

doi: 10.6046/zrzyyg.2022311

引用格式: 崔国月, 王世东, 张学军. 1991—2021年雄安新区土地利用与植被覆盖变化遥感研究[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(4): 214–225. (Cui D Y, Wang S D, Zhang X J. A remote sensing-based study on change in land use and vegetation cover in Xiong'an New Area from 1991 to 2021[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(4): 214–225.)

1991—2021年雄安新区土地利用与植被覆盖变化遥感研究

崔国月¹, 王世东¹, 张学军²

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 2. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 郑州 450001)

摘要: 为研究雄安新区1991—2021年间土地利用与植被覆盖变化,以5个时期的Landsat TM/OLI数据为基础,采用GIS技术与图谱融合法探究雄安新区30 a土地利用变化特征;利用像元二分模型提取植被覆盖信息,并分析30 a植被覆盖变化特征;利用地理探测器模型探测植被覆盖变化的潜在驱动因素,并借鉴图谱融合法分析土地利用变化对植被覆盖变化的影响。结果表明:①1991—2021年,雄安新区建设用地面积整体增长108.09 km²,转入面积主要来源于耕地和其他用地;其他用地面积整体减少108.17 km²,流出面积主要变成耕地;林草面积增加11.56 km²,转入面积主要来源于水域和其他用地;水域面积减少38.76 km²,主要流向耕地和其他用地;耕地面积无明显变化。②30 a间,雄安新区植被覆盖情况整体较好,中、高及以上植被覆盖度面积占比超过50.00%,整体呈现“安新县高,容城县中等,雄县低”的空间分布。从阶段性变化来看,1991—2001年呈退化趋势,退化面积占比达到39.15%;2001—2021年呈改善趋势,改善面积占比最高达到47.55%。③植被覆盖变化存在空间分异性,人口密度变化、GDP变化、土壤类型和土壤质地对植被覆盖变化具有较大影响,高程和坡度对其影响较小;建设用地和其他用地向耕地的转化是植被明显改善的重要原因,耕地向其他用地的转化是植被严重退化的重要原因。研究结果可为雄安新区的可持续发展提供一定的科学依据和对策建议。

关键词: 雄安新区; 植被覆盖变化; 土地利用变化; 地理探测器; 驱动因素

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)04-0214-12

0 引言

雄安新区于2017年4月1日由国务院宣布成立,这一国家型战略的提出,意味着雄安新区将成为继深圳经济特区和浦东新区之后又一个具有全国意义的新区^[1-2],因此,雄安新区的生态问题得到了广泛关注。植被作为区域的重要生态屏障,对区域的生态安全和可持续发展起着不可替代的作用,而植被覆盖信息的提取及植被覆盖变化的驱动因素分析对揭示生态系统环境变化、植被恢复和重建布局具有重要意义^[3]。对于大面积区域的植被覆盖信息提取,需要具有长序性和区域性的遥感数据支撑。植被覆盖度是遥感数据反演的一种参数,是衡量地

表植被状况的直观指标,也是评价区域生态环境优劣的重要因子^[4]。目前对植被覆盖度的估算方法可归纳为经验模型法和植被指数转换法,归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是植被指数转换法中普适性较好且应用较广泛的一种。何全军等^[5]选取比值植被指数(ratio vegetation index, RVI)、NDVI和增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)进行了相关植被指数的应用分析,结果表明NDVI和RVI结果较稳定, EVI具有数据异常的现象。像元二分模型是以NDVI为遥感信息量,对植被覆盖度进行估算的一种经验模型方法,削弱了大气、土壤背景和植被类型的影响,普适性较好^[6-7],因而被研究者们广泛应用。王思等^[7]基于MODIS-NDVI数据,利用像元二分模

收稿日期: 2022-07-27; 修订日期: 2022-09-22

基金项目: 河南省科技攻关重点项目“南水北调中线工程实施背景下丹江流域土地功能演变及其生态效应”(编号: 222102320005)、河南省高等学校重点科研项目“基于多源时序遥感的丹江流域LUCC轨迹分析与趋势预测”(编号: 22A420002)和河南省高校科技创新团队支持计划项目“区域生态演变与调控”(编号: 22IRTSTHN008)共同资助。

第一作者: 崔国月(1999-),男,硕士研究生,主要从事资源环境遥感、地理信息技术及应用。Email: c17832177427@163.com。

通信作者: 张学军(1974-),男,高级工程师,主要从事地质测绘、地质勘查等方面研究。Email: 478441986@qq.com。

型对广东省 2000—2020 年的植被覆盖信息进行了提取,并利用一元线性回归模型对植被覆盖度进行了时空格局变化趋势的模拟;晋成名等^[8]利用像元二模型对陕北地区 2000—2015 年的植被覆盖信息进行提取,分析了气候和降水对植被覆盖变化的影响;苏迎庆等^[9]基于 Landsat 数据对汾河流域 2000—2018 年的植被覆盖度进行二次反演,得到植被覆盖信息,从空间和时间的角度分析了植被覆盖的变化特征。

植被覆盖变化受气候、地形、人为等多重因素的影响^[10-11],研究者对植被覆盖变化驱动因素的探究应用最广泛的方法是相关性分析;而地理探测器模型作为探测空间分异性,以及揭示其背后驱动因子的新兴统计学方法^[12-14],其理论基础与相关性分析相似,目前已被广泛应用到驱动因子探测方面。彭文甫等^[15]利用地理探测器模型,对影响四川省 2000—2015 年植被覆盖变化的自然因子,进行风险、因子、生态和交互探测;李丹等^[16]为了解黑龙江省 1980—2015 年耕地时空变化的驱动因素,对其 4 个阶段的耕地变化,利用地理探测器进行了驱动因子探测与交互作用探测;祁鹏卫等^[17]利用地理探测器,对重庆市 2000—2019 年植被覆盖变化进行了驱动因子探测与交互作用探测;赵子娟等^[18]基于 MOD13Q1 数据,利用像元二分模型和相关性分析,对西辽河流域 2000—2018 年植被覆盖变化情况及影响因素进行了研究。

与植被覆盖变化相比,土地利用变化更为显著。雄安新区土地利用变化之快受全国瞩目。地处华北村落聚集地区,成立之前对该地区土地利用变化的研究尤为薄弱;此外,将土地利用变化与植被覆盖变化相结合进行研究更为鲜有。因此,本文进行的雄安新区土地利用与植被覆盖变化之间的响应研究,对其生态问题、土地利用结构优化及未来城市发展规划等问题具有重要意义。基于此,本文以遥感数据与 GIS 技术为基础,利用图谱融合法对土地利用变化信息进行提取,基于像元二分模型对植被覆盖信息进行提取,利用地理探测器模型对植被覆盖变化进行潜在驱动因素探测,并利用图谱融合法对土地利用变化与植被覆盖变化之间的响应进行探究,进而为雄安新区的可持续发展提供一定的科学依据和对策建议。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

