

## 晋北地区土地利用/覆盖时空格局演变分析

魏小勇<sup>1,2</sup>, 周传芳<sup>1,2\*</sup>, 郑吉林<sup>1,2</sup>, 郭晓宇<sup>1,2</sup>, 孙彦峰<sup>1,2</sup>, 贾立明<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 哈尔滨 150086;

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 哈尔滨 150086)

**摘要:**本研究以晋北地区 1990 年、2000 年、2013 年和 2019 年的遥感影像为数据源, 采用监督分类方法提取土地利用信息。通过应用转移矩阵分析土地利用类型间的转换关系, 计算变化率衡量变化程度, 并结合信息熵模型评估系统不确定性及复杂性, 阐明了晋北地区土地利用类型的时空变化规律。研究表明: 1990–2019 年间, 耕地和草地呈减少趋势, 年均变化率分别为 -0.49% 和 -0.26%; 园地、林地、水域用地和人工用地则持续扩张, 年均增长率分别为 6.13%、0.19%、0.55% 和 3.06%。同时, 土地利用结构信息熵与均衡度持续上升。研究期内, 晋北地区土地利用格局发生了显著转化, 该成果为区域国土空间规划与生态环境保护提供了重要数据支撑。

**关键词:**土地利用/覆盖变化; 转移矩阵; 变化指数; 信息熵; 晋北地区

**中图分类号:** P962

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-2736(2025)09-0012-11

### 0 引言

土地作为一种珍稀且不可再生的自然资源, 是人类生存与发展的基础要素之一<sup>[1]</sup>。土地利用/覆盖(LUCC)格局揭示了地表覆被的空间分布规律及其类型间的结构关联, 其动态演化深刻影响着生态系统的生产力与服务功能<sup>[2,3]</sup>。因此, 深入分析土地利用变化趋势, 对于科学实施土地资源管理、优化国土空间布局、促进土地资源可持续利用以及提升区域环境质量, 具有重要的理论价值与实践意义。遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术具备高效性、准确性及数据更新时效性高等优势, 为有效监测与分析 LUCC 动态变化提供了强有力的技术支撑<sup>[4-10]</sup>。

晋北地区地处风水蚀交错带, 水土流失严重, 地表生态环境具有显著的时空异质性。作为京津冀地区的重要生态屏障, 该区域不仅是京津三大风沙源的核心区, 也是我国北方沙尘暴天气的重要诱因<sup>[11]</sup>。近几十年来, 在人口增加和经

济快速发展的驱动下, 该区域土地利用变化剧烈。众多学者对此开展了研究: 李彩霞等分析了大同市 1987 年和 2000 年的景观格局动态<sup>[12]</sup>; 徐小明等探讨了晋北地区 1986–2010 年土地利用的时空格局及其驱动机制<sup>[13]</sup>; 王冬辰等利用 1993、2002、2009 及 2013 年数据研究了大同市近 20 年的 LUCC 变化<sup>[14]</sup>; 郝晓敬等则基于 2010 和 2015 年数据预测了 2020 年晋北地区的土地利用情景<sup>[15]</sup>。然而, 现有研究多集中于东部区域, 对生态环境敏感且矿产富集的西部山区(矿集区)关注不足, 对 2015 年之后特别是近期国土空间规划和生态修复政策实施后的土地利用变化研究更为缺乏。值得关注的是, 近年来, 晋北地区通过多重产业结构调整 and 持续的生态修复政策, 其土地覆盖格局可能已呈现积极变化趋势。为系统评估这些生态修复措施与政策调整带来的长期成效, 填补对西部矿集区及近期变化研究的空白, 本研究基于晋北地区近 30 年的四期 Landsat 遥感影像, 综合运用多种土地利用变化

**基金项目:** 中国地质调查局地质调查项目(DD20208069, DD20230504)。



图1 研究区地理位置图

分析模型,深入解析区域土地利用/覆盖格局的演变特征,旨在为该地区的国土空间优化布局与自然资源可持续管理提供切实可靠的科学决策依据。

## 1 研究区和数据源

### 1.1 研究区概况

研究区位于山西省东北部(图1),行政范围涵盖大同市、朔州市及忻州市(宁武县、繁峙县、原平县、五台县、代县)。其大地构造位于黄土高原东北边缘与太行山脉交汇区,属温带灌丛草原地带,海拔介于893-2426m之间。该区气候为典型的温带季风大陆性气候,多年平均气温约6.4℃,降水量集中于夏季(6-8月),年平均降水量389mm。地理坐标为北纬38°30'-40°21',东经111°51'-114°31'。受独特的黄土高原气候条件及长期矿产资源开发的叠加影响,晋北地区生态环境呈现显著的脆弱性特征。桑干河作为永

