

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.08.026

引用格式:陈广军,周杰,董雯雯,等.黄河流域土地利用转移图谱及结构变迁研究[J].草地学报,2026,34(8):3037-3048

CHEN Guang-jun, ZHOU Jie, DONG Wen-wen, et al. Graphic of Land Use Transition and Structure Change in the Yellow River Basin[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(8):3037-3048

黄河流域土地利用转移图谱及结构变迁研究

陈广军, 周杰, 董雯雯, 唐庄生, 杨洁*

(甘肃农业大学草业学院, 甘肃兰州 730070)

摘要:深入解析黄河流域土地利用的转型轨迹与结构变迁,是提升流域土地资源可持续利用效率的关键一环。借助遥感(Remote sensing, RS)与地理信息系统(Geographic information system, GIS)技术,选取1990—2018年间六期遥感影像为数据源,结合地学信息图谱与数理统计方法,对黄河流域土地利用变化的空间图式及结构特点展开分析。研究发现:(1)1990—2018年间,耕地与建设用地变化最为剧烈,耕地面积净减少8663 km²,而建设用地显著增加13 109 km²;未利用地减少8131 km²,林地和草地则实现小幅增长;(2)各地类之间转换频繁,尤以草地、林地与耕地之间的相互转化,以及耕地向建设用地的转化最为突出;(3)尽管28年间土地利用类型发生显著更替,但流域整体土地利用组合格局仍保持基本稳定,结构演变相对平缓,并呈现出从上游至下游的地带性分异特征。本研究系统揭示了黄河流域土地利用的时空演变规律与结构转型特征,为该区域国土空间规划、生态修复与土地政策制定提供了有力的数据支撑与决策参考。

关键词:土地利用;土地利用转型;地学信息图谱;黄河流域

中图分类号:X321

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)08-3037-12

Graphic of Land Use Transition and Structure Change in the Yellow River Basin

CHEN Guang-jun, ZHOU Jie, DONG Wen-wen, TANG Zhuang-sheng, YANG Jie*

(College of Pratacultural Science of Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu Province 730070, China)

Abstract: A deep analysis of the transformation trajectory and structural changes of land use in the Yellow River Basin is a key factor to enhance the sustainable utilization efficiency of land resources in the area. Using remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) technology, this study selected six periods of RS imagery from 1990 to 2018 as data sources. It combines geoscience information mapping and statistical methods to analyze the spatial patterns and structural characteristics of land use changes in the Yellow River Basin. The study found that: (1) Between 1990 and 2018, changes in cultivated land and construction land were the most dramatic, with a net decrease of 8663 km² in cultivated land and a significant increase of 13 109 km² in construction land; unused land decreased by 8131 km², while forested and grassland areas experienced slight growth; (2) There were frequent conversions among different land types, particularly notable transformations among grassland, forestland, and cultivated land, as well as the conversion of cultivated land to construction land; (3) Although there were significant replacements in land use types over the 28 years, the overall land use pattern in the basin remained basically stable, with relatively smooth structural evolution, showing zonal differentiation characteristics from upstream to downstream. This study systematically revealed the temporal and spatial evolution patterns and structural transformation characteristics of land use in the Yellow River Basin, providing strong data support and decision-making references for spatial planning, ecological restoration, and land policy

收稿日期:2025-09-25;修回日期:2025-11-25

基金项目:甘肃农业大学伏羲青年英才(GAUfx-04Y06);甘肃农业大学青年导师基金(GAU-QDFC-2021-01);甘肃省杰出青年基金(24JRRA632);中国农业大学对口支援项目(GSAU-DKZY-2024-004);甘肃农业大学公招博士科研启动项目(GAU-KYQD-2021-03)资助

作者简介:陈广军(2001-),男,汉族,甘肃定西人,硕士研究生,主要从事生态系统服务研究, E-mail: chen_guang_jun@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail: yang_jie@gsau.edu.cn

formulation in this region.

Key words: Land use; Land use transformation; Geo-information graphic; The Yellow River Basin

土地利用是人地关系的直接体现,是自然与人为因素交织作用下的产物^[1]。其变化过程及特征受到温度、降水、土壤属性、海拔与坡度等多种自然要素的影响^[2]。在经济社会发展的不同阶段,驱动土地利用发生改变的主导因素亦有所不同,从而导致其变化规律呈现阶段性差异^[3-4]。土地利用转型(LUT)是土地利用变化的重要表现形式之一^[5],该概念最初由 Grainger 在研究国家森林土地利用时提出^[6-7],其核心是从国家土地利用形态的视角出发,将 LUT 定义为在一定时期内,由社会经济转型与创新所推动的土地利用形态(含显性与隐性形态)的演变^[8-9]。因此,LUT 被引入作为分析不同发展阶段土地利用变化的新研究方法,目前已有研究多集中于土地利用数量变化^[10]、结构演变^[11]及类型转换的生态效应^[12-13];此外,也有学者关注隐性土地利用形态,如质量变迁^[14]、功能更替^[15]与土地生产力变动^[16]等方面。传统 LUT 分析常借助转移矩阵测算变化规模,并基于多期土地利用图叠置分析其空间分布^[17],但对土地利用内在过程与地理格局的挖掘仍较有限。地理信息图谱作为一种时空分析方法,被广泛用于揭示地理要素的结构特征与空间分异^[18],可通过图谱单元有效记录土地利用变化的复杂时空信息^[19],定量表征不同情境下的格局与过程动态,从而提升研究的准确性、直观性与现实解释力^[20-21]。

黄河流域既是我国重要的生态安全屏障,也是关键经济发展区域^[22],连接了青藏高原、黄土高原、华北平原与渤海,该流域分布有黄河天然生态廊道和三江源等诸多国家公园及重点生态功能区,同时亦因富含煤炭、石油和有色金属资源而被誉为“能源流域”^[23]。近年来,由于城镇化加速与生态修复工程如退耕还林还草的推进,黄河流域土地利用格局发生显著改变^[24]。已有研究对该区域土地利用转移规律开展了较多探讨,如宋永永等对黄河流域国土空间格局的演变特征与形成机制进行了分析^[25];陈琼等综述了河源区土地利用变化及其驱动因素^[26];张伯发等研究了土地利用的时空格局及其影响机制^[27],张文慧等分析了黄河流域的信息图谱和涨落势图谱^[28],现有研究多集中于黄河流域土地利用的格局分析及驱动因素,很难对整个流域土地利用有全面的了解,而且对黄河流域的土地利用结

构的研究相对不足^[29]。如孔亚曄等结合 2000—2020 年土地利用数据,定量分析黄河流域山东段国土空间时空演变格局,并通过地理探测器探析其驱动因素^[30],王子懿等基于多期 Landsat 遥感影像构建黄河流域长时间序列土地利用数据集,却未深入拓展至二级子流域的结构分析^[31],姜媛媛基于多期土地利用数据运用转移矩阵等方法分析黄河流域三十年土地利用动态变化,缺乏对不同阶段子流域土地转移路径的演变特征研究^[32]。基于此,本文将以黄河流域为研究对象,运用地学信息图谱分析黄河流域土地利用转型,采用 GIS 统计方法分流域探究土地利用类型组合及其变迁^[19,33],研究 1990—2018 年不同覆被类型的时空动态变化,可为优化黄河流域土地管理提供参考,同时也是落实生态保护和高质量发展的科学基础。