雄安新区于 2017 年为打造北京非首都功能疏

解集中承载地而建立,由河北省容城县、雄县、安新县及周边部分区域组成,处于冀中平原中部,属太行山麓平原向冲积平原的过渡带^[19-20],位于 E115°~116°、N38°~39°之间(图 1)。平均海拔 3~21 m,地势较高的土壤多为褐土、干旱土,地势低的土壤多为潮土、砂姜黑土、半水成土、水成土。区域面积为 1 576.6 km²,属于华北村落聚集的平原地区,距离北京和天津均为 105 km,有较好的地理优势^[2]。雄安新区拥有河北省淡水面积最大的湖泊——白洋淀,面积为 366 km²,是河北省重要湿地保护区,具有较好的生态潜力。本文只以安新县、容城县、雄县作为研究区域。

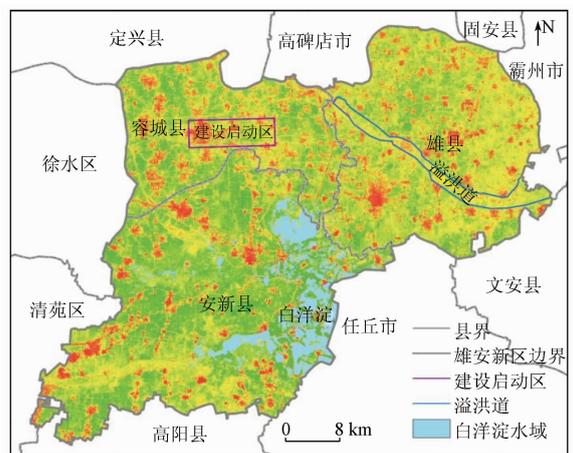


图 1 雄安新区地理位置

Fig. 1 Geographical location of Xiongan New Area

1.2 数据源及其处理

1.2.1 土地利用数据

从地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn>) 获取雄安新区 1991 年、2001 年、2011 年、2017 年和 2021 年 30 m 分辨率的遥感影像,其中前 3 a 为 Landsat5 TM 数据集,后 2 a 为 Landsat8 OLI 数据集,时间节点均选在对地类容易区分的 9 月份。然后对其进行预处理和土地利用信息提取,将土地利用类型划分为建设用地、耕地、林草地、其他用地和水域 5 种类别,利用支持向量机 (support vector machine, SVM) 分类,综合分类精度达到 85.50% 以上。

1.2.2 植被覆盖数据

为保证数据的一致性,植被覆盖度反演仍采用 Landsat 数据。从 USGS 获取 5 个时期的生长季 (4—10 月) 数据,进行波段运算得到月尺度 NDVI 数据;采用平均值合成法得到年尺度 NDVI 数据,进行波段运算获得植被覆盖度数据;并对年份接近的 2 期数据进行差值计算,得到 1991—2021 年 4 个阶段的植被覆盖变化趋势;参考前人的分类标准^[21-22]和雄安新区植被覆盖变化的实际情况,对植

盖和低植被覆盖研究效果欠佳的缺点^[26-27]。NDVI 和像元二分模型计算公式为:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R), \quad (3)$$

式中: $NDVI$ 为归一化植被覆盖指数; NIR 和 R 分别为近红外波段和红外波段的反射率。

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}, \quad (4)$$

式中: FVC 为植被覆盖度,取值范围 $[0,1]$; $NDVI_{soil}$ 为无植被覆盖的像元的 $NDVI$ 值; $NDVI_{veg}$ 为全植被覆盖的像元的 $NDVI$ 值^[28]。通常这 2 个参数通过实测数据的 FVC_{max} 和 FVC 经过反算获得,考虑本次实验没有实测数据和参数的不稳定性,因此取 0.05 为置信度,以 $NDVI$ 累积频率 95.00% 和 5.00% 分别确定 2 个参数。

根据水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》中植被覆盖度分级标准和相关研究^[29],将植被覆盖度 (FVC) 划分为 5 级: $[0,0.30)$ (低覆盖度)、 $[0.30,0.45)$ (中低覆盖度)、 $[0.45,0.60)$ (中等覆盖度)、 $[0.60,0.75)$ (中高覆盖度)、 $[0.75,1]$ (高覆盖度)。

2.3 地理探测器模型

地理探测器模型是探测空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一种新兴统计学方法^[10,30-31],本文使用地理探测器模型中的风险因子探测,研究植被覆盖变化的潜在驱动因素。

风险因子探测用于探测属性 Y 的空间分异性,

即本文中的植被覆盖度变化 Y 是否因为空间位置或环境不同而产生了差异;以及探测本文选取的驱动因子 X 对植被覆盖度变化 Y 的影响程度,用 q 值度量,表达式为^[10]:

$$q = 1 - \frac{SSW}{SST} = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}, \quad (5)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad (6)$$

$$SST = N \sigma^2, \quad (7)$$

式中: q 为驱动因子对空间分异性的影响程度; L 为变量 Y 或因子 X 的分层 (strata),即分类或分区; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别为层 h 和全区的 Y 值的方差; SSW 和 SST 分别为层内方差之和和全区总方差。 q 的值域为 $[0,1]$,值越大说明 Y 的空间分异性越明显,即 q 值越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释能越强,反之则越弱, q 值表示 X 解释了 $100 \times q\%$ 的 Y ^[12,32]。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

基于 5 期土地利用图谱 (图 4),利用图谱融合法获得 1991—2021 年 4 个阶段的土地利用演化图谱 (图 5),并提取各土地利用类型之间的转化信息 (表 1、表 2)。