定河上游的核心水源地,发源于本区域,对维系华北地区生态安全具有不可替代的战略意义,享有“华北水塔”的重要生态区位地位。

### 1.2 数据源与处理

遥感影像主要选用四期Landsat卫星数据作为监测基础:包括1990年(Landsat 5 TM)、2000年(Landsat 7 ETM+)、2013年和2019年(Landsat 8 OLI)。各传感器详细信息见表1。所有入选影像均满足云量遮蔽率低于10%的标准且具有良好的地物可分性(可解译性强)。图像采集时间均控制在植被生长旺盛的雨季(6-8月),以最大程度保障土地覆盖/利用类型判读的准确性。

对原始遥感影像开展预处理(包括辐射定标、几何校正、影像镶嵌与配准、彩色合成及图像融合),获取晋北地区地表反射率产品。结合DEM数据纹理特征共同构建研究区分类特征空

表 1 遥感影像数据传感器信息表

TM			ETM			OLI		
波段名称	波段范围 (m)	空间分辨率 (m)	波段名称	波段范围 (m)	空间分辨率 (m)	波段名称	波段范围 (m)	空间分辨率 (m)
						Band1	0.433-0.453	30
Band1	0.45-0.52	30	Band1	0.450-0.515	30	Band2	0.450-0.515	30
Band2	0.52-0.60	30	Band2	0.525-0.605	30	Band3	0.525-0.600	30
Band3	0.63-0.69	30	Band3	0.630-0.690	30	Band4	0.630-0.680	30
Band4	0.76-0.90	30	Band4	0.775-0.900	30	Band5	0.845-0.885	30
Band5	1.55-1.75	30	Band5	1.550-1.750	30	Band6	1.560-1.660	30
Band7	2.08-2.35	30	Band7	2.090-2.350	30	Band7	2.100-2.300	30
			Band8	0.420-0.990	15	Band8	0.500-0.680	15
						Band9	1.360-1.390	30
Band6	10.40-12.50	120	Band6	10.40-12.50	60	Band10	10.6-11.2	100
						Band11	11.5-12.5	100

间<sup>[16,17]</sup>。基于《第三次全国土地调查工作分类》的土地利用分类体系,并针对晋北地表覆盖特征,本研究将土地覆盖类型整合为 12 类:耕地、林地、草地、园地、商服用地、特殊用地、工业仓储用地、住宅用地、水域及水利设施用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地、其他土地。

## 2 研究方法

为了定量分析土地利用变化特征,综合采用土地利用/覆盖变化率指数、转移矩阵及信息熵模型,从数量变化、转移过程与系统复杂性三个维度进行研究<sup>[18-20]</sup>。

### 2.1 土地利用分类

选取四期经预处理的影像样本,在 ENVI 软件中计算各类别间的统计距离,以评估其差异程度与样本可分离性。利用主成分变换法(即 K-L 变换)分析所有波段用于分类的必要性。随后采用最大似然法进行监督分类,并应用多数决策法剔除四期分类结果中的孤立像元,显著提升了分类后影像的平滑度与精度<sup>[21]</sup>。最终,经目视判读和人工修正后,生成研究区土地利用/覆盖分布图(图 2)。

### 2.2 土地利用/覆盖变化率指数

本次选用土地利用动态度模型进行定量计算分析<sup>[22]</sup>。其计算公式如下:

$$K = (U_b - U_a) / U_a \times 1/T \times 100\% \quad (1)$$

式中, $K$  为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、研究末期某一土地利用类型的数量; $T$  为研究时段长,单位为年。

### 2.3 土地利用结构信息熵模型

利用信息熵模型来确定土地利用系统动态发展的有序度,其值越小,土地利用系统内部结构越有序<sup>[23]</sup>,计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$P_i = \frac{A_i}{A} = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

式中, $H$  为土地利用结构信息熵; $P_i$  为  $i$  类土地利用类型在总面积中的占比; $A$  为土地类型总面积; $A_i$  为  $i$  类土地类型的面积<sup>[24,25]</sup>。

通过信息熵的公式,可以推导出区域土地利用结构的均衡度和集中度,均衡度反映其平衡性,集中度突显主导类型,从而更深入地理解土地资源的配置和利用情况,为土地规划与管理提