1 材料与分析

1.1 研究区概况

黄河作为我国第二大河,发源于巴颜喀拉山脉的雅拉达泽峰,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南及山东共九个省(区),最终于山东省垦利县注入渤海^[34]。干流全长 5464 km,流域东西跨越约 1900 km,南北宽约 1100 km,总面积约 79.5 万 km²^[35](含内流区 4.2 万 km²)。该流域地域广阔,自西向东依次穿越青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和黄淮海平原四大地理单元^[22]。因其东临海洋、西处内陆,整体地势西高东低,流域内气候、降水、蒸发及光热条件区域分异显著。水文特征方面,上游降水持续时间长而强度较小,中游则降水集中、强度较大。截至 2018 年,流域常住人口约 1.52 亿,地区生产总值达 96 422.76 亿元,城镇化率为 46.70%^[25],当前正处于城镇化快速发展阶段,国土开发与生态保护的矛盾日益突出。

1.2 数据来源

本研究使用的 1990,1995,2000,2005,2010 及 2018 年土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)^[36]。该数据基于 Landsat TM/ETM 遥感影像,通过人工目视解译与实地验证相结合的方式生成,并经过严格精

度评价,一期数据一级分类总体精度不低于94.3%,满足1:10万比例尺制图要求^[37]。

结合黄河流域实际情况并依据国家土地利用分类标准,将土地利用类型统一划分为耕地、林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、建设用地和未利用地共8类^[38],分别编码为1,2,3,4,5,6,7,8,统一图谱分类标准^[39-40]。

1.3 研究方法

地学信息图谱分析:在ArcGIS中对LUT的图谱单元进行代数运算^[41],以整合谱图编码LUT的空间信息,具体过程为选择相邻两栅格三元的代码进行代数运算,获得LUT图谱值,公式如下:

$$T=10\times A+B \quad (1)$$

式中, T 为研究期间LUT的编码, A 为研究初期土地利用图谱编码, B 为研究末期土地利用图谱编码^[36]。例如:中覆盖草地编码为4,耕地编码为1,则 T (“中覆盖度草地→耕地”)= $10\times 4+1=41$ 。

2 结果与分析

2.1 黄河流域土地利用时空总体特征分析

2.1.1 时间变化特征 在整个研究期内,耕地、林地及草地(包括高、中、低覆盖度草地)这三类土地利用类型合计约占黄河流域总面积的98%。其中,草地是流域内分布范围最广、覆盖面积最大的土地利用类型,占全区总面积的50%左右。相对来说,水域、建设用地和未利用地的面积占比较小,均未超过流域总面积的10%(见表1)。1990—2018年间,各类土地利用类型的面积发生了不同程度的变化,以耕地和建设用地的变动幅度最大—耕地净减少8663 km²,建设用地则增加13 109 km²。未利用地也明显减少,2018年较1990年缩减8131 km²;林地面积增加3093 km²,草地略增738 km²。

从时间阶段来看(表2),2000年之前,处于改革开放深化期的黄河流域,工业化城镇化起步,未严格推行耕地保护与生态政策,部分未利用地、草地开垦为耕地,城镇初步扩张,推动耕地、建设用地小幅增长,林地、中覆盖度草地略有减少。流域内耕地面积仍呈增长态势,10年间累计增加1758 km²;2000年以来该区域面积呈持续缩减态势:2000—2010年面积减少4364 km²,2010—2018年缩减幅度进一步扩大,减少量达6057 km³。由于城镇化加快,

部分耕地被建设用地占用,加之2000年之后,我国实施退耕还林还草政策,加速了耕地的减少。2000年以前由于工业化进程加快,同时退耕还草政策开始起到效果,很显然,耕地主要转化为建设用地和草地,2000年黄河流域在快速城市化的背景下,部分优质的耕地主要被城乡建设用地占用。从2000年开始,“退耕还林还草”政策的实施取得了巨大的成效,林地面积从减少趋势转变为增加趋势,增加了2613 km²,这也说明随着时间的推移,建设用地的增加规模不断扩大,流域内建设用地增加速度提升,这与黄河流域经济社会和城镇化的发展趋势保持一致。

全流域低覆盖度草地面积在研究期呈“增加-减少-增加”的变化特征,总体增加了4013 km²;中覆盖度草地面积共增加2093 km²,具体表现为2010年以前中覆盖度草地面积减少,2010年以后呈增加的趋势;高覆盖度草地面积总体共减少1182 km²,与中覆盖度草地面积变化不同,2010年以前呈增加的趋势,2010年以后迅速减少。从三种覆盖度的草地面积变化趋势来看,中、低覆盖度草地面积增加,而高覆盖度草地面积减少,表明黄河流域草地具有退化的趋势,主要是由于黄河流域上游地区自然侵蚀严重、过度放牧造成高覆盖度草地面积减少;后期由于生态补偿机制与退耕还草政策的实施,使部分耕地转化为中、低覆盖度草地,从而使面积增加。

2.1.2 空间变化特征 1990—2018年,黄河流域耕地、林地、草地与建设用地的空间分布变化如图1所示。耕地减少范围较广(图1a),主要集中分布于各大城市周边,如西安市和银川市附近。林地面积增加的区域相对集中(图1b),主要位于大夏河与洮河流域、玛曲至龙羊峡区间、湟水流域,以及黄土高原南部和太行山北段。高覆盖度草地的减少区域较为集中(图1c),主要包括河源至玛曲区间、黄河内流区以及石嘴山至河口镇段。中覆盖度草地的减少范围覆盖整个流域(图1d),尤其在上游与中游地区减少更为显著。低覆盖度草地的增加区域(图1e)主要分布在河源至玛曲、龙羊峡至兰州、玛曲至龙羊峡以及黄河内流区等地。建设用地的扩张较为明显(图1f),由于城镇化进程加快,其增加区域主要集中在主要城市周边,如兰州、兰州新区、银川、西安、郑州等地。

2.2 黄河流域土地利用/覆被类型转移图谱分析

本研究运用转移图谱方法,对各地类之间的相

表1 1990—2018年黄河流域各期土地利用面积及比例

Table 1 Area and proportions of different land use types in each period from 1990 to 2018 in the Yellow Research Basin

土地利用类型 Land use type	1990年		1995年		2000年		2005年		2010年		2018年		面积变化值 Area change/ km ²
	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	
耕地 Cultivated land	210 155	26.45	209 887	26.41	211 913	26.66	208 113	26.18	207 549	26.11	201 492	25.35	-8663
林地 Forest land	103 444	13.02	98 213	12.36	103 230	12.99	105 562	13.28	105 843	13.32	106 537	13.41	3093
高覆盖度草地 High covered grassland	77 307	9.73	71 982	9.06	79 359	9.98	80 207	10.09	80 238	10.09	76 125	9.58	-1182
中覆盖度草地 Medium covered grassland	179 488	22.59	178 888	22.51	174 526	21.96	173 361	21.81	173 507	21.83	177 395	22.32	-2093
低覆盖度草地 Low covered grassland	125 658	15.81	141 050	17.75	126 083	15.86	124 524	15.67	124 668	15.68	129 671	16.32	4013
水域 Waters	13 846	1.74	12 546	1.58	13 342	1.68	13 634	1.72	13 683	1.72	13 772	1.73	-74
建设用地 Construction land	15 732	1.98	16 295	2.05	17 242	2.17	18 401	2.31	18 941	2.38	28 841	3.63	13 109
未利用地 Unused land	69 050	8.69	65 986	8.30	69 152	8.70	71 063	8.94	70 413	8.86	60 919	7.67	-8131