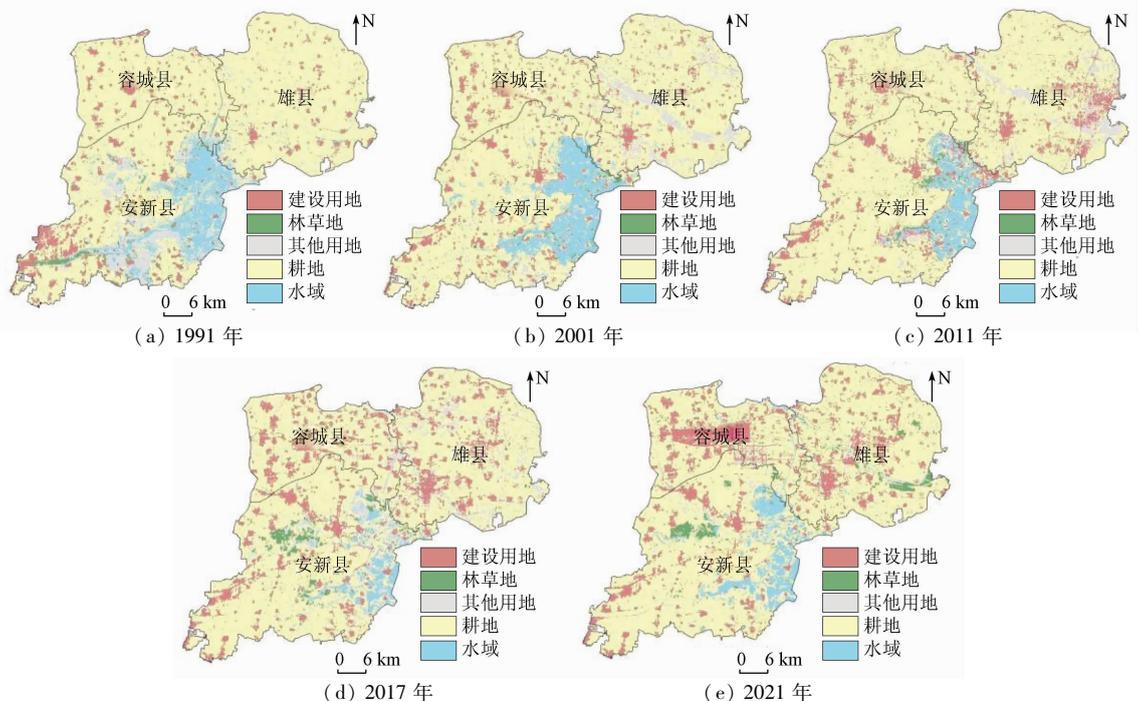


图 4 1991—2021 年雄安新区土地利用图谱

Fig. 4 Land use map of Xiong'an New Area from 1991 to 2021

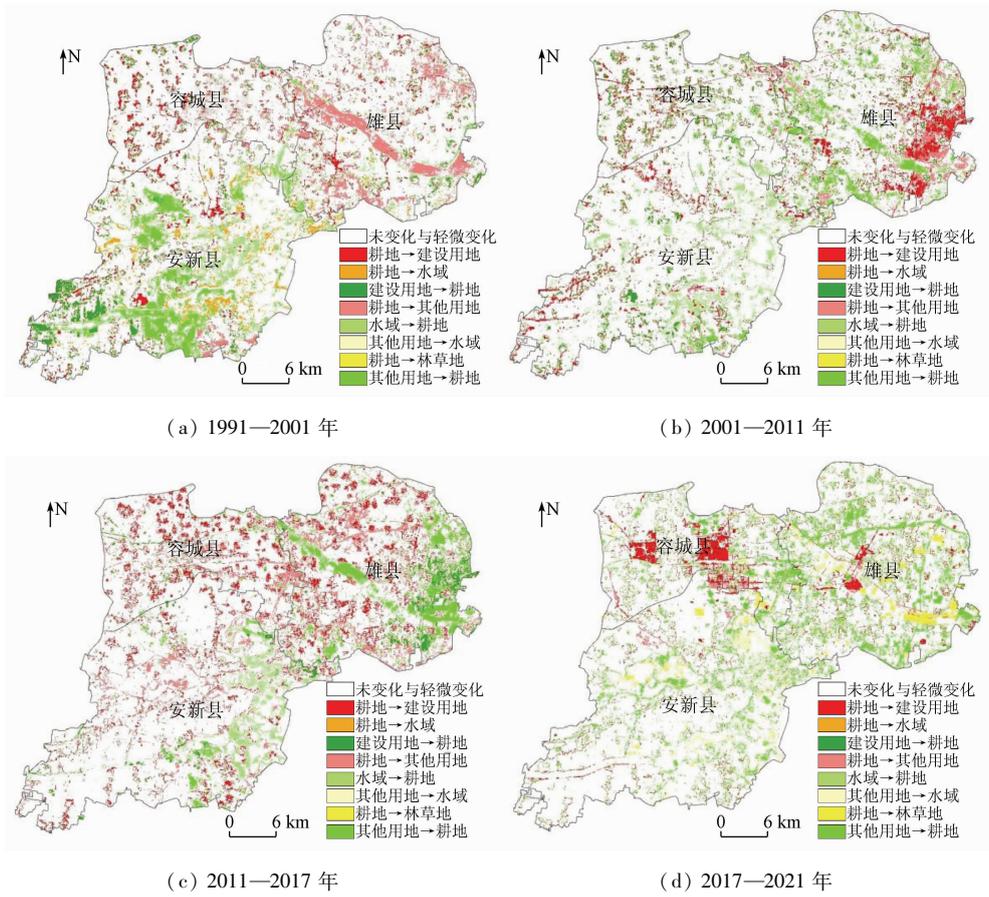


图 5 1991—2021 年雄安新区重要土地利用转化类型图谱

Fig. 5 Map of main land use transformation types in Xiong'an New Area from 1991 to 2021

表 1 1991—2021 年雄安新区土地利用数量结构变化

Tab. 1 Change of land use quantity structure in Xiong'an New Area from 1991 to 2021

地类	面积/km ²				
	1991 年	2001 年	2011 年	2017 年	2021 年
建设用地	129.68	156.31	186.98	224.72	237.77
耕地	1 136.03	1 141.28	1 184.81	1 099.84	1 163.72
林草地	28.74	12.71	17.79	32.31	40.30
其他用地	131.79	99.21	84.09	150.79	23.62
水域	131.94	148.67	84.05	49.70	93.18
合计	1 558.18	1 558.18	1 557.72	1 557.36	1 558.59

表 2 1991—2021 年雄安新区土地利用转化类型面积与占比

Tab. 2 Area and proportion of land use transformation types in Xiong'an New Area from 1991 to 2021

转化类型	编码	1991—2001 年		2001—2011 年		2011—2017 年		2017—2021 年	
		面积/km ²	变化率/%						
建设用地→耕地	12	46.87	10.66	60.80	17.00	41.13	9.18	44.86	13.13
耕地→建设用地	21	60.62	13.78	74.26	20.76	104.35	23.29	55.86	16.35
耕地→其他用地	24	83.96	19.09	47.25	13.21	101.46	22.65	18.85	5.52
其他用地→耕地	52	84.38	19.19	62.09	17.30	68.09	15.20	114.94	33.63
小计		275.83	62.72	244.40	68.27	315.03	70.32	234.51	68.63
建设用地→林草地	13	0.50	0.11	0.31	0.09	30.75	6.86	0.12	0.04
建设用地→其他用地	14	2.25	0.51	1.14	0.32	16.20	3.61	3.34	0.98
建设用地→水域	15	0.59	0.13	0.75	0.21	6.60	1.47	0.19	0.06
耕地→林草地	23	2.33	0.53	5.93	1.66	20.75	4.63	26.54	7.77
耕地→水域	25	36.26	8.25	0.77	0.22	8.30	1.85	15.95	4.67
林草地→建设用地	31	4.22	0.96	3.91	1.09	0.38	0.09	0.37	0.11
林草地→耕地	32	19.06	4.33	3.91	1.09	10.21	2.28	15.89	4.65
林草地→其他用地	34	1.24	0.28	0.39	0.11	3.78	0.84	0.10	0.03

