

1980—2015 年焦作矿区景观格局演变及驱动力分析

陆凤连, 王新闯, 张合兵, 吴金汝, 焦海明

(河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要:选取焦作矿区为研究区,利用矿区 1980—2015 年 5 期影像数据,提取矿区 5 期景观类型数据,并结合相关社会经济数据,分析了矿区景观格局演变及其驱动力。结果表明:35 年间矿区耕地面积明显减少,建设用地、工矿用地和水域面积显著增加,林地和草地面积变化不大;各景观类型之间互有转化,其中最主要的景观类型转化发生在耕地和建设用地之间,有 14.85% 的耕地转为建设用地,6.02% 的建设用地转回耕地。矿区各景观类型呈现不同程度破碎化、复杂化,其中林地破碎化最高,水域形状最复杂,耕地形状趋于规则且聚集程度高;整体景观格局破碎化加剧,形状趋于复杂,景观异质性增强,优势类别控制作用减弱;矿区土地利用结构不合理,生态环境恶化。通过驱动力分析可知,人口与农业发展因子和工业发展因子是导致矿区土地利用景观格局变化的主要原因。

关键词:景观类型; 景观格局变化; 驱动力; 焦作矿区

中图分类号: P901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0237-07

Landscape Pattern Change and Its Driving Force in Jiaozuo Mining Area from 1980 to 2015

LU Fenglian, WANG Xinchuang, ZHANG Hebing, WU Jinru, JIAO Haiming

(School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: Jiaozuo Mining Area was selected as the research area, and the landscape type data was extracted from image data during 1980—2015, which was used to analyze landscape pattern change and its driving force with the relevant socioeconomic data. The results showed that in the 35 years, cropland area decreased significantly, construction land, mining land and water body area increased significantly in the mining area, and woodland and grassland area changed little; each landscape type was transformed each other, among which the most important landscape type transformation occurred between cultivated land and construction land, 14.85% of the arable land was shifted to construction land, 6.02% of the construction land was converted to the cultivated land. The landscape types of the mining area showed varying degrees of fragmentation, among which the woodland was the highest in fragmentation, the water shape was the most complex, and the pattern of cultivated land tended to be regular and its degree of aggregation was high. The overall landscape pattern fragmentation intensified, the shape tended to be complicated, the landscape heterogeneity was enhanced, and the dominant category control effect was weakened. Mining area land use structure was irrational, and ecological environment was deteriorated. Through the analysis of the driving force, the population and agricultural development factors and industrial development factors are the main reasons for leading to the change of mining landscape pattern.

Keywords: landscape type; landscape pattern change; driving force; Jiaozuo Mining Area

景观格局是指景观组分的空间分布和组合特征,即大小和形状不一的景观元素在空间上的配置^[1]。它不仅是各种生态过程在不同尺度上作用的最终结果,还是景观异质性的具体表现^[2]。景观格局演变的

分析一直是景观生态学的热点问题^[3]。景观格局演变的方法主要有景观指数分析、转移矩阵分析、数量统计分析和以元胞自动机为基础的景观动态模拟分析等^[4],其中运用景观指数定量分析方法来研

收稿日期: 2017-08-02

修回日期: 2017-08-16

资助项目: 国家自然科学基金(41401500); 中国博士后科学基金(2015M580629, 2016M590679); 河南省高等学校重点科研项目(16A420003, 17A420001); 中国煤炭工业协会指导性计划项目(MTKJ-2015-285); 河南省高校基本科研业务费专项资金(NSFRF1630); 河南理工大学创新型科研团队(B2017-16)

第一作者: 陆凤连(1992—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向为矿区开采沉降及土地生态。E-mail: 1344919262@qq.com

通信作者: 王新闯(1979—), 男, 河南焦作人, 博士, 副教授, 主要从事 3S 技术及其在生态学中的应用研究。E-mail: wangxc_382@163.com

究景观格局动态变化特征,已广泛应用于景观生态学的诸多研究中^[5]。目前国内外关于区域景观格局变化及其驱动力的研究很多,如 Sha 等^[6]借助 GIS 技术对美国凤凰城景观格局变化进行了分析;Caillaud 等^[7]分析了生态廊道对区域景观格局变化的影响;高翔等^[8]对贵州典型矿区 10 年间景观格局变化及驱动力进行分析,明确煤炭开发、农业发展及生态治理因子是景观格局变化的主要原因;张敏等^[9]对白洋淀湿地景观格局演变及驱动力进行分析,得出人口和社会经济发展是影响白洋淀景观格局变化的主要驱动力的结论。但目前鲜有针对矿区较长时间尺度上的景观格局演变特征及其驱动力分析。

由于煤炭和土地空间分布的同位性^[10],煤炭资源的长时间开采不可避免地会对土地和生态环境造成严重的破坏,出现一系列诸如地表塌陷、水位下降、耕地破坏、煤矸石压占的问题^[11],原有的景观类型发生了显著变化,使得矿区成为景观格局演变最为剧烈的区域之一^[12]。通过较长时间尺度上分析矿区景观格局演变及其驱动力,有助于发现矿区景观变化的规律和机制、探究煤矿开采等人类活动与生态景观演变间的关系,为矿区生态环境保护和土地资源的可持续利用提供理论基础^[13-15]。焦作矿区位于我国华北平原,几十年来一直是华北地区重要的产煤基地,由于大规模的开采煤炭,矿区的景观格局发生了剧烈的变化,景观破碎化严重,生态环境问题凸显。本文以其为研究区域,以 1980—2015 年 5 期遥感影像数据为基础信息源,综合运用地理信息技术、景观生态学方法和数理统计方法,对矿区 35 年间的景观格局演变及其驱动力进行分析,旨在为矿区生态环境建设与土地可持续利用提供一定的理论依据。

1 研究区概况

焦作矿区位于河南省焦作市东北部,太行山南麓,区内分布有九里山矿、演马矿、冯营矿、白庄矿、方庄一矿、方庄二矿、古汉山矿、小马矿、中马矿、韩王矿 10 个矿井,自 20 世纪 50 年代就开始规模开采煤炭,是豫北重要的产煤基地。研究区总面积为 182 km²,地理位置为 113°15′—113°28′E,35°15′—35°25′N。研究区地貌主要由平原与山区构成,地势由西北向东南倾斜,由北向南渐低,海拔 85~250 m。区内有沙河、王村河、峪河等季节性河流,分别汇入卫河,南水北调中线工程穿境而过。属南温带亚湿润气候,冬季严寒,夏季