表2 1990—2018年黄河流域土地利用面积变化

Table 2 Land use change in the Yellow River Basin from 1990 to 2018

土地利用类型 Land use type	1990—2000年		2000—2010年		2010—2018年	
	面积 Area/km ²	变化率 Rate/%	面积 Area/km ²	变化率 Rate/%	面积 Area/km ²	变化率 Rate/%
耕地 Cultivated land	1758	0.84	-4364	-2.06	-6057	-2.92
林地 Forest land	-214	-0.21	2613	2.53	694	0.66
高覆盖度草地 High covered grassland	2052	2.65	879	1.11	-4113	-5.13
中覆盖度草地 Medium covered grassland	-4962	-2.76	-1019	-0.58	3888	2.24
低覆盖度草地 Low covered grassland	425	0.34	-1415	-1.12	5003	4.01
水域 Waters	-504	-3.64	341	2.56	89	0.65
建设用地 Construction land	1510	9.60	1699	9.85	9900	52.27
未利用地 Unused land	102	0.15	1261	1.82	-9494	-13.48

互转化方向、面积及空间分布进行了统计分析可视化表达(图2),以揭示流域内不同土地利用类型的转化规律。根据1990—2018年草地转移矩阵分析结果(表3),草地在土地利用变化中发生了大范围的转入与转出:主要转入来源为耕地(58 668 km²)、未利用地(29 849 km²)和林地(29 060 km²);转出则以中、低覆盖度草地的转化为主。未利用地与林地主要转为高覆盖度及中覆盖度草地;同期内,建设用地转为草地的面积较小,仅为2397 km²。高覆盖度草地主要转为林地(11 394 km²)和中覆盖度草地

(14 201 km²);中覆盖度草地大多转变为耕地(28 574 km²)和低覆盖度草地(24 761 km²);低覆盖度草地则普遍转为耕地(22 747 km²)和中覆盖度草地(22 952 km²)。

28年间,草地总面积总体增加738 km²,增幅0.19%,但阶段波动显著:1990—2000年减少2784 km²,2000—2010年减少1555 km²,2010—2018年则增加4778 km²。由不同的覆盖类型可以看出,高覆盖度草地减少1182 km²,中覆盖度草地减少2093 km²,低覆盖度草地增加4013 km²。

表3 黄河流域土地利用转型图谱单元

Table 3 Map units of land use transition in the Yellow River Basin

编码 Code	土地利用变化类型 Types of land use change	1990—2000 年/km ²	2000—2010 年/km ²	2010—2018 年/km ²	1990—2018 年/km ²
12	耕地→林地 Cultivated land-Forest land	11 560	9420	12 281	13 462
13	耕地→高覆盖度草地 Cultivated land-High covered grassland	6047	4780	6193	6811
14	耕地→中覆盖度草地 Cultivated land-Medium covered grassland	28 458	18 894	28 378	29 988
15	耕地→低覆盖度草地 Cultivated land-Low covered grassland	22 074	14 523	20 884	21 869
16	耕地→水域 Cultivated land-Waters	2860	2412	2947	3172
17	耕地→建设用地 Cultivated land-Construction land	10 329	7095	14 621	15 794
18	耕地→未利用地 Cultivated land-Unused land	2391	1767	1946	2072
21	林地→耕地 Forest land-Cultivated land	11 987	7896	11 285	11 505
23	林地→高覆盖度草地 Forest land-High covered grassland	11 136	7498	11 065	11 860
24	林地→中覆盖度草地 Forest land-Medium covered grassland	11 855	7920	12 351	12 387

续表3

编码 Code	土地利用变化类型 Types of land use change	1990—2000 年/km ²	2000—2010 年/km ²	2010—2018 年/km ²	1990—2018 年/km ²
25	林地→低覆盖度草地 Forest land-Low covered grassland	4525	3200	4974	4813
26	林地→水域 Forest land-Waters	539	330	481	519
27	林地→建设用地 Forest land-Construction land	501	414	1142	1229
28	林地→未利用地 Forest land-Unused land	980	764	1090	1060
31	高覆盖度草地→耕地 High covered grassland-Cultivated land	6417	4150	6065	6586
32	高覆盖度草地→林地 High covered grassland-Forest land	10 627	7533	11 241	11 394
34	高覆盖度草地→中覆盖度草地 High covered grassland-Medium covered grassland	9706	6647	12 484	14 201
35	高覆盖度草地→低覆盖度草地 High covered grassland-Low covered grassland	4861	3180	5322	5656
36	高覆盖度草地→水域 High covered grassland-Waters	629	427	714	846
37	高覆盖度草地→建设用地 High covered grassland-Construction land	442	299	857	960
38	高覆盖度草地→未利用地 High covered grassland-Unused land	3998	3079	4371	4691
41	中覆盖度草地→耕地 Medium covered grassland-Cultivated land	29 208	18 267	27 008	28 574
42	中覆盖度草地→林地 Medium covered grassland-Forest land	12 388	8804	12 095	13 754
43	中覆盖度草地→高覆盖度草地 Medium covered grassland-High covered grassland	12 377	6802	10 240	14 185
45	中覆盖度草地→低覆盖度草地 Medium covered grassland-Low covered grassland	19 650	13 466	22 545	24 761
46	中覆盖度草地→水域 Medium covered grassland-Waters	1344	1031	1517	1666
47	中覆盖度草地→建设用地 Medium covered grassland-Construction land	1248	1007	2579	2715
48	中覆盖度草地→未利用地 Medium covered grassland-Unused land	10 419	7445	8052	9783
51	低覆盖度草地→耕地 Low covered grassland-Cultivated land	22 889	14 553	21 370	22 747
52	低覆盖度草地→林地 Low covered grassland-Forest land	4739	3515	5033	5317
53	低覆盖度草地→高覆盖度草地 Low covered grassland-High covered grassland	4331	3466	4786	5565
54	低覆盖度草地→中覆盖度草地 Low covered grassland-Medium covered grassland	19 444	13 280	21 581	22 952
56	低覆盖度草地→水域 Low covered grassland-Waters	1193	881	1222	1411
57	低覆盖度草地→建设用地 Low covered grassland-Construction land	840	764	2370	2532
58	低覆盖度草地→未利用地 Low covered grassland-Unused land	8565	7226	8909	9814
61	水域→耕地 Waters-Cultivated land	3408	2054	2864	3361
62	水域→林地 Waters-Forest land	419	371	521	456
63	水域→高覆盖度草地 Waters-High covered grassland	580	439	568	549
64	水域→中覆盖度草地 Waters-Medium covered grassland	1431	920	1367	1575
65	水域→低覆盖度草地 Waters-Low covered grassland	1204	891	1316	1435
67	水域→建设用地 Waters-Construction land	401	291	683	686
68	水域→未利用地 Waters-Unused land	906	832	1048	1184
71	建设用地→耕地 Construction land-Cultivated land	9151	5835	9726	8444
72	建设用地→林地 Construction land-Forest land	433	376	580	474
73	建设用地→高覆盖度草地 Construction land-High covered grassland	381	290	376	347
74	建设用地→中覆盖度草地 Construction land-Medium covered grassland	1122	887	1171	1142
75	建设用地→低覆盖度草地 Construction land-Low covered grassland	881	628	844	908
76	建设用地→水域 Construction land-Waters	313	270	410	348
78	建设用地→未利用地 Construction land-Unused land	282	204	230	217
81	未利用地→耕地 Unused land-Cultivated land	2411	1825	2889	3267
82	未利用地→林地 Unused land-Forest land	1114	892	1348	1574
83	未利用地→高覆盖度草地 Unused land-High covered grassland	3850	2988	3733	3845
84	未利用地→中覆盖度草地 Unused land-Medium covered grassland	9618	7248	10 613	11 101
85	未利用地→低覆盖度草地 Unused land-Low covered grassland	9195	6351	14 394	14 903
86	未利用地→水域 Unused land-Waters	950	788	1170	1207
87	未利用地→建设用地 Unused land-Construction land	294	293	984	1074