续表

转化类型	编 码	1991—2001年		2001—2011年		2011—2017年		2017—2021年	
		面积/km ²	变化率/%						
林草地→水域	35	2.75	0.63	3.21	0.90	1.97	0.44	6.30	1.84
水域→建设用地	41	1.90	0.43	11.89	3.32	0.21	0.05	0.28	0.08
水域→耕地	42	38.10	8.66	52.10	14.57	4.23	0.94	3.29	0.96
水域→林草地	43	4.52	1.03	9.50	2.66	2.37	0.53	0.35	0.10
水域→其他用地	44	7.28	1.66	8.84	2.47	20.32	4.54	0.03	0.01
其他用地→建设用地	51	10.09	2.29	3.64	1.02	1.01	0.22	4.69	1.37
其他用地→林草地	53	3.89	0.88	0.93	0.26	3.51	0.78	3.60	1.05
其他用地→水域	55	28.94	6.58	6.05	1.69	2.40	0.53	26.20	7.67
变化总面积/km ²		439.75		357.67		448.02		341.75	

综合分析如下:

1) 总体而言,雄安新区土地利用结构主要以耕地和建设用地为主,水域、未利用用地和林地次之,与华北村落聚集地区的土地利用结构相吻合。

2) 从土地利用的变化特征来看,1991—2021年建设用地始终处于增加趋势,2011—2017年和2017—2021年容城县中心区域建设用地的增长最为明显,这与雄安新区的建设有较大关系,该区域为雄安新区建设的启动区,增长的面积主要来源于耕地和其他用地,流出的面积主要变成耕地。其他用地整体减少,主要是2017—2021年产生大幅度减少,流出的面积主要变成耕地。林草地整体增加,其中1991—2001年林草地处于减少趋势,流出的面积主要变成耕地;2001—2021年林草地处于增长趋势,增长的面积主要来源于水域和其他用地,尤其是白洋淀水域附近的植被覆盖面积大幅度增加,这离不开国家和雄安新区政府对白洋淀生态保护湿地的重视。水域整体减少,1991—2001年处于增长趋势,增长的面积主要来源于耕地;在2001—2017年大幅度减少,2017年面积达到最低,流出的面积主要变成耕地;2017年11月以缓解河北省中南部农业缺水和为白洋淀生态补水为目的的“引黄入冀补淀工程”试通水,2019年6月雄安新区政府颁布重点建设孝义河的政策,因此2017—2021年水域面积显著增长,增长的面积主要来源于水域附近的耕地和其他用地。耕地无明显变化。

3) 从土地利用的转化特征来看,1991—2001年安新县中南部的其他用地→耕地转化最为明显,雄县西南部和溢洪道附近的耕地→其他用地转化较为明显,建设用地→耕地转化主要发生在安新县西南部,耕地→建设用地转化呈离散型分布,无聚集性转

化。2001—2011年雄县东部发生耕地向建设用地和其他用地的聚集性转化,这与图4中2011年雄县东部出现建设用地和其他用地大面积增长特征相吻合;雄县南部和溢洪道附近的其他用地→耕地转化较为明显,建设用地→耕地转化呈离散型分布。2011—2017年容城县和雄县的耕地→建设用地转化最为明显,其次是雄县东部和溢洪道附近的其他用地→耕地和建设用地→耕地转化,以及呈离散型分布的耕地→其他用地转化。2017—2021年容城县中部发生大面积的耕地→建设用地转化,该区域为启动区的容西和容东安置区,也是自雄安新区成立以来变化最显著的区域;雄县部分区域也发生耕地→建设用地转化,其他用地和耕地之间的转化呈离散型分布,其余转化类型均不明显。

3.2 植被覆盖时空变化

3.2.1 植被覆盖空间分布特征

1991—2021年雄安新区整体植被覆盖情况良好,中高及以上植被覆盖度的区域面积占雄安新区总面积的50%以上(表3)。从平均植被覆盖度各等级的空间分布来看,安新县中高及以上植被覆盖度区域面积占比最高,雄县最低;中等及以下植被覆盖度的区域总面积在各区域的占比由高到低顺序为:雄县、容城县、安新县(图6)。因此,安新县具有较好的生态环境,这与安新县的地理环境有关,因为白洋淀生态保护湿地坐落于安新县东南部;生态环境较差的是雄县,这与雄县的经济发展和人类的频繁活动有关,雄县是雄安新区经济实力最强的地区,说明该地区的经济发展极大影响到了植被的生长,因此雄安新区政府要对该雄县的生态环境增加重视程度,实现经济与生态同进步。

表3 雄安新区年均植被覆盖度

Tab.3 Average annual vegetation coverage of Xiong' An New Area

植被覆盖度等级	低植被覆盖度	中低植被覆盖度	中等植被覆盖度	中高植被覆盖度	高植被覆盖度
面积/km ²	190.60	187.89	393.37	447.97	336.11
占比/%	12.25	12.08	25.28	28.79	21.60

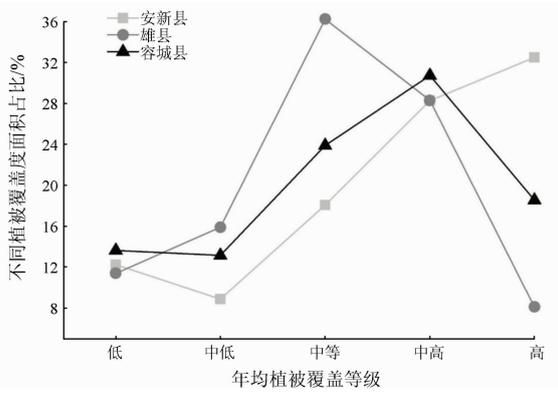


图6 雄安新区年均植被覆盖度空间分布

Fig.6 Spatial distribution of annual average vegetation coverage in Xiong' An New Area

表4 1991—2021年雄安新区植被覆盖变化趋势

Tab.4 Change trend of vegetation cover in Xiong' An New Area from 1991 to 2021

植被覆盖变化等级	1991—2001		2001—2011		2011—2017		2017—2021	
	面积/km ²	比重/%						
严重退化	296.51	19.53	41.82	2.76	47.31	3.12	34.09	2.24
轻度退化	297.97	19.62	432.42	28.51	356.11	23.47	322.31	21.20
保持稳定	469.80	30.94	514.69	33.93	392.30	25.86	503.03	33.09
轻度改善	350.21	23.06	426.07	28.09	405.72	26.74	404.48	26.60
明显改善	104.03	6.85	101.89	6.71	315.58	20.81	256.46	16.87

