、交口县和霍州市耕地转入面积是

转出面积的 2.30 倍、1.27 倍、1.06 倍、1.49 倍和 1.32 倍,转为耕地比重最大的地类分别为草地(81.19%)、水域(84.23%)、草地(35.33%)、草地(97.20%)、草地(92.54%),可见转入耕地面积主体比重均为生态用地,故此类耕地转型为生态驱动功能提升型。

耕地转型与建设用地的关系:由于耕地转型与建设用地变化关系最大,故对二者关系进行讨论。以 2010 年为界,耕地转为建设用地面积呈先升后降态势,而转为建设用地的比重呈下降趋势,说明耕地与建设用地的竞争力由逐渐增强变为和缓。从耕地和 3 种建设用地的转化来看,1980—2010 年汾河流域城镇化率由 22.47% 升为 52.99%,城镇化速度和进程不断加快,城镇规模扩大导致城镇用地占用耕地现象突出,2010—2020 年城镇用地占用耕地面积下降,人地矛盾趋缓。耕地转建设用地的类型由 2000 年之前以耕地转城镇用地为主变为 2000 年之后以耕地转农村居民点用地为主,该结论与龙花楼等研究结论相似^[28],2000—2010 年,农村居民点用地在利用中存在“审批难”“无规划”“一户多宅”的问题^[29],农村“小家庭”逐渐从“大家庭”中脱离,家庭参与农村居民点整理的意愿增强^[30],农村户数增加,导致农村居民点用地扩大。2010—2020 年耕地转农村居民点用地的比重下降,主要和农村年轻人口迁出、部分村庄撤并搬迁,进行生态宜居搬迁和异地扶贫搬迁、农村建房市场价值降低、审批政策逐渐加强等原因导致农村建房热消退。

3.2 结 论

(1) 1980—2020 年,汾河流域的耕地利用转型依次经历缓和平稳—转型加剧—矛盾尖锐—收敛平衡 4 个阶段,转型速度分别为 -0.04%, -0.01%, -0.37% 和 -0.12%。

(2) 汾河流域耕地利用显性转型速度空间分布表现出显著的空间聚集性,呈“北部快,南部慢”的分布格局,其中,太原市城区及周边县市耕地转型速度快,空间格局呈团块状分布,转型速度慢的地区分散分布。

(3) 汾河流域耕地利用转型是自然与社会经济因子交织渗透影响的结果,自然因子对耕地转型解释力强于社会经济因子,自然和社会经济因子之间的交互作用探测对耕地转型解释力强。

参考文献(References):

- [1] 张浚茂,臧传富.东南诸河流域 1990—2015 年土地利用时空变化特征及驱动机制[J].生态学报,2019,39(24):9339-9350.
Zhang J M, Zang C F. Spatial and temporal variability characteristics and driving mechanisms of land use in the Southeastern River Basin from 1990 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(24):9339-9350.
- [2] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)

模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.

Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent progresses of land use and land cover change(LUCC) models[J]. Acta Geographica Sinica, 2009,64(4):456-468.

- [3] Mather A S. The forest transition[J]. Area, 1992,24(4):367-379.
- [4] 龙花楼,李秀彬.区域土地利用转型分析:以长江沿线样带为例[J].自然资源学报,2002,17(2):144-149.
Long H L, Li X B. Analysis on regional land use transition: a case study in transect of the Yangtze River[J]. Journal of Natural Resources, 2002,17(2):144-149.
- [5] 龙花楼.土地利用转型的解释[J].中国土地科学,2022,36(4):1-7.
Long H L. Explanation of land use transitions[J]. China Land Science, 2022,36(4):1-7.
- [6] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].地理科学进展,2012,31(2):131-138.
Long H L. Land use transition and rural transformation development[J]. Progress in Geography, 2012,31(2):131-138.
- [7] 王凯,张绪冰,卓成刚,等.长江中游经济带土地利用转型风险评估[J].应用科学学报,2021,39(3):469-480.
Wang K, Zhang X B, Zhuo C G, et al. Risk assessment for land use transition in the middle of the Yangtze River economic belt[J]. Journal of Applied Sciences, 2021,39(3):469-480.
- [8] 宋小青,吴志峰,欧阳竹.耕地转型的研究路径探讨[J].地理研究,2014,33(3):403-413.
Song X Q, Wu Z F, Ou Y Z. Route of cultivated land transition research[J]. Geographical Research, 2014,33(3):403-413.
- [9] 李文博,闫卓冉,张英男,等.食物系统韧性视角下的城市区域耕地利用再地化转型[J].中国土地科学,2023,37(11):63-72.
Li W B, Yan Z R, Zhang Y N, et al. Resilience of food systems: relocalized transition of cultivated land use in the city-region[J]. China Land Science, 2023,37(11):63-72.
- [10] 李强,刘畅,何小松,等.基于 DPSIR 模型的京津冀耕地利用转型及驱动因素研究[J].西北师范大学学报:自然科学版,2022,58(2):97-105.
Li Q, You C, He X S, et al. Study on the transformation and driving factors of cultivated land use in Beijing-Tianjin-Hebei based on DPSIR model[J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2022,58(2):97-105.
- [11] 陈莎,杨润佳,叶艳妹,等.资源禀赋、劳动力转移对耕地利用功能转型的影响研究:基于面板门槛模型的实证分析[J].中国土地科学,2023,37(2):71-81.
Chen S, Yang R J, Ye Y M, et al. Impact of resource endowment and rural labor transfer on farmland use multifunction transition: an analysis based on threshold regression[J]. China Land Science, 2023,37(2):71-81.