2.2.1 1990—2000 年土地利用转型图谱分析
1990—2000 年间,黄河流域土地利用转型图谱共识别出 56 类空间转型单元。其中,最明显的转型类型为“中覆盖度草地→耕地(编码 41)”,占总图谱单元

的 8.14%,该类转型主要集中分布于黄河上游地区。其次,“耕地→中覆盖度草地(编码 14)”“低覆盖度草地→耕地(编码 51)”和“耕地→低覆盖度草地(编码 15)”也较为显著,分别占总图谱单元的

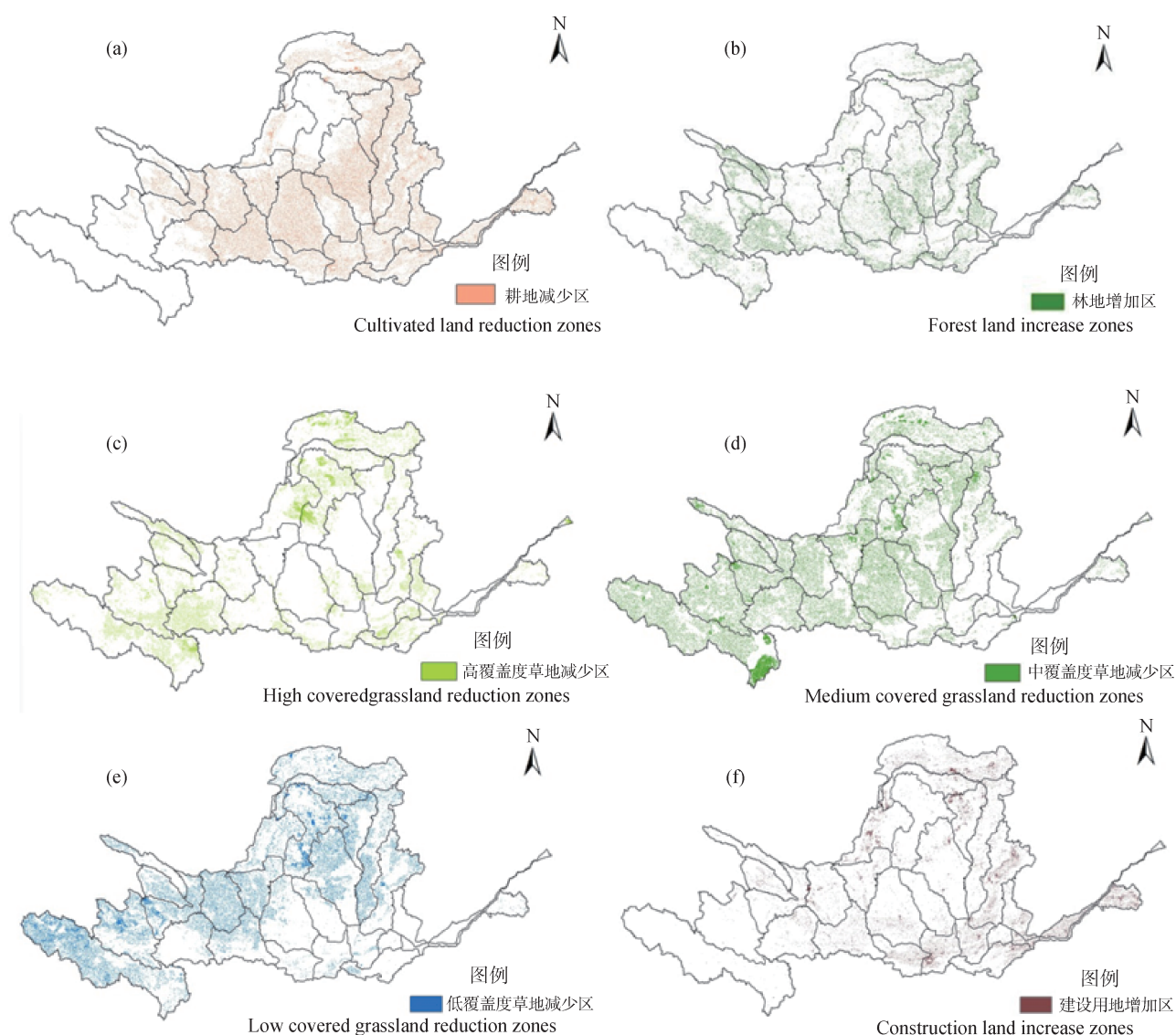


图1 黄河流域各主要地类变化区域空间示意图

Fig. 1 Spatial diagram of the main land type change areas in the Yellow River Basin

7.93%, 6.38%, 6.15%, 广泛分布在黄河流域中下游地区。此外,低、中覆盖度草地之间的双向转化,以及中覆盖度草地与林地、林地与耕地之间的转化,也在一定程度上占有比重。

整体上,该时期黄河流域土地利用转型以草地与其他地类之间的转换,以及耕地与建设用地之间的转换为主。中覆盖度草地的主要转出方式是转为耕地(29 208 km²)、低覆盖度草地(19 650 km²)、林地(12 388 km²)及高覆盖度草地(12 377 km²);同时也有大量耕地、低覆盖度草地和林地转为中覆盖度草地。低覆盖度草地的转出方向主要为耕地(22 889 km²)和中覆盖度草地(19 444 km²);而耕地和中覆盖度草地分别有22 074 km²和12 377 km²转为低覆盖度草地。

2.2.2 2000—2010年土地利用转型图谱分析
2000—2010年间,黄河流域内呈现空间转型单元总面积达247 408 km²,较1990—2000年阶段减少了111 493 km²。分析表明,该时期土地利用转型面积较大的图谱类型与前一阶段基本一致,耕地与中、低覆盖度草地之间的相互转化(编码:14, 15, 41, 51),以及中、低覆盖度草地彼此间的转换较显著,约占全部转型图谱总面积的37%。其中,“耕地→中覆盖度草地(编码14)”这一转型类型最为显著,占总面积的7.64%,且多分布于黄河中游区域。

整体来看,2000—2010年间黄河流域的土地利用转型主要表现为耕地与草地之间的互转、草地内部不同覆盖类型之间的转化,以及耕地与林地之间的转换。耕地主要转出为中覆盖度草地(18 894 km²)、

低覆盖度草地(14 523 km²)和林地(9420 km²),转出比例合计达17.31%;而由上述三者转为耕地的总面积则为40 716 km²,占转型图谱单元的16.45%,耕地净转出比率为0.86%。此外,该时段内共有7095 km²的耕地转为建设用地,占转型图谱单元的2.87%。

2.2.3 2010—2018年土地利用转型图谱分析
2010—2018年期间,黄河流域内具有空间转型单元总面积达到376 834 km²,较上一阶段增加129 426 km²。与前两期相比,本阶段最显著的转型类型为“低覆盖度草地→耕地(编码51)”和“高覆盖度草地→耕地(编码31)”,分别占图谱单元总面积的7.53%和7.17%。此外,“耕地→未利用地(编码

18)”与“耕地→低覆盖度草地(编码15)”转型也较为突出,转变面积分别为21 581 km²与20 884 km²,占总图谱单元的5.73%和5.54%。研究表明,该阶段耕地发生了广泛的类型转换,耕地转向低覆盖度草地、未利用地和水域面积较大,同时,低、高覆盖度草地也转换为耕地,但总体表现为耕地的转出大于耕地转入,累计转出比例为16.93%,转入比例为14.69%,净转出2.24%,耕地减少较多。