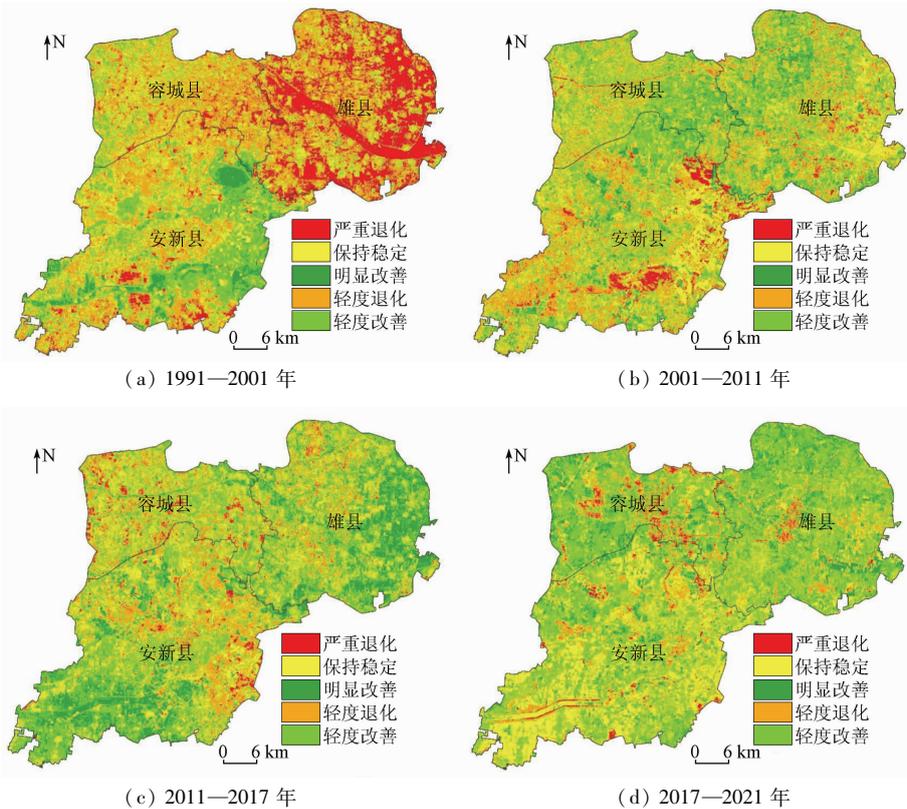


图7 1991—2021年雄安新区植被覆盖变化趋势图谱

Fig.7 Map of vegetation cover change trend in Xiong' An New Area from 1991 to 2021

2)与上一阶段相比,2001—2011年雄安新区植被有明显改善,轻度改善和明显改善的区域面积较上一时期有所提高,总占比34.80%,改善区域位置发生较大变化,集中于雄县西部、容城县东部和安新

3.2.2 植被覆盖阶段性变化趋势

为深刻了解雄安新区植被覆盖变化趋势,对1991—2021年5期植被覆盖度数据进行差值计算,得到1991—2021年植被覆盖阶段性变化趋势(表4和图7),并进行了如下分析:

1)1991—2021年雄安新区植被整体经历了“退化→改善”的过程。1991—2001年,植被整体退化,退化区域总面积大于改善区域总面积,退化区域主要集中于溢洪道和雄县中东部,占雄安新区总面积的39.15%;改善区域总面积占比达到29.91%,改善区域主要集中于安新县西南部和白洋淀水域附近。保持稳定的区域在3个县区均有离散型分布。

县北部。退化区域的总面积与上一时期有所降低,总占比为31.27%;其中,严重退化的区域面积占比最低,集中区域位于安新县白洋淀水域附近。保持稳定的区域面积占比有小幅度扩张,在3个县区均

呈离散型分布。

3)2011—2017年相比于2001—2011年,植被整体仍有较大改善,改善区域面积总占比47.55%,退化区域面积总占比26.59%。其中,明显改善的区域面积大幅度增加,同比上一阶段,增长3倍之多,区域主要集中于雄县东部和安新县西南部;退化的区域和保持稳定的区域在3个县区呈离散型分布,其中白洋淀水域附近的退化较明显。

4)2017—2021年是雄安新区成立4周年,植被仍然呈改善趋势,改善区域总面积远大于退化区域总面积,退化面积总占比达到4个阶段中最低。严重退化区域发生位置变化,主要集中于启动区的容西和容东安置区,说明雄安新区的建设是该区域植被退化的重要原因,改善区域集中于容城县西部、雄县北部和白洋淀水域,这和2019年6月雄安新区政府发布的白洋淀生态屏障重点保护政策有关。

3.3 植被覆盖变化驱动因素

3.3.1 植被覆盖变化潜在驱动因素

植被覆盖变化受多重因素的影响,本文选取自然方面的土壤质地、土壤类型、高程、坡度、社会方面的人口密度变化、GDP变化等6个驱动因子,分别作为自变量 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 。以植被覆盖阶段性变化趋势作为因变量 Y ,利用地理探测器模型对雄安新区1991—2021年植被覆盖变化趋势进行驱动因子分析(表5)。

表5 驱动因子作用强度 q 值变化趋势
Tab.5 Change trend of action intensity
 q value of driving factors

年份	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1991—2001	0.144 2	0.104 5	0.041 5	0.005 2	0.115 6	0.104 2
2001—2011	0.093 4	0.125 8	0.061 8	0.032 6	0.138 6	0.112 8
2011—2017	0.138 1	0.116 8	0.015 4	0.002 4	0.128 3	0.167 3
2017—2021	0.187 9	0.153 5	0.024 1	0.015 0	0.148 2	0.094 5

分析结果表明:植被覆盖变化存在空间分异性,1991—2001年,土壤质地对植被覆盖变化影响程度最强;土壤类型、人口密度变化和GDP变化对植被覆盖变化也具有较强的影响程度。2001—2011年,人口密度变化仍是驱动因子中影响程度最强的,且影响程度较上一时期有所提高;影响程度较强的仍是土壤类型、土壤质地和GDP变化,且土壤类型和GDP的影响程度较上一时期有所提高,土壤地质的影响程度较上一时期有所降低。2011—2017年,GDP变化是驱动因子中影响程度最强的,且影响程度较上一时期有所提高,达到30a间 q 值最高峰;影响程度较强的是土壤质地、土壤类型和人口密度变化,但人口密度变化影响程度较上一时期有所降

低。2017—2021年,土壤质地是驱动因子影响程度最强的;影响程度较强的驱动因子与上一时期相同,除GDP变化外,影响都有所提高。高程和坡度对植被覆盖变化影响程度都较低,说明高程和坡度对雄安新区植被覆盖变化的影响较小,这与雄安新区的地理环境有关。

3.3.2 土地利用变化对植被覆盖变化的影响

除以上潜在驱动因素外,本文也探究了土地利用变化对植被覆盖变化的影响。土地利用变化图谱中共有20种转化类型,大部分是发生少量图元的转化,因此本文将4个阶段的重要土地利用转化类型图谱(图5)与植被覆盖变化趋势图谱(图7)进行基于公式1的图谱融合,并计算各转化类型对植被变化的贡献率(图8)。总体来看,1991—2001年30a间,重要土地利用转化类型对植被退化的总贡献率最高达到45.19%,对植被改善的总贡献率最高达到31.64%,表明土地利用变化对植被覆盖变化存在较大影响。