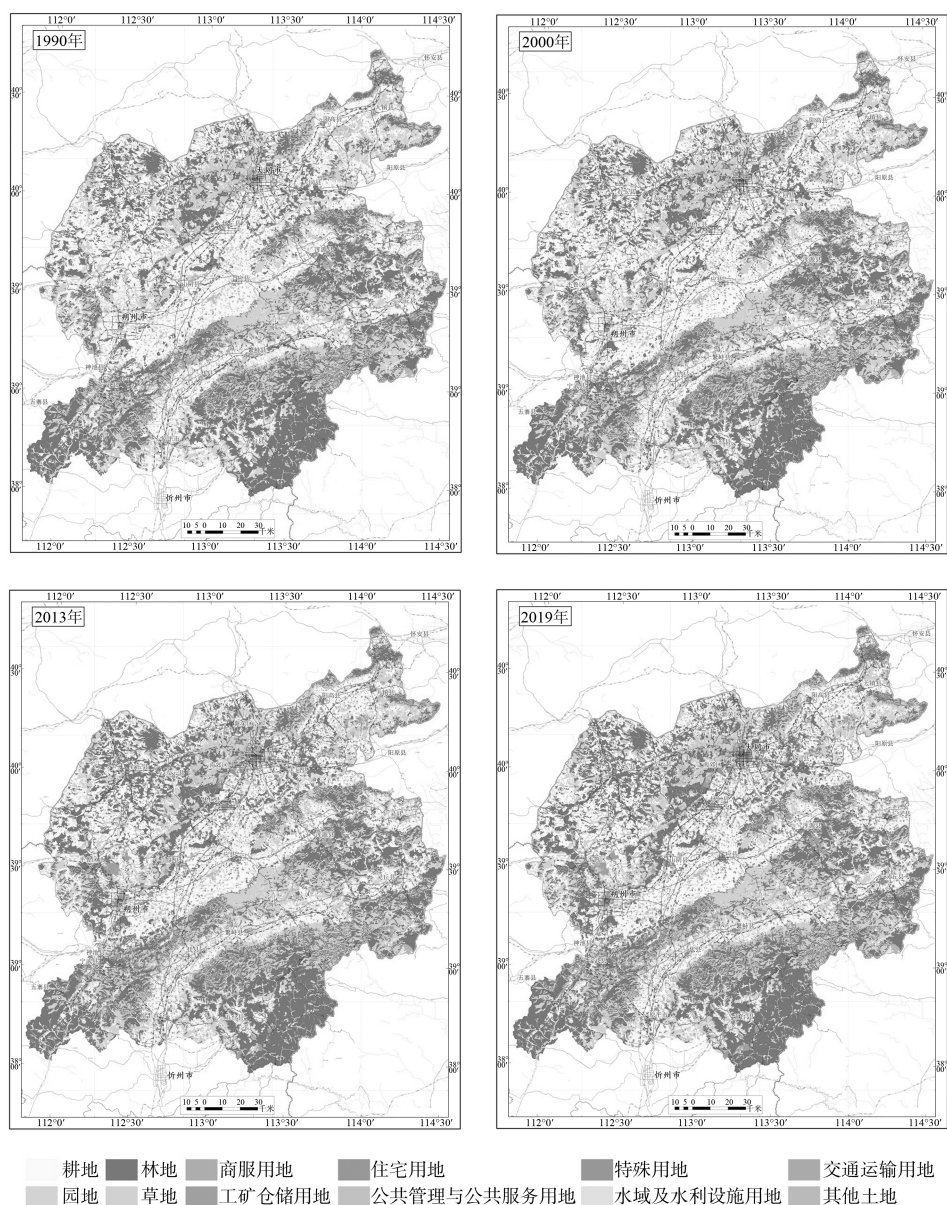


图2 晋北地区1990年、2000年、2013年、2019年土地利用/覆盖类型图

供决策依据。

$$J = - \frac{\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i}{\ln N} \quad (4)$$

$$I = 1 - J \quad (5)$$

式中,  $J$  为均衡度, 取值为  $0 \sim 1$ ,  $J$  值越大, 表明该区域内不同职能的土地利用类型较多, 且各类土地的面积分布相对均匀, 没有明显的面积差异;  $I$  为集中度, 反映区域土地利用的集中程度, 当  $I$  值较低时, 则表明土地利用类型相对分散, 各类土地面积分布较为均匀。

## 2.4 土地覆盖转移矩阵

转移矩阵通过矩阵形式直观地展现了土地覆盖类型在研究期间的面积变化, 揭示了从研究初期到末期各类土地覆盖类型的转化情况, 定量分析了期初土地类型的流转方向和期末土地覆盖类型的来源, 进而揭示其时空变化的动态过程:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中:  $S$  为面积;  $n$  为土地利用种类数;  $i, j$  分

表 2 1990-2019 年晋北地区土地利用/覆盖面积统计

土地覆盖类型	数据统计/面积(km <sup>2</sup> )			
	1990 年	2000 年	2013 年	2019 年
耕地	12715.07	12825.22	11021.33	10908.23
园地	160.85	173.11	446.32	446.60
林地	11421.19	11442.05	12125.08	12053.98
草地	9950.40	9717.32	9348.39	9206.03
商服用地	0.03	0.21	0.69	1.31
工矿仓储用地	341.50	377.29	1133.03	1321.81
住宅用地	1310.01	1361.61	1675.79	1718.24
公共管理与公共服务用地	1.58	1.58	9.18	81.74
特殊用地	2.97	2.97	6.83	7.96
交通运输用地	38.89	46.90	138.58	140.36
水域及水利设施用地	110.34	104.01	119.97	128.07
其他土地	123.69	124.26	151.34	162.19