- [12] 徐磊,胡浩,尹士,等.河北省耕地功能供需转型时空演变及利用分区[J].水土保持研究,2023,30(3):403-412.
Xu L, Hu H, Yin S, et al. Spatiotemporal evolution and subarea of cultivated land function supply-demand transition in Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(3):403-412.
- [13] 勾蒙蒙,刘常富,李乐,等.“三生空间”视角下三峡库区土地利用转型的生态系统服务价值效应[J].应用生态学报,2021,32(11):3933-3941.
Gou M M, Liu C F, Li L, et al. Ecosystem service value effects of the Three Gorges Reservoir Area land use transformation under the perspective of “production-living-ecological” space [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021,32(11):3933-3941.
- [14] 赵映慧,王子彤,詹汶羲,等.黑龙江省耕地利用转型碳排放的时空分异特征与影响因素[J].西南农业学报,2022,35(10):2247-2255.
Zhao Y H, Wang Z T, Zhan W X, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of carbon emission from cultivated land use transformation in Heilongjiang Province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022,35(10):2247-2255.
- [15] 黄海潮,温良友,孔祥斌,等.中国耕地空间格局演化对耕地适宜性的影响及政策启示[J].中国土地科学,2021,35(2):61-70.
Huang H C, Wen L Y, Kong X B, et al. The impact of spatial pattern evolution of cultivated land on cultivated land suitability in China and its policy implication [J]. China Land Science, 2021,35(2):61-70.
- [16] 叶思菁,宋长青,程昌秀,等.中国耕地资源利用的“五化”态势与治理对策[J].中国科学院院刊,2023,38(12):1962-1976.
Ye S J, Song C Q, Cheng C X, et al. Five issues and countermeasures of China cropland resource use [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12):1962-1976.
- [17] 郑淋议,陈紫薇.耕地细碎化对农户耕地撂荒的影响及其治理优化[J].地理研究,2024,43(1):200-213.
Zheng L Y, Chen Z W. Impacts of land fragmentation on farmers'farmland abandonment and its governance optimization[J]. Geographical Research, 2024,43(1):200-213.
- [18] 邱乐丰,祝锦霞,潘艺,等.非粮化利用下耕地土壤重金属分布特征、生态风险和来源解析[J].环境科学,2023,44(5):2829-2837.
Qiu L F, Zhu J X, Pan Y, et al. Distribution characteristics, ecological risks, and source identification of heavy metals in cultivated land under non-grain production [J]. Environmental Science, 2023,44(5):2829-2837.
- [19] 田惠文,毕如田,朱洪芬,等.汾河流域植被净初级生产力的驱动因素及梯度效应[J].生态学杂志,2019,38(10):3066-3074.
Tian H W, Bi R T, Zhu H F, et al. Driving factors and gradient effect of net primary productivity in Fenhe River Basin[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019,38(10):3066-3074.
- [20] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81-87.
Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. Progress in Geography, 1999,18(1):81-87.
- [21] 刘卫林,何昊,朱圣男,等.1980—2015年江西省土地利用迁移变化分析及驱动机制研究[J].水土保持研究,2023,30(2):361-368.
Liu W L, He H, Zhu S N, et al. Spatial and temporal variability characteristics and driving mechanisms of land use in Jiangxi Province from 1980 to 2015[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):361-368.
- [22] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
Wang J F, Xu C D. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1):116-134.
- [23] 付慧,刘艳军,孙宏日,等.京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J].地理科学进展,2020,39(12):1985-1998.
Fu H, Liu Y J, Sun H R, et al. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Progress in Geography, 2020,39(12):1985-1998.
- [24] 付建新.1980—2020年汾河流域“三生空间”土地利用功能变化及其驱动力[J].应用生态学报,2023,34(7):1901-1911.
Fu J X. Land use function change and its driving force of the “production-living-ecological” space in Fenhe River Basin from 1980 to 2020[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023,34(7):1901-1911.
- [25] 山西省人民政府.山西省人民政府办公厅关于做好城乡建设用地增减挂钩试点工作的通知(晋政办发〔2011〕11号).太原:山西省人民政府,2011.
The people's Government of Shanxi Province. Notice of the General Office of The people's Government of Shanxi Province on doing a good job in the pilot work of linking urban and rural construction land increase and decrease (Jin Administration Office(2011) No.11). Tai yuan: The people's Government of Shanxi Province, 2011.
- [26] 李全峰,胡守庚,瞿诗进.1990—2015年长江中游地区耕地利用转型时空特征[J].地理研究,2017,36(8):1489-1502.
Li Q F, Hu S G, Qu S J. Spatiotemporal characteristics of cultivated land use transition in the Middle Yangtze River from 1990 to 2015 [J]. Geographical Research, 2017,36(8):1489-1502.