统计结果表明:

1)1991—2001年,重要土地利用转化类型对植被退化和改善的总贡献率分别达到30.27%和31.64%。植被严重退化区域主要集中于雄县中部及溢洪道附近,与产生耕地→其他用地的区域分布相似,表明耕地→建设用地是该时段该区域植被严重退化的重要原因。安新县产生其他用地→耕地和建设用地→耕地的区域与安新县出现的植被明显改善区域分布相似,说明该2种转化类型是该阶段植被改善的重要原因。

2)2001—2011年,重要土地利用转化类型对植被退化和改善的总贡献率分别达到28.68%和20.40%,其他用地→耕地转化对植被明显改善的贡献率最大,说明其他用地→耕地转化是该时段植被改善的重要原因;水域→耕地转化和耕地→建设用地转化对植被严重退化贡献率较大,说明该2种转化类型是该阶段植被退化的重要原因;而且发现水域减少也会造成植被退化现象。

3)2011—2017年,土地利用变化对植被退化和改善的影响最小,总贡献率分别为15.70%和27.50%。雄县出现的其他用地→耕地转化区域与植被明显改善的区域相似,且其他用地→耕地对植被明显改善的贡献率较大,说明该转化类型是该阶段植被改善的重要原因。

4)2017—2021年,土地利用变化对植被退化的影响较大,总贡献率达到45.18%。容城县中部的植被严重退化区域与耕地→建设用地转化的区域相似,该转化类型对植被严重退化贡献率达到最大,说

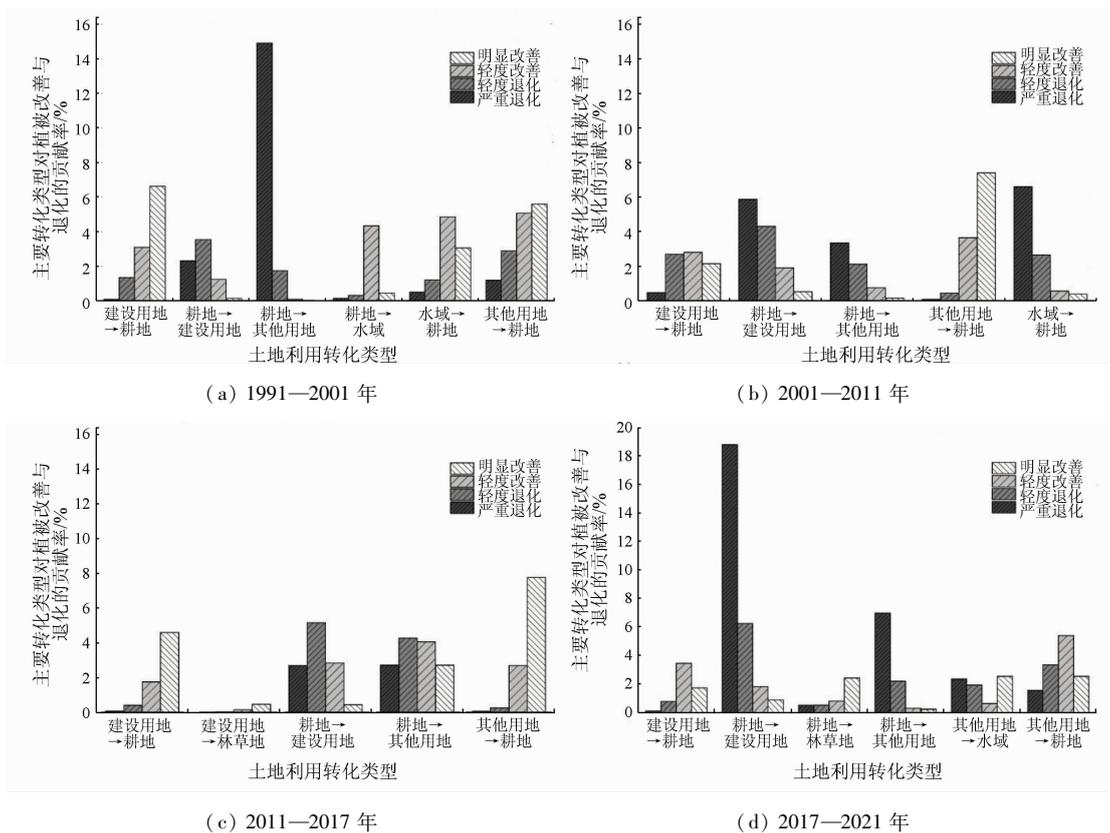


图8 土地利用变化对植被覆盖变化的影响

Fig. 8 Impact of land use change on vegetation cover change

明耕地向耕地→建设用地转化是该阶段植被严重退化的重要原因。

根据以上分析可以看出：耕地向建设用地和其他用地的转化是植被退化的重要原因，建设用地向其他用地向耕地的转化是植被改善的重要原因，其余土地利用转化类型对植被变化均是较小的影响。

4 问题与讨论

本文以遥感数据和 GIS 技术为基础，研究了雄安新区 1991—2021 年近 30 a 土地利用与植被覆盖变化特征，利用地理探测器探究了植被覆盖变化的潜在驱动因素，并探究了土地利用变化与植被覆盖变化之间的响应。对主要问题讨论如下：

1) 关于土地利用类型之间的相互转换。城市的扩张和新区的建设使得 3 县建设用地不断增长，水域减少，林草地增加较少，应注重规避其造成的负面影响，例如土地城镇化后形成的用地浪费、白洋淀生态屏障的损伤以及林草地较少造成的水土流失问题，尤其是容城县中部地区和安新县白洋淀水域附近，应注重城市的未来整体规划，建立土地管理体制，时刻监测其土地利用变化情况，实现城市发展与生态环境的同步提升，最终将雄安新区建设成为一个集绿色、生态、韧性、美丽于一体的经济特区。

2) 植被覆盖情况的退化与改善。30 a 间，雄县是 3 县之中 GDP 最高，经济发展最快的一个，但发展经济的同时，应注重生态环境质量的同步提升。白洋淀水域附近的植被覆盖变化始终不稳定，应建立该区域的植被覆盖监管体制，防止水土流失，努力将安新县打造成为雄安新区的“后花园”。

3) 不同驱动因素对植被覆盖的影响。容城县中部和雄县区域的土地利用变化对植被退化的贡献最为明显，应加强该区域的土地利用变化关注度，防止植被退化现象的再次出现和严重化，安新县西南部和雄县区域的土地利用变化对植被改善的贡献较为明显，应对其加以借鉴。