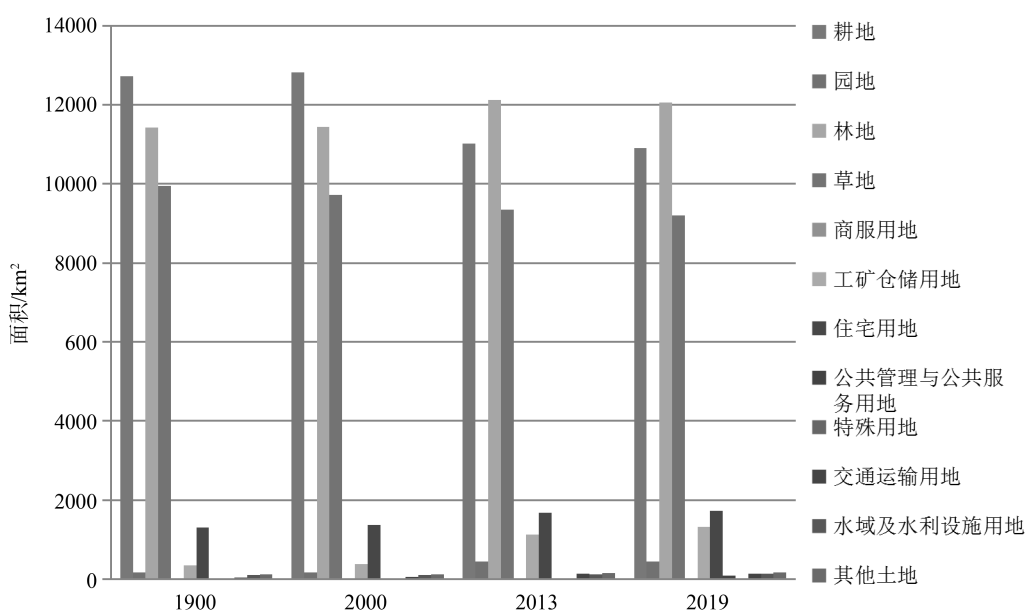


图 3 1990-2019 年晋北地区土地利用/覆盖面积统计图

别为研究期初/末的土地利用类型。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用状况及变化率指数分析

对四期土地利用类型图进行统计分析(表 2、图 3),结果显示:1990-2019 年,晋北地区土地利用以耕地、林地、草地为主导。其中,2000 年三者

比例(草地 26.86%、林地 31.63%、耕地 35.15%)合计达 93.64%,其余地类仅占 6.36%。期间,耕地、林地、草地、工矿仓储用地与住宅用地的变化最为显著。近三十年间,耕地面积锐减 1806.84km<sup>2</sup>,占比自 35.15%降至 30.15%;林地面积增加 632.79km<sup>2</sup>,占比从 31.57%升至 33.32%;草地面积减少 744.37km<sup>2</sup>,占比由 27.51%降至 25.45%;工矿仓储用地猛增 980.31km<sup>2</sup>,占比从