- 2011,66(10):1379-1389.
- [21] 程宪波,陶宇,欧维新.江苏省乡村三生功能耦合协调时空变化特征分析[J].长江流域资源与环境,2022,31(1):222-233.
- Cheng X B, Tao Y, Ou W X. Spatio-temporal characteristics and evolutions of rural production-living-ecological function and coupling coordination in Jiangsu[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022,31(1):222-233.
- [22] 王成,唐宁.重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].地理研究,2018,37(6):1100-1114.
- Wang C, Tang N. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural productionliving-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality [J]. Geographical Research, 2018,37(6):1100-1114.
- [23] 程佳琦,林伊琳,赵俊三,等.昆明市“三生空间”功能耦合协调时空特征与影响因素[J].水土保持研究,2024,31(3):299-310,319.
- Cheng J Q, Lin Y L, Zhao J S, et al. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of functional coupling and coordination of ‘ProductionLiving-ecological’ spaces in Kunming city[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(3):299-310,319.
- [24] 纪璇,李琳娜,程明洋.安徽省县域乡村“三生”功能及耦合协调时空格局分析[J].中国农业资源与区划,2022,43(10):150-161.
- Ji X, Li L N, Cheng M Y. The spatio-temporal pattern of rural “production-living-ecological” function and coupling coordination at county level of Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022,43(10):150-161.

(上接第 265 页)

- [27] 韩苗,王瑾,赵辰,等.基于用地竞争的潜在土地利用冲突权衡分区研究:以山西省晋中市为例[J].湖北农业科学,2022,61(9):66-73.
- Han M, Wang J, Zhao C, et al. Research on trade-off regionalization of potential land use conflicts based on land use competition: a case study of Jinzhong city in Shanxi Province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022,61(9):66-73.
- [28] 龙花楼.中国乡村转型发展与土地利用[M].北京:科学出版社,2012.
- Long H L. Land use and rural transformation development in China[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [29] 蒋万芳,肖大威.农村住宅建设管理的思考与探讨:以广东省增城市为例[J].规划师,2011,27(2):83-87,92.
- Jiang W F, Xiao D W. Countryside residential building management: zengcheng example[J]. Planners, 2011, 27(2):83-87,92.
- [30] 程新艳,王坤鹏,欧名豪.家庭生命周期视角下农村居民点整理的农户意愿影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(9):81-89.
- Cheng X Y, Wang K P, Ou M H. Research on influencing factors of farmers’ willingness of rural settlements consolidation from the perspective of family life cycle[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021,42(9):81-89.

(上接第 274 页)

- [27] 张伟,龙闹,李盛港,等.基于生态本底-格局-潜力框架的国土空间生态修复分区研究:以粤港澳大湾区为例[J].热带地理,2024,44(2):212-225.
- Zhang W, Long N, Li S G, et al. Zoning of territorial space for ecological restoration based on potential ecological background pattern framework: a case study of the Guangdong-Hong Kong-Macao creater bay area [J]. Tropical Geography, 2024,44(2):212-225.
- [28] Yang H F, Zhong X N, Deng S Q, et al. Assessment of the impact of LUCC on NPP and its influencing factors in the Yangtze River Basin, China[J]. Catena, 2021,206:105542.
- [29] 王进,周广胜,何奇瑾,等.内蒙古克氏针茅草原净生态系统碳交换的物候特征及遥感监测[J].应用生态学报,2024,35(3):659-668.
- Wang J, Zhou G S, He Q J, et al. Phenological characteristics of net ecosystem carbon exchange of *Stipa krylovii* steppe in Inner Mongolia, China and its remote sensing monitoring [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024,35(3):659-668.
- [30] 黄奇,于冯,权伟,等.温州城市绿地的土壤呼吸特征及影响因素[J].山西农业大学学报:自然科学版,2024,44(1):79-88.
- Huang Q, Yu F, Quan W, et al. Soil respiration characteristics and influencing factors in urban green spaces of Wenzhou, China[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2024,44(1):79-88.