5 结论

1) 1991—2021 年雄安新区建设用地整体增长，转入面积主要来源于耕地和其他用地；其他用地面积整体减少，流出面积主要变成耕地；林草地面积同比增长最多，转入面积主要来源于水域和其他用地；水域面积整体减少，流出面积主要变成耕地和其他用地；耕地面积无明显变化，主要是与建设用地和其他用地之间的相互转化。

2) 1991—2021 年雄安新区整体植被覆盖情况良好，其中安新县植被覆盖情况最好，生态环境较优

越,容城县次之,雄县最差。植被整体呈现退化→改善的趋势,1991—2001年植被整体退化,2001—2021年植被整体均呈现改善趋势。1991—2001年雄县出现明显退化,白洋淀水域附近出现明显改善;2001—2011年雄县西部、容城县东部和安新县北部出现明显改善,白洋淀水域附近出现明显退化;2011—2017年,雄县东部和安新县西南部出现大面积改善区域,退化区域在3个县区均有离散分布,其中白洋淀水域附近较明显;2017—2021年白洋淀水域附近、容城县西部和雄县北部出现改善,容城县中部地区出现退化。

3) 土壤类型、人口密度变化和GDP变化对雄安新区植被覆盖变化均有较强的影响程度,其中1991—2001年土壤质地影响最大,2001—2011年人口密度变化影响最大,2011—2017年GDP变化影响最大,2017—2021年土壤质地影响最大,因地处平原,高程和坡度差异较小,所以对其影响也较小。除此以外,建设用地和其他用地向耕地的转化是植被改善的重要原因,耕地向建设用地和其他用地的转化是植被退化的重要原因。

4) 地理探测器模型能有效地分析植被覆盖变化的驱动机制,对于大区域的植被覆盖变化驱动研究具有借鉴意义,在生态环境监测、城乡规划和可持续发展方面具有良好的应用潜力。由于本文研究区域和数据的局限性,驱动因子种类选取较少,仍具有改进空间,但在一定程度上反映了人为因素和自然因素对雄安新区植被覆盖变化的影响。

参考文献(References):

- [1] Sun L, Wei J, Duan D H, et al. Impact of land-use and land-cover change on urban air quality in representative cities of China [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2016, 142: 43-54.
- [2] 新华社. 中共中央、国务院决定设立河北雄安新区 [EB/OL]. (2017-04-01) [2017-05-31]. https://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content_5182824.htm.
- [3] 吴昌广, 周志翔, 肖文发, 等. 基于MODIS NDVI的三峡库区植被覆盖度动态监测 [J]. *林业科学*, 2012, 48(1): 22-28.
- [4] Wu C G, Zhou Z X, Xiao W F, et al. Dynamic monitoring of vegetation cover in Three Gorges reservoir area based on MODIS NDVI [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(1): 22-28.
- [5] 刘斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度 [J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(6): 68-73.
- [6] Liu B, Luo Q H, Chang W Z, et al. Soil and water conservation benefits of different forest and grass vegetation cover levels and suitable vegetation cover levels [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2008, 6(6): 68-73.
- [7] 何全军, 曹静, 张月维. 基于MODIS的广东省植被指数序列构建与应用 [J]. *气象*, 2008, 34(3): 37-41.
- [8] He Q J, Cao J, Zhang Y W. Construction and application of MODIS based vegetation index series in Guangdong Province [J]. *Meteorological Monthly*, 2008, 34(3): 37-41.
- [9] 彭飞, 范闻捷, 徐希儒, 等. 2000—2014年呼伦贝尔草原植被覆盖度时空变化分析 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(3): 563-572.
- [10] Peng F, Fan W J, Xu X R, et al. Analysis of spatial and temporal changes of vegetation cover in Hulunbuir grassland from 2000 to 2014 [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2017, 53(3): 563-572.
- [11] 王思, 张路路, 林伟彪, 等. 基于MODIS-NDVI的广东省植被覆盖与土地利用变化研究 [J]. *生态学报*, 2022(6): 2149-2163.
- [12] Wang S, Zhang L L, Lin W B, et al. Research on vegetation cover and land use change in Guangdong Province based on MODIS-NDVI [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022(6): 2149-2163.
- [13] 晋成名, 杨兴旺, 景海涛. 基于RS的陕北地区植被覆盖度变化及驱动力研究 [J]. *自然资源遥感*, 2021, 33(4): 258-264. doi: 10.6046/zrzyyg.2021019.
- [14] Jin C M, Yang X W, Jing H T. RS-based study on vegetation cover changes and driving forces in northern Shaanxi [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2021, 33(4): 258-264. doi: 10.6046/zrzyyg.2021019.
- [15] 苏迎庆, 刘庚, 赵景波, 等. 2006—2018年汾河流域土地生态安全预警测度及时空格局演变 [J]. *水土保持通报*, 2021, 41(1): 144-151.
- [16] Su Y Q, Liu G, Zhao J B, et al. Evolution of early warning measures and spatial and temporal patterns of land ecological security in the Fen River Basin from 2006-2018 [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(1): 144-151.
- [17] Kallimanis A S, Touloumis K, Tzanopoulos J, et al. Vegetation coverage change in the EU: Patterns inside and outside Natura 2000 protected areas [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2015, 24(3): 579-591.
- [18] Jung G, Prange M, Schulz M. Influence of topography on tropical African vegetation coverage [J]. *Climate Dynamics*, 2016, 46(7): 2535-2549.
- [19] 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.
- [20] Wang J F, Xu C D. Geodetectors: Principles and perspectives [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [21] Wang G J, Peng W F. Quantifying spatiotemporal dynamics of vegetation and its differentiation mechanism based on geographical detector [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(21): 32016-32031.
- [22] Deng X J, Hu S Z, Che S. Attribution of vegetation coverage change