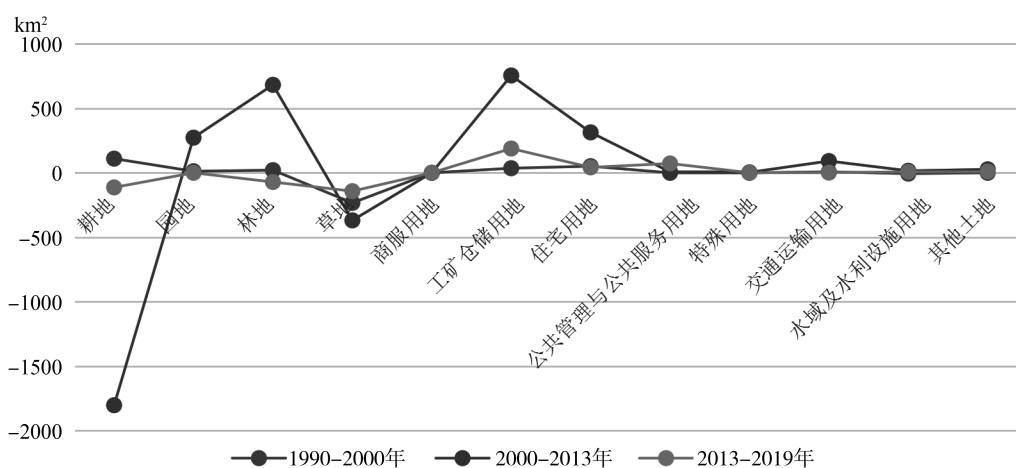


图 4 不同时段土地利用变化曲线图

表 3 1990-2019 年晋北地区土地利用/覆盖面积变化率指数

时段	变 化 量	变化指数/%											
		耕地	园地	林地	草地	商服 用地	工矿 用地	住宅 用地	公共 用地	特殊 用地	交通 用地	水域 用地	其他 土地
1990-	P	0.87	7.62	0.18	-2.34	600.00	10.48	3.94	0.00	0.00	20.60	-5.74	0.46
2000	R <sub>s</sub>	0.09	0.76	0.02	-0.23	60.00	1.05	0.39	0.00	0.00	2.06	-0.57	0.05
2000-	P	-14.07	157.82	5.97	-3.80	228.57	200.31	23.07	481.01	129.97	195.48	15.34	21.79
2013	R <sub>s</sub>	-1.08	12.14	0.46	-0.29	17.58	15.41	1.77	37.00	10.00	15.04	1.18	1.68
2013-	P	-1.03	0.06	-0.59	-1.52	89.86	16.66	2.53	790.41	16.54	1.28	6.75	7.17
2019	R <sub>s</sub>	-0.17	0.01	-0.10	-0.25	14.98	2.78	0.42	131.74	2.76	0.21	1.13	1.19

注:表中工矿用地为工矿仓储用地、公共用地为公共管理与公共服务用地、交通用地为交通运输用地、水域用地为水域及水利设施用地。

0.94% 跃升至 3.65%; 住宅用地增长 408.23km<sup>2</sup>,占比自 3.62%提升至 4.75%。研究表明,上述变化主要源于政府推行退耕还林等生态保护政策,以及工矿开发与城镇化的持续推进。

基于四期土地利用面积数据,计算了各地类的时段及年均变化率(表 3,图 4)。通过分时段对比发现:耕地在 1990-2019 年整体呈现下降趋势,年均减少 0.49%;然而,1990-2000 年却有所增加,主要归因于当时的垦荒热潮(将林地和草地转化为耕地以增产粮食)。2000-2019 年其减速率加快,主要受工矿开发和城镇化进程(大量占用耕地)驱动。园地在 1990-2019 年增长有

限,但 2000-2013 年间以年均 12.14% 的速度快速扩张,2013 年后趋于稳定。其增加源于农业产业结构调整,将部分低产耕地转用为园地。林地在 1990-2013 年年均增长 0.2%,受益于退耕还林政策;但 2013-2019 年转为微弱下行趋势(年均减少 0.098%),主要受城镇化进程影响。草地在 1990-2019 年持续减少,年均下降 0.258%,主要原因是农田开垦、城镇化建设以及向林地的转化。水域及水利设施用地在 1990-2019 年整体变化较小。人工建筑用地及其他土地在 1990-2019 年持续快速扩张,年均增长 3.06%,尤以 2000-2013 年增速显著(年均 4.82%);这一趋势主要源于伴随城镇化、经济高

表 4 1990-2019 年晋北地区土地利用结构及信息熵

指 标	年 份			
	1990 年	2000 年	2013 年	2019 年
信息熵(H)	1.320	1.328	1.450	1.478
均衡度(J)	0.531	0.534	0.584	0.595
集中度(I)	0.469	0.466	0.416	0.405

注:信息熵是基于自然对数计算,单位为奈特(nat)。

速发展而来的自然资源(特别是土地)大量占用;2013-2019年,随着生态文明与和谐社会理念的深入贯彻,侵占速度有所放缓。

### 3.2 时间序列的熵变分析

晋北地区 1990-2019 年土地利用结构信息熵、均衡度和集中度显示(表 4):①1990-2019 年晋北地区土地利用结构信息熵呈上升的趋势,年平均上升率为 0.41%,在上升过程中,可划分出三个阶段(1990-2000 年、2000-2013 年、2013-2019 年),其中 2000-2013 年上升幅度较大,其余时间段的上升幅度相近。②均衡度同样划分三个阶段,上升幅度同信息熵相近,但是集中度有所下降。以上结果说明,在研究期间内土地利用结构逐渐趋于多元化和均衡化,各类土地利用类型的均衡性有所增强,而单一类型的集中度则呈现下降趋势。

进一步分析土地利用结构的动态变化,形成以上趋势主要原因是政府越来越重视生态环境保护与经济社会发展的相互作用,国土空间规划更加趋于合理。在晋北地区,土地利用内部结构调整导致土地利用结构信息熵发生变化,具体表现为园地、人工建筑用地及其他土地不断增加,而耕地、林地和草地则不断减少。同时,均衡度的不断增加也反映了区域土地利用均衡程度的提高。

### 3.3 土地利用/覆盖类型转移矩阵分析

根据土地利用/覆盖分类图,做出土地利用类型转移图,并得出 1990-2019 年晋北地区土地利用/覆盖变化转移矩阵,为减少数据冗杂,将商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公