整体来看,1990—2018年间黄河流域土地利用类型发生显著变化(图3),各地类之间转换频繁,尤以低、中、高覆盖度草地与耕地、林地之间的相互转化以及耕地与建设用地之间的转换最为突出。在

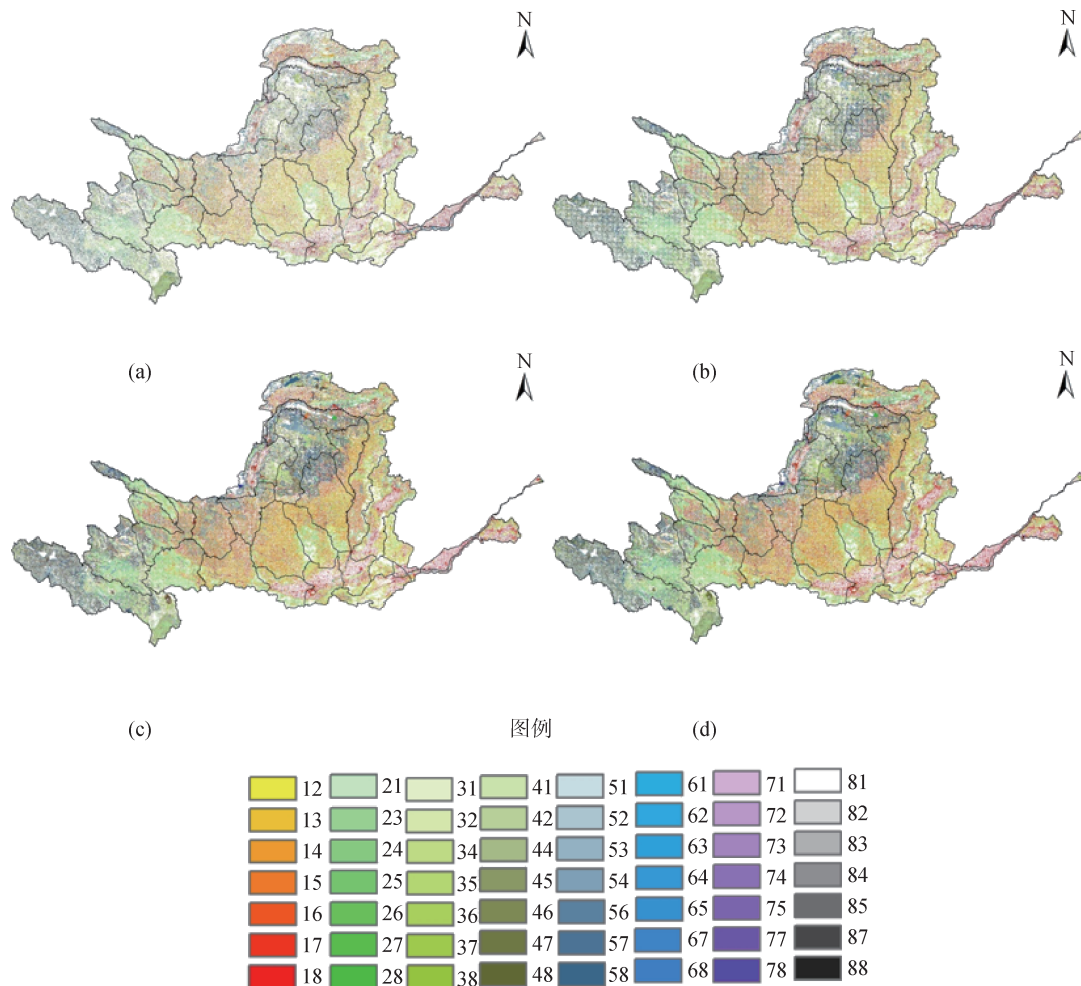


图2 黄河流域1990—2018年土地利用转型图谱(a. 1990—2000;b. 2000—2010;c. 2010—2018;d. 1990—2018)

Fig. 2 Geo-graphic of land use change in the Yellow River Basin during 1990—2018(a. 1990—2000;b. 2000—2010;c. 2010—2018;d. 1990—2018)

注:1,2,3,4,5,6,7,8分别代表耕地、林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、建设用地、未利用地;数字组合代表第一个数字代表的土地类型为第二个数字代表的土地类。如“12”代表“耕地→林地”,“21”代表“林地→耕地”

Note: Numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 represent cultivated land, forest land, high covered grassland, medium covered grassland, low covered grassland, waters, construction land, and unused land respectively. A combination of two numbers denotes the conversion from the land use type corresponding to the first number to that corresponding to the second number. For example, “12” stands for Cultivated land → Forest land, and “21” stands for Forest land → Cultivated land

气候环境和人类活动的双重影响下,黄河流域地区草地、耕地、林地变化频率最高,这是因为黄河流域内草地多属低覆盖度草地,区域气候、土质等因素导致的草地向未利用地的转换量大,过度放牧和气候变暖导致流域尤其上游草地退化,开垦耕地、防护林和固沙林的种植造成草地流失;同时,为保护流域生态环境,自2000年以来,国家以黄土高原为重点区域,实施了退耕还林还草等政策,扩大了草地面积,减少了耕地面积,所以草地的增加和减少是研究期内流域主要的土地利用转型类型。在建设用地的相互转换中,由于建设用地向周边扩张导致的耕地流失,分析发现在区域城市化加速发展的影响下,尤其是西部大开发政策的规划与实施后,城镇用地扩张占用耕地,城镇面积剧增;而补充耕地的城乡建设用地基本上均为农村居民点用地,因此,耕地大面积转为建设用地,而由建设用地补充到耕地的面积较小。

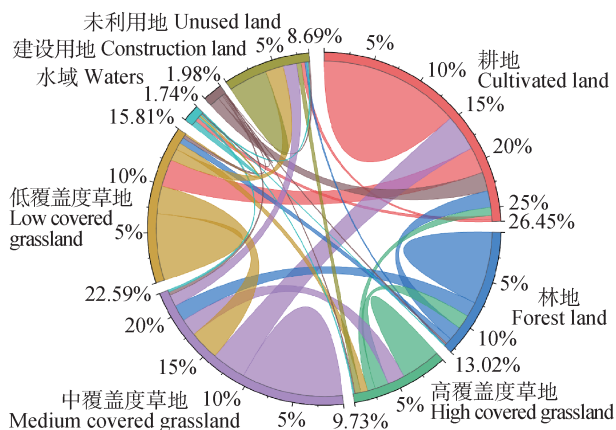


图3 1990—2018年土地利用土地转移弦图(单位:km²)

Fig. 3 Chord diagram of land use and land transfer from 1990 to 2018 (unit: km²)

2.3 二级流域土地利用结构特征及变迁

本研究以黄河流域的二级流域为基本分析单元,系统探讨了其土地利用组合模式与结构特征,进而揭示不同区段的土地整体构成与时空演变规律。

龙羊峡以上区域(图4A)的土地利用组合类型为“中覆盖度草地-高覆盖度草地-低覆盖度草地-林地-未利用地”,以草地、林地和未利用地为主要覆盖类型。1990—2018年间,除未利用地减少外,其余地类面积均有所增长。龙羊峡至兰州段(图4B)呈现“中覆盖度草地-林地-低覆盖度草地-高覆盖度草

地-耕地”的组合结构,草地与耕地比例接近。受青藏高原至黄土高原过渡带地理环境影响,退耕还林还草政策的实施与草地退化共同促使该区域土地利用发生显著变动,耕地、林地及中覆盖度草地面积总体减少。