- to climate change and human activities based on the geographic detectors in the Yellow River Basin, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2022, 1: 1–16.
- [15] 彭文甫, 张冬梅, 罗艳玫, 等. 自然因子对四川植被 NDVI 变化的地理探测[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1758–1776.
Peng W F, Zhang D M, Luo Y M, et al. Geographical detection of natural factors on NDVI changes in Sichuan vegetation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(9): 1758–1776.
- [16] 李丹, 周嘉, 战大庆. 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析[J]. *地理科学*, 2021, 41(7): 1266–1275.
Li D, Zhou J, Zhan D Q. Analysis of spatial and temporal changes in arable land and drivers in Heilongjiang Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(7): 1266–1275.
- [17] 祁鹏卫, 张贤. 2000—2019年重庆市植被覆盖时空变化特征及其驱动因素[J]. *生态学报*, 2022, 42(13): 5427–5436.
Qi P W, Zhang X. Analysis of spatial and temporal variation characteristics of vegetation cover and its driving factors in Chongqing from 2000 to 2019[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(13): 5427–5436.
- [18] 赵子娟, 范蓓蕾, 王玉庭, 等. 2000—2018年西辽河流域植被覆盖度时空变化特征及影响因素研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(12): 75–88.
Zhao Z J, Fan B L, Wang Y T, et al. Study on the characteristics of spatial and temporal changes of vegetation cover and influencing factors in the West Liaoning River Basin from 2000 to 2018[J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(12): 75–88.
- [19] 贾玉娜, 张文超, 康会涛, 等. 2016–2019年雄安新区土地覆盖变化研究[J]. *测绘通报*, 2020(9): 76–79.
Jia Y N, Zhang W C, Kang H T, et al. A study of land cover changes in Xiongan New Area from 2016 to 2019[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2020(9): 76–79.
- [20] 姜鲁光, 吕佩忆, 封志明, 等. 雄安新区土地利用空间特征及起步区方案比选研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(6): 991–998.
Jiang L G, Lv P Y, Feng Z M, et al. Study on the spatial characteristics of land use in the Xiong'an New Area and the comparison of start-up area options[J]. *Resources Science*, 2017, 39(6): 991–998.
- [21] 孙颖, 易浪, 尹少华. 洞庭湖流域植被覆盖变化及其协同治理[J]. *经济地理*, 2022, 42(4): 190–201.
Sun Y, Yi L, Yin S H. Vegetation cover changes in the Dongting Lake watershed and its synergistic management[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(4): 190–201.
- [22] 曹永香, 毛东雷, 薛杰, 等. 绿洲—沙漠过渡带植被覆盖动态变化及其驱动因素——以新疆策勒为例[J]. *干旱区研究*, 2022, 39(2): 510–521.
Cao Y X, Mao D L, Xue J, et al. Vegetation cover dynamics in the oasis–desert transition zone and its driving factors: A case of Cele, Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 2022, 39(2): 510–521.
- [23] Sewnet A, Abebe G. Land use and land cover change and implication to watershed degradation by using GIS and remote sensing in the Koga watershed, North Western Ethiopia[J]. *Earth Science Informatics*, 2018, 11(1): 99–108.
- [24] 吕晓, 史洋洋, 黄贤金, 等. 江苏省土地利用变化的图谱特征[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(4): 1077–1084.
Lyu X, Shi Y Y, Huang X J, et al. Mapping characteristics of land use change in Jiangsu Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4): 1077–1084.
- [25] 王金亮, 邵景安, 李阳兵. 近20a三峡库区农林地利用变化图谱特征分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(2): 235–247.
Wang J L, Shao J A, Li Y B. Characterization of agricultural and forest land use change mapping in the Three Gorges reservoir area in the last 20 a[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(2): 235–247.
- [26] 杨彩云, 王世曦, 杨春艳, 等. 川藏铁路沿线植被覆盖度时空变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(3): 174–182.
Yang C Y, Wang S X, Yang C Y, et al. Spatial and temporal variation characteristics of vegetation cover along the Sichuan–Tibet Railway[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(3): 174–182.
- [27] Mishra, R, Singh E, Kumar A. et al. Application of remote sensing for assessment of change in vegetation cover and the subsequent impact on climatic variables[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(31): 41675–41687.
- [28] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. *资源科学*, 2004, 26(4): 153–159.
Li M M, Wu B F, Yan C Z, et al. Remote sensing estimation of vegetation cover in the upper reaches of Miyun Reservoir[J]. *Resources Science*, 2004, 26(4): 153–159.
- [29] 王文川, 薛沛, 刘素华. 1999–2018年河南省植被覆盖时空演变分析[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(2): 243–248, 264.
Wang W C, Xue P, Liu S H. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in Henan Province from 1999 to 2018[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(2): 243–248, 264.
- [30] Gao S Q, Dong G T, Jiang X H, Nie T, et al. Quantification of natural and anthropogenic driving forces of vegetation changes in the Three–River headwater region during 1982 to 2015 based on geographical detector model[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(20): 4175.
- [31] 王正雄, 蒋勇军, 张远喆, 等. 基于GIS与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析[J]. *地理学报*, 2019, 74(5): 1025–1039.
Wang Z X, Jiang Y J, Zhang Y Z, et al. Analysis of spatial distribution and drivers of rock desertification in karst trough valleys based on GIS and geodetectors[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5): 1025–1039.
- [32] 黄木易, 岳文泽, 方斌, 等. 1970—2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1904–1920.
Huang M Y, Yue W Z, Fang B, et al. Characteristics of ecological service value scale response and geodetection mechanism in Dabie Mountain area from 1970 to 2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(9): 1904–1920.

A remote sensing – based study on change in land use and vegetation cover in Xiong’ an New Area from 1991 to 2021

CUI Dunyue¹, WANG Shidong¹, ZHANG Xuejun²

(1. *School of Surveying and Mapping and Land Information Engineering, Henan University of Technology, Jiaozuo 454000, China*; 2. *The Second Institute of Geology and Mineral Resources of Henan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Zhengzhou 450001, China*)

Abstract: This study aims to analyze the changes in the land use and vegetation cover in the Xiong’an New Area from 1991 to 2021. To this end, this study explored the characteristics of the land use changes in the area over the 30 years based on the Landsat TM\OLI data of five periods using the GIS technology and map fusion method. Then, it extracted the vegetation cover information using the dimidiate pixel model and analyzed the changes in the vegetation cover. Furthermore, this study explored the potential factors driving the vegetation cover change in the area using the geographic detector model and analyzed the impact of land use change on vegetation cover change by referencing the existing map fusion method. The results show that: ① From 1991 to 2021, the construction land in Xiong’an New Area increased by 108.09 km², primarily transformed from farmland and other types of land; other types of land reduced by 108.17 km², predominantly transformed to farmland; forestland and grassland increased by 11.56 km², mainly transformed from water areas and other types of land; the water area decreased by 38.76 km², mainly transformed to farmland and other types of land; and the area of farmland roughly remained unchanged; ② Over the 30 years, the Xiong’an New Area generally exhibited high vegetation coverage, and the area with moderate and high vegetation coverage and above accounted for more than 50.00%. The vegetation coverage in the Xiong’an New Area presented an overall spatial distribution pattern characterized by high in Anxin County, moderate in Rongcheng County, and low in Xiong County. Regarding the phased changes, this area showed a degradation trend from 1991 to 2001, and the area with degraded vegetation cover accounted for 39.15%. From 2001 to 2021, this area exhibited an improvement trend, the area with improved vegetation cover accounted for up to 47.55%; ③ The vegetation cover change showed spatial differentiation, significantly affected by the population density, GDP, soil type, and soil quality but slightly affected by the elevation and slope. The transformation of construction land and other types of land to farmland acted as an important reason for the improvement in vegetation cover, while the transformation of farmland to construction land and other types of land served as an important reason for vegetation degradation. The results of this study can, to some extent, provide a scientific basis and suggestions for the sustainable development of Xiong’an New Area.

Keywords: Xiong’an New Area; vegetation cover change; land use change; geographic detector; driving factors

(责任编辑: 陈昊旻)