共服务用地、特殊用地、交通运输用地、其他土地合并为人工建筑用地及其他土地(表 5,图 5),分析晋北地区土地利用/覆被的时空变化规律。

1990-2000 年间:耕地增加 110.14km<sup>2</sup>,新增区域集中于阳高县、天镇县、怀仁市、山阴县、应县、朔城区等地。这主要源于当时旨在增加粮食产量的垦荒活动,导致林地和草地向耕地转化。园地增加 12.26km<sup>2</sup>,新增区域主要分布在大同市下辖的浑源县、广灵县、灵丘县等地。其主要来源为农业产业结构调整中的耕地转用。林地增加 20.86km<sup>2</sup>,新增区域集中于怀仁市、山阴县、应县、朔城区。增加的林地主要来源于耕地和草地的转化,是区域内对抗风沙、植树造林以防风固沙的结果(部分沙化耕地和草地被转化为林地)。草地减少 233.08km<sup>2</sup>,主要流失方向为耕地,原因在于农田开垦。水域及水利设施用地减少 6.32km<sup>2</sup>,部分干涸的河床被转化为草地或耕地。人工建筑用地及其他土地增加 13.73km<sup>2</sup>,新增区域主要围绕大同盆地核心城镇。其所占新增土地主要来源于耕地与草地的占用。

2000-2013 年间,研究区土地利用格局发生显著变化:耕地大幅减少 1803.89km<sup>2</sup>(占 2013 年耕地面积的 16.37%),减少区域集中于西北部山区,主要转化为林地,驱动因素是农业产业结构调整(鼓励多种经营)以及对生态脆弱和低产区域的退耕还林/还草政策;基于同一政策背景及结构调整需求,园地显著增加 273.20km<sup>2</sup>(+61.21%),新增区域同样多在西北部山区,主要来源于低产耕地的转化;同期,林地增加 683.03km<sup>2</sup>(+5.63%),增长区域位于西北部山