兰州至河口段(图4C)以“低覆盖度草地-耕地-中覆盖度草地”为主要用地类型,研究期内耕地占比上升,区域以低覆盖度草地为主导,河套平原作为重要农业区耕地集中分布,内蒙古沿黄地区则广泛分布中覆盖度草地。河口至龙门镇区域(图4D)用地组合为“耕地-林地-低覆盖度草地-中覆盖度草地-高覆盖度草地”,耕地居于主导地位。28年间,该区域土地利用结构发生较大调整,耕地与低、中覆盖度草地面积增加,而高覆盖度草地与林地面积显著减少。

内流区(图4E)土地利用类型组合为“未利用地-中覆盖度草地-低覆盖度草地-高覆盖度草地”,整体变化幅度较小。作为毛乌素沙漠核心区域,人类活动干扰较弱,除林地和耕地略有增加外,其他地类均呈小幅下降,土地利用结构总体保持稳定。龙门至三门峡段(图4F)呈现“耕地-林地-中覆盖度草地”组合,耕地占比约40%,处于绝对优势。该区域最显著的变化是耕地减少和建设用地增加。三门峡至花园口区域(图4G)则以“耕地-林地-高覆盖度草地”为主,林地占比约38%,建设用地上升至6%左右。28年间,耕地减少,林地和建设用地增加。

花园口以下区域(图4O)作为黄河下游区段,用地组合为“耕地-建设用地-林地”,耕地占比约60%,建设用地比例为二级流域中占比最高的区域。因该区域地势平坦、适宜聚居,建设用地显著扩张,同时耕地被大量占用。

总体来看,黄河流域土地利用变化表现出以下特征:第一,尽管各地类转换频繁,但各二级流域的土地利用组合模式在28年间总体保持稳定,结构变动较为缓和;第二,流域内土地利用类型组合呈现明显的地带性规律,自上中游至下游,主要用地类型由草地(林地)逐渐过渡为耕地和建设用地,草地比例递减,耕地与建设用地尤其在下游段显著增加;第三,八大流域的土地利用结构差异反映出黄河流域内不同区域的经济发展阶段与土地利用导向^[39]。

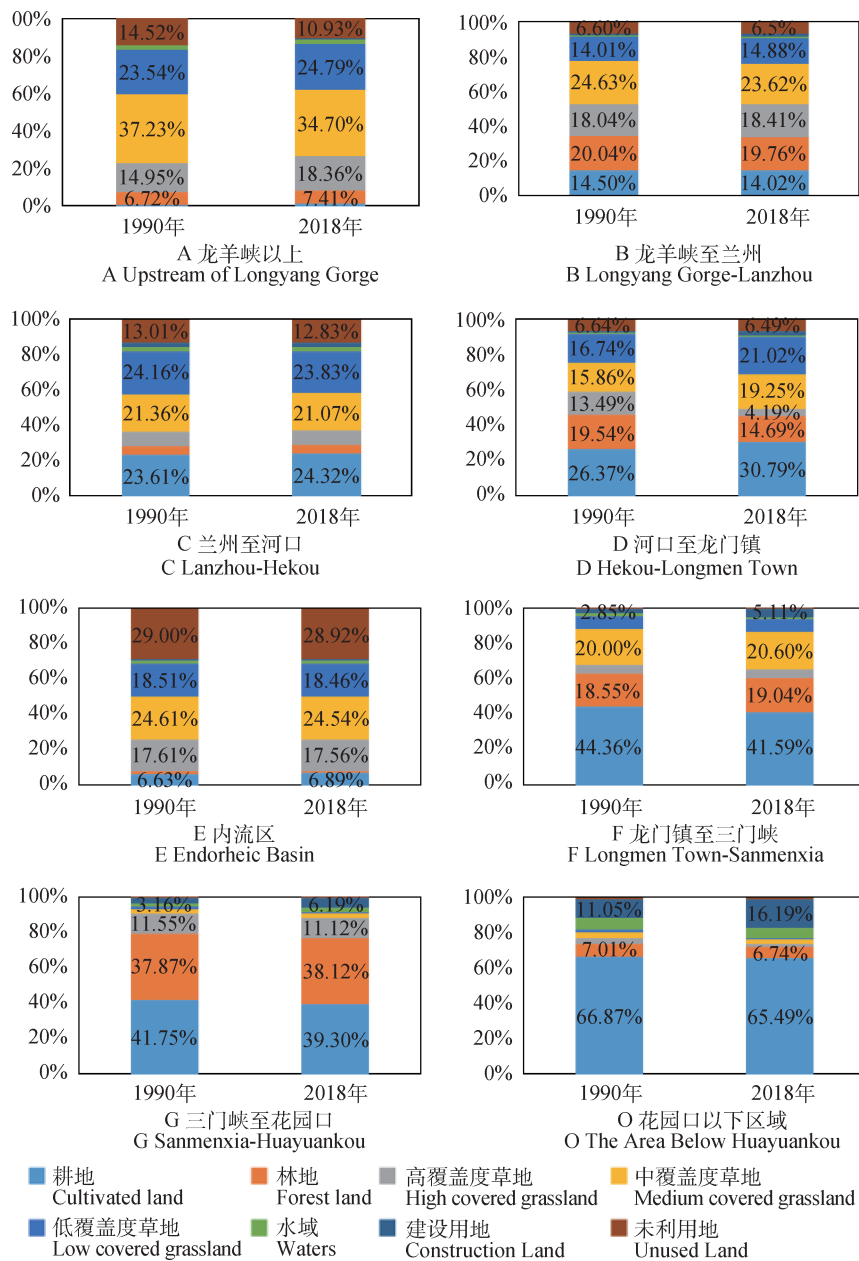


图 4 1990、2018 年黄河流域 8 个二级流域土地利用类型结构

Fig. 4 The structure of land use types in the eight secondary basins of the Yellow River Basin in 1990 and 2018

3 讨论

黄河流域 1990—2018 年土地利用的变迁过程,是自然系统约束与人类活动干预共同作用的集中体现,其变化特征与区域生态保护、经济发展的阶段性目标高度契合^[27]。从土地利用类型的动态演变来看,草地作为流域主导用地类型,总面积虽小幅增加 738 km²,但高、中覆盖度草地分别减少 1182 km²、2093 km²,低覆盖度草地增加 4013 km²,这一结构性差异揭示出草地生态系统面临质量退化风险——上游地区自然侵蚀加剧、过度放牧等压力,导致高覆

盖度草地向中低覆盖度转化,而 2000 年后退耕还林还草政策的推进,虽使部分耕地转为中低覆盖度草地,在数量上实现草地面积增长,但未能完全扭转优质草地减少的趋势,反映出生态修复政策需进一步向“提质”方向优化^[42]。

耕地与建设用地的反向变化,是流域人地关系演变的核心线索^[43]。耕地净减少 8663 km²,其减少原因呈现明显的阶段性与多元化特征:2000 年前耕地小幅增长 1758 km²,主要源于未利用地开发与草地开垦^[44];2000 年后持续减少,一方面是退耕还林还草政策推动耕地向林地、草地转化(1990—2018

年耕地向林地、草地累计转出 65 319 km²),另一方面是城镇化加速导致耕地被建设用地占用^[45](耕地向建设用地转出 15 794 km²)。而建设用地增加 13 109 km²,核心驱动力为城镇扩张,尤其是 2010—2018 年建设用地增长 52.27%,与西部大开发政策实施、区域经济快速发展(GDP 年均增速近 10%)背景下,城市建成区扩张、工业园区建设的需求直接相关,农村建设用地整治与城乡建设用地增减挂钩政策虽在一定程度上平衡了耕地保护与城镇用地需求,但仍难以完全抵消优质耕地被占用的趋势^[45]。