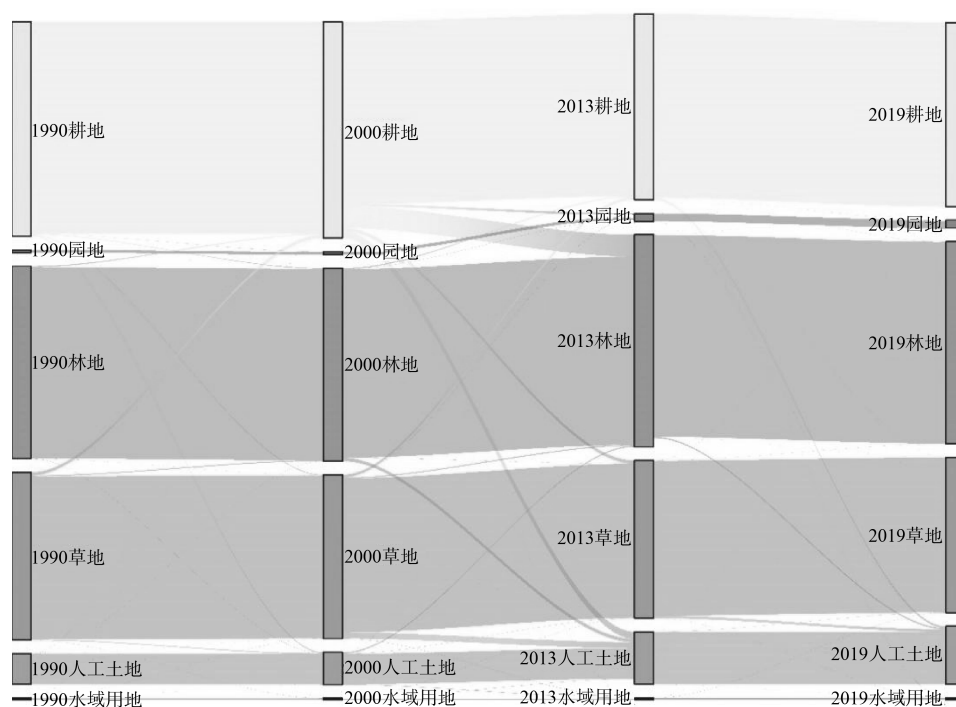


图 5 土地利用类型变化桑基图

表 5 不同时段土地利用转移矩阵

时段	项目	项 目						
		耕地	园地	林地	草地	水域用地	人工土地	转入
1990-2000	耕地	12569.75	0.00	59.24	182.13	5.73	8.37	255.47
	园地	10.81	160.85	0.71	0.74	0.00	0.00	12.26
	林地	41.35	0.00	11343.88	50.67	0.00	6.16	98.18
	草地	40.40	0.00	3.36	9664.71	6.20	2.65	52.61
	水域用地	0.86	0.00	0.00	5.17	97.99	0.00	6.03
	人工土地	51.90	0.00	14.00	46.98	0.42	1801.49	113.30
	转出	145.32	0.00	77.31	285.69	12.35	17.18	
2000-2013	耕地	10804.46	0.03	60.01	148.32	1.33	7.18	216.87
	园地	126.46	172.04	10.61	12.63	0.00	0.00	274.29
	林地	1281.61	0.30	11167.15	57.07	1.24	69.49	1409.71
	草地	187.40	0.00	4.57	9136.93	6.18	13.31	211.46
	水域用地	6.13	0.00	0.23	11.22	83.24	19.15	36.73
	人工土地	419.16	0.74	199.48	351.15	12.02	1805.69	982.55
	转出	2020.76	1.07	274.90	580.39	20.77	109.13	
2013-2019	耕地	10899.65	0.3	1.72	5.46	0	1.10	8.58
	园地	4.71	460.53	0.00	0.00	0.00	1.36	6.07
	林地	7.33	0.00	11972.37	3.67	0.09	0.42	11.51
	草地	4.60	0.00	1.56	9183.37	5.81	10.69	22.66
	水域用地	8.62	0.00	0.16	4.20	113.91	1.18	14.16
	人工土地	96.42	5.49	78.17	151.69	0.16	3100.69	331.93
	转出	121.68	5.79	81.61	165.02	6.06	14.75	

区和东部恒山沿线,主要源于退耕还林政策下原先毁林开垦的耕地重新恢复了林地;草地则减少 368.93km<sup>2</sup>(-3.95%),损失集中在西北部山区和东部恒山沿线,主要被工矿仓储用地(如住宅和工业用地)占用,反映城镇周边开发的需求;水域及水利设施用地增加 15.96km<sup>2</sup>(+13.3%),新增区域主要在中部大同盆地平原区,可能由于草本湿地演变为地表水面及部分废弃土地积水形成坑塘;而人工建筑及其他土地(主要包括建设用地)剧增 1200.15km<sup>2</sup>(+38.52%),其扩张核心在中部大同盆地平原区(大同市、朔州市周边及各城镇),造成耕地、林地和草地资源被大规模侵占,这成为该时期经济高速发展的直接体现。

2013-2019 年间,区域土地利用持续演变:耕地缩减 113.10km<sup>2</sup>(减少区域小而分散),主要受农业结构调整与城镇化建设占用双重压力;园地微增 0.29km<sup>2</sup>(集中于右玉县),主要为农业结构调整下耕地转化所致;林地减少 71.10km<sup>2</sup>(集中于城市周边),原因包括为补充城镇建设占用的耕地而开垦林地(“占补平衡”机制)及部分林地转化为城市绿地景观;草地缩减 142.38km<sup>2</sup>(减少分散),主要转化为工矿仓储、公共服务等建设用地,驱动因素是城镇扩张带来的工业、住宅、公共设施及交通水利建设;水域用地增加 8.11km<sup>2</sup>(云州区、应县、怀仁市较显著),源于水库修建与湿地保护政策促进了耕地、草地向水域用地的转化;人工建筑及其他土地扩张 317.55km<sup>2</sup>(集中于两市城郊及各区县城镇周边),草地是其最主要的转入来源,但在生态文明建设理念推动下,资源占用速度已呈现明显放缓趋势。

#### 4 结论

1990-2019 年,晋北地区土地利用/覆盖变化表现为耕地、林地和草地先增加后减少,园地小幅增长,水域总体变化不大,人工用地特别是工矿仓储用地和住宅用地增加较快,到 2013 年各类用地变化趋于平稳。耕地和草地分别以每

年 0.49%、0.26% 的速率减少,园地、林地、水域用地和人工用地分别以每年 6.13%、0.19%、0.55% 和 3.06% 的速率增加。引起变化的主要原因是政策导向的指引和城镇化的发展。

土地利用覆盖变化受政策影响因素较大,耕地的转出量远高于转入量,这是由于农业产业结构的调整以及城镇化的发展。林地在 2013 年左右达到峰值,是因为退耕还林还草,防风固沙,三北防护林的建设。草地的持续减少主要是城镇周边农田开垦及防风固沙林建设使得草地向耕地和林地转化。人工用地增长较快,是由于城镇化建设的不断推进,大量的耕地、林地、草地、湿地等资源被用于人工建筑,各类自然资源随着社会经济的发展不断萎缩。2013-2019 年随着生态文明建设、和谐社会等发展理念的提出,自然资源被占用的速度明显放缓。

1990-2019 年间,晋北地区土地利用结构信息熵与均衡度持续升高,表明区域土地利用结构正朝向多元均衡方向演进。“宜山则山、宜林则林”的布局理念得以深化落实,国土空间格局持续优化,土地综合利用率稳步提升。随着生态文明建设的深入推进,该区域土地利用模式正逐步转向更具可持续性的发展轨道。

#### 参考文献(References):

- [1] 喻恺阳,张瑞,魏文革,等.基于高分影像的神木县大柳塔镇土地利用动态监测[J].水土保持通报,2018,38(01):135-139.
- [2] 肖笃宁,解伏菊,魏建兵.景观价值与景观保护评价[J].地理科学,2006,26(04):4506-4512.
- [3] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(04):441-446.
- [4] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(06):553-558.
- [5] 马中华,张勃,张建香,等.疏勒河中游土地利用动态变化分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(08):97-101.
- [6] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变

- 化的空间格局分析[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2002, 6(12): 1031-1050.
- [7] 宋明明, 都金康, 郑文龙, 等. 秦淮河流域近 30 年不透水面景观格局时空演变研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(02): 238-247.
- [8] 匡文慧, 张树文, 杜国明, 等. 2015—2020 年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. 地理学报, 2022, 77(05): 1056-1071
- [9] 夏双, 阮仁宗, 颜梅春, 等. 洪泽湖区土地利用/覆盖变化分析[J]. 遥感信息, 2013, 28(01): 54-59.
- [10] 范树平, 刘友兆, 程从坤, 等. 快速城镇化地区土地利用演变及驱动机制: 以巢湖流域为例[J]. 水土保持通报, 2017, 37(02): 253-260.
- [11] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错区治理的重要性与紧迫性[J]. 中国水土保持, 2000, 20(11): 11-12.
- [12] 李彩霞, 孙虎. 大同市土地利用/覆盖动态变化研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(02): 282-286.
- [13] 徐小明, 杜自强, 张红, 等. 晋北地区 1986-2010 年土地利用/覆被变化的驱动力[J]. 中国环境科学, 2016, 36(07): 2154-2161.
- [14] 王冬辰, 杜培军, 苏红军, 等. 近 20 年大同市土地利用/覆盖遥感变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 7(29): 68-75.
- [15] 郝晓敬, 张红, 徐小明, 等. 晋北地区土地利用覆被格局的演变与模拟[J]. 生态学报, 2020, 40(01): 257-265.
- [16] 杜培军, 柳思聪. 融合多特征的遥感影像变化检测[J]. 遥感学报, 2012, 16(04): 670-677.
- [17] 张景, 陈国光, 张定源, 等. 福建省区位优势度与区域经济相关性分析[J]. 华东地质, 2020, 41(03): 288-294.
- [18] 祖立辉, 杨静, 苗世源. 基于遥感影像的临湘市土地利用/覆盖时空变化研究[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(02): 30-35.
- [19] 刘云, 康卉君. 2002—2019 年江西省省级地质灾害气象预警分析[J]. 华东地质, 2020, 41(04): 416-424.
- [20] 刘伟, 黄运翠瑶, 范超. 江西省宁都县地下地热地质特征及资源评价[J]. 华东地质, 2020, 41(04): 375-380.
- [21] 邓书斌, 陈秋锦, 社会建, 等. ENVI 遥感图像处理方法(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [22] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [23] 匡兵, 周敏, 陈丹玲. 岳阳市土地利用结构变化与土地利用绩效的关联度分析[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(01): 137-142.
- [24] 程宪波, 杨子生. 云南省昭通市土地利用时空变化特征及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2018, 38(02): 166-170.
- [25] 林珍铭, 夏斌, 董武娟. 基于信息熵的广东省土地利用结构时空变化分析[J]. 热带地理, 2011, 31(03): 266-271.

作者简介:

第一作者: 魏小勇, 1988 年生, 男, 陕西旬邑人, 硕士, 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 高级工程师, 主要研究方向为生态地质及国土空间生态修复。Email: 353975849@ qq. com;

通讯作者: 周传芳, 1985 年生, 男, 黑龙江兰西人, 硕士, 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 正高级工程师, 主要研究方向为生态地质调查。Email: 546011015@ qq. com

## **Analysis of Spatiotemporal Evolution Characteristics of Land Use and Land Cover in North Shanxi Province**

WEI Xiaoyong<sup>1,2</sup>, ZHOU Chuanfang<sup>1,2\*</sup>, ZHENG Jilin<sup>1,2</sup>, GUO Xiaoyu<sup>1,2</sup>, SUN Yanfeng<sup>1,2</sup>, JIA Liming<sup>1,2</sup>

(1. Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin 150086, China;

2. Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Harbin, Ministry of Natural Resources, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Using remote sensing images in 1990, 2000, 2013 and 2019, the land use information in northern Shanxi was extracted by supervised classification. By applying a transition matrix to analyze the conversion relationships of land use types, calculating change indices to measure the degree of change, and utilizing an information entropy model to assess the uncertainty and complexity of the system, we are able to comprehensively reveal the spatio-temporal patterns of land use change in northern Shanxi. The results show that the average annual reduction rate of cultivated land and grassland are 0.49% and 0.26%, and the average annual increase rate of garden land, woodland, water area and artificial land are 6.13%, 0.19%, 0.55% and 3.06%, respectively. The information entropy and equilibrium of land use structure have been continuously improved. During the study period, obvious changes have taken place in the structure of land use types in northern Shanxi, which provides substantial data support for territorial spatial planning and ecological environment protection in northern Shanxi.

**Key words:** LUCC; transfer matrix; change index; information entropy; North Shanxi Province