土地利用转型的空间格局与强度,进一步凸显了流域发展的区域差异^[27]。1990—2018 年各地类转换频繁,尤其是 2010—2018 年转换面积达 37.7 万 km²(占流域总面积 47%),但这一高强度转换并未打破流域整体土地利用结构的稳定性。从二级流域来看,上游龙羊峡以上区域始终以“三类草地+林地+未利用地”为主导,下游花园口以下区域长期保持“耕地-建设用地-林地”格局,各地类占比变化幅度均未超过 3 个百分点,且转换类型以“内部调整”为主(如草地内部覆盖度转换、耕地与林地/草地的生态性转换占总转换面积的 72.3%),未改变各区域核心用地功能定位,这也解释了“结构演变相对平缓”的判定依据——土地利用结构稳定性并非取决于转换面积大小,而是取决于主导用地组合模式是否持续、核心用地功能是否发生根本性改变。

此外,黄河流域自上游至下游呈现“草地(林地)—耕地—建设用地”的地带性分异规律,本质上是自然条件与人文需求空间耦合的结果。上游青藏高原、黄土高原区域,受低温、降水少、地形复杂等自然条件限制,以生态用地(草地、林地)为主;中游黄土高原南部、下游黄淮海平原,地势平坦、光热充足,农业开发历史悠久,耕地占比高;下游及主要城市周边,城镇化水平高(2018 年流域城镇化率 46.70%),建设用地集中,这一规律为流域差异化土地利用规划提供了自然与人文双重依据^[47]。

本研究仅聚焦土地利用转移图谱与结构变迁,仍存在进一步深化的空间:未来可结合气象数据、社会经济统计数据,量化气候因子(如温度、降水)、政策干预(如退耕还林还草、城镇化政策)、经济活动(如 GDP 增长、产业结构调整)对土地利用转型的贡献度;通过构建 CA-Markov 等模型,模拟不同生态保护与经济发展情景下的土地利用变化趋势;同时结合生态系统服务价值评估,分析土地利用结构变迁对水源涵养、

土壤保持、碳储存等生态功能的影响,为黄河流域生态保护与高质量发展提供更精准的决策支撑。

4 结论

(1)1990—2018 年黄河流域土地利用呈“两减三增”特征:耕地净减 8663 km²、未利用地减 8131 km²,建设用地增 13 109 km²、林地增 3093 km²、草地增 738 km²;草地虽总量增长,但高、中覆盖度草地减少,低覆盖度草地增加,存在质量退化风险。

(2)土地利用核心转型路径分两类:生态政策驱动下耕地向林地/草地转化,城镇化主导下耕地向建设用地单向转出,两类路径凸显生态保护与经济发展的空间博弈。

(3)流域土地利用结构“整体稳定、局部剧烈”:二级流域主导用地组合模式未变,各地类占比变化 ≤3%,转换以“内部调整”为主,虽 2010—2018 年转换面积占流域 47%,仍判定结构演变平缓;且自上游至下游呈“草地(林地)-耕地-建设用地”地带性分异。

参考文献

- [1] 龙花楼,戈大专,王介勇. 土地利用转型与乡村转型发展耦合研究进展及展望[J]. 地理学报,2019,74(12):2547-2559
LONG H L, GE D Z, WANG J Y. Progress and prospects of the coupling research on land use transitions and rural transformation development [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74 (12):2547-2559
- [2] 华吉庆,叶长盛,王飞,等. 佛山市“三生”用地演变及其驱动因素分析[J]. 农业现代化研究,2019,40(1):26-35
HUA J Q, YE C S, WANG F, et al. Analysis on the evolution and its driving factors of production-living-ecological land in Foshan City [J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(1):26-35
- [3] 刘彦随,周扬,刘继来. 中国农村贫困化地域分异特征及其精准扶贫策略[J]. 中国科学院院刊,2016,31(3):269-278
LIU Y S, ZHOU Y, LIU J L. Regional differentiation characteristics of rural poverty and targeted poverty alleviation strategy in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(3):269-278
- [4] 张超正,陈丹玲,靳亚亚,等. 基于经济社会发展阶段转型的土地利用变化驱动因素识别——以长江中游地区为例[J]. 长江流域资源与环境,2023,32(12):2528-2541
ZHANG C Z, CHEN D L, JIN Y Y, et al. Identification of driving forces of land use change based on transition of economic-social development stage: evidence from middle reaches of Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(12):2528-2541
- [5] 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
- [6] PERZ S G. Grand theory and context-specificity in the study of forest dynamics: forest transition theory and other directions[J]. *The Professional Geographer*, 2007, 59(1): 105-114
- [7] GRAINGER A. National land use morphology: patterns and possibilities[J]. *Geography*, 1995, 80(3): 235-246
- [8] LONG H L, QU Y. Land use transitions and land management: A mutual feedback perspective[J]. *Land Use Policy*, 2018, 74: 111-120
- [9] 黄晶, 薛东前, 董朝阳, 等. 干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制——基于三生空间主导功能判别视角[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(11): 2044-2060
- HUANG J, XUE D Q, DONG C Y, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces [J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(11): 2044-2060
- [10] LIU Y Q, LONG H L, LI T T, et al. Land use transitions and their effects on water environment in Huang-Huai-Hai Plain, China[J]. *Land Use Policy*, 2015, 47: 293-301
- [11] 刘永强, 龙花楼. 长江中游经济带土地利用转型时空格局及其生态服务功能影响[J]. *经济地理*, 2017, 37(11): 161-170
- LIU Y Q, LONG H L. Study on the spatio-temporal patterns of land use transition and its impact on ecological service function of the middle of Yangtze River economic belt [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(11): 161-170
- [12] GRAU H R, AIDE T M, ZIMMERMAN J K, et al. The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico[J]. *BioScience*, 2003, 53(12): 1159
- [13] 张少凯, 赵苑伊, 叶青青, 等. 土地利用转型及其生态系统服务价值效应的时空特征研究——以安阳市为例[J]. *河南科学*, 2025, 43(5): 685-695
- ZHANG S K, ZHAO Y Y, YE Q Q, et al. Spatiotemporal characteristics of land use transformation and its ecosystem service value effects: a case study of Anyang [J]. *Henan Science*, 2025, 43(5): 685-695
- [14] SONG W, LIU M L. Farmland conversion decreases regional and national land quality in China [J]. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(2): 459-471
- [15] VERBURG P H, VAN DE STEEG J, VELDKAMP A, et al. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(3): 1327-1335
- [16] CHEN W X, LI J F, ZHU L J. Spatial heterogeneity and sensitivity analysis of ecosystem services value in the Middle Yangtze River region[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 325
- [17] YE Q H, TIAN G L, GAOHUARV L, et al. Tupu methods of spatial-temporal pattern on land use change[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(2): 131-142
- [18] LU X, SHI Y Y, CHEN C L, et al. Monitoring cropland transition and its impact on ecosystem services value in developed regions of China: A case study of Jiangsu Province [J]. *Land Use Policy*, 2017, 69: 25-40
- [19] 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
- ZHANG G K, DENG W, ZHANG H Y, et al. The TUPU analysis of land use pattern in Xinkai River Basin [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9): 1111-1120
- [20] LIU Y S, LI J T, YANG Y Y. Strategic adjustment of land use policy under the economic transformation [J]. *Land Use Policy*, 2018, 74: 5-14
- [21] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生态系统服务权衡协同关系时空异质性[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(6): 78-87
- YANG J, XIE B P, ZHANG D G. Spatial-temporal heterogeneity of ecosystem services trade-off synergy in the Yellow River Basin [J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(6): 78-87
- [22] 崔盼盼. 黄河流域能源消费碳减排成效评价及减排潜力研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2021: 1
- CUI P P. Effect evaluation and potential study on carbon emission reduction of energy consumption in the yellow river basin [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2021: 1
- [23] 宋永永, 薛东前, 夏四友, 等. 近 40a 黄河流域国土空间格局变化特征与形成机理[J]. *地理研究*, 2021, 40(5): 1445-1463
- SONG Y Y, XUE D Q, XIA S Y, et al. Change characteristics and formation mechanism of the territorial spatial pattern in the Yellow River Basin from 1980 to 2018, China [J]. *Geographical Research*, 2021, 40(5): 1445-1463
- [24] 金凤君, 马丽, 许堃. 黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别[J]. *资源科学*, 2020, 42(1): 127-136
- JIN F J, MA L, XU D. Environmental stress and optimized path of industrial development in the Yellow River Basin [J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 127-136
- [25] 陈琼, 张懿铨, 刘峰贵, 等. 黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 446-459
- CHEN Q, ZHANG Y L, LIU F G, et al. A review of land use change and its influence in the source region of the Yellow River [J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 446-459
- [26] 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
- ZHANG B F, MIAO C H. Spatiotemporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin [J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 460-473
- [27] 张文慧, 吕晓, 史洋洋, 等. 黄河流域土地利用转型图谱特征[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(8): 80-88
- ZHANG W H, LYU X, SHI Y Y, et al. Graphic characteristics of land use transition in the Yellow River Basin [J]. *China Land Science*, 2020, 34(8): 80-88
- [28] 虎瑞林, 李卫朋, 税攀恒, 等. 嘉陵江流域“三生空间”时空演化及影响因素[J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2024, 45(5): 511-521
- HU R L, LI W P, SHUI P H, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of “production-living-ecological space”

- in Jialing River Basin[J]. Journal of China West Normal University (Natural Science), 2024, 45(5): 511-521
- [29] 张初蕊, 陈立欣, 王丽群, 等. 黄河流域生态系统服务价值时空异质性及驱动因素分析[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(6): 70-81
- ZHANG C R, CHEN L X, WANG L Q, et al. Spatiotemporal heterogeneity and driving factors of ecosystem service value in the Yellow River Basin[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6): 70-81
- [30] 孔亚暉, 司淑婷, 张德玉. 黄河流域山东段国土空间格局演变及驱动因素研究[J]. 国土资源科技管理, 2024, 41(4): 61-73
- KONG Y W, SI S T, ZHANG D Y. Analysis of the evolution of land spatial patterns and driving factors in the Shandong section of the Yellow River Basin[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2024, 41(4): 61-73
- [31] 王子懿, 洪敏, 刘晓峰. 黄河中游土地利用时空变化格局与趋势预测[J]. 遥感技术与应用, 2025, 40(3): 748-760
- WANG Z Y, HONG M, LIU X F. Spatial and temporal change pattern and trend prediction of land use in the middle reaches of the Yellow River[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2025, 40(3): 748-760
- [32] 姜媛媛. 黄河流域土地利用变化对生态系统服务价值影响及情景模拟[D]. 开封: 河南大学, 2023: 11
- LOU Y Y. Impact of land use change on ecosystem service value in the yellow river basin and scenario simulation[D]. Kaifeng: Henan University, 2023: 11
- [33] 王坤. 长江三角洲地区土地利用/覆被变化及其生态效应分析[D]. 徐州: 江苏师范大学, 2019: 11
- WANG K. Analysis on land use/cover changes and its ecological effects in the Yangtze river delta, China [D]. Xuzhou: Jiangsu Normal University, 2019: 11
- [34] 马妍妍. 现代黄河三角洲海岸带环境演变[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 13
- MA Y Y. Evolution of modern yellow river delta coastal environment[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008: 13
- [35] 端木礼明. 小浪底水库运用后黄河下游游荡性河段河势变化分析研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2002: 7
- DUANMU L M. Analysis and study on river regime change in wandering reach of the lower Yellow River after Xiaolangdi Reservoir is put into operation[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2002: 7
- [36] 张文慧. 黄河三角洲土地利用转型时空格局及其驱动机制研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2021: 13
- ZHANG W H. Study on the spatiotemporal pattern and driving mechanism of land use transition in the Yellow River Delta [D]. Qufu: Qufu Normal University, 2021: 13
- [37] 周平, 蒙古军. 鄂尔多斯市1988—2000年土壤水力侵蚀与土地利用时空变化关系[J]. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1706-1717
- ZHOU P, MENG J J. The temporal and spatial variability relationship of soil water erosion and land use type in Ordos during the period of 1988-2000 [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(10): 1706-1717
- [38] 李晶, 蒙古军, 毛熙彦. 基于最小累积阻力模型的农牧交错带土地利用生态安全格局构建——以鄂尔多斯市准格尔旗为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(4): 707-715
- LI J, MENG J J, MAO X Y. MCR based model for developing land use ecological security pattern in farming-pastoral zone: a case study of Jungar Banner, Ordos [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2013, 49(4): 707-715
- [39] WANG S Y, LIU J S, MA T B. Dynamics and changes in spatial patterns of land use in Yellow River Basin, China[J]. Land Use Policy, 2010, 27(2): 313-323
- [40] 徐新良, 刘纪远, 庄大方. 国家尺度土地利用/覆被变化遥感监测方法[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 2365-2369
- XU X L, LIU J Y, ZHUANG D F. Remote sensing monitoring methods of land use/cover change in national scale[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(4): 2365-2369
- [41] 杨洁. 黄河流域草地生态系统服务功能及其权衡协同关系研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021: 41
- YANG J. Study on the service function of grassland ecosystem and its trade-off synergy in the Yellow River Basin [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2021: 41
- [42] 戚登臣, 陈文业, 郑华平, 等. 甘南黄河上游水源补给区“黑土滩”型退化草地现状、成因及综合治理对策[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1058-1063
- QI D C, CHEN W Y, ZHENG H P, et al. Status, causes and comprehensive treatment of “black beach like” degraded pasture in water replenishment region of upper Yellow River in south of Gansu Province[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(6): 1058-1063
- [43] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 基于InVEST和CA-Markov模型的黄河流域碳储量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6): 1018-1029
- YANG J, XIE B P, ZHANG D G. Spatio-temporal evolution of carbon stocks in the Yellow River Basin based on InVEST and CA-Markov models [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(6): 1018-1029
- [44] 田霞飞, 薛炯, 廖杰, 等. 1990—2010年黄河宁蒙段所处流域土地利用变化[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1167-1176
- TIAN X F, XUE X, LIAO J, et al. Land use change in the watershed of the Ningxia-inner Mongolia reaches of the Yellow River during 1990-2010 [J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(4): 1167-1176
- [45] 郭梅, 刘文飞. 黄河流域能源富集区土地利用与生态系统服务价值分析[J]. 人民黄河, 2023, 45(6): 98-104, 110
- GUO M, LIU W F. Analysis of land use and ecosystem service values in energy-rich area of the Yellow River Basin [J]. Yellow River, 2023, 45(6): 98-104, 110
- [46] 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
- FU L, CHI Y Y, YU Y, et al. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River Basin from 2000 to 2020 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(10): 1927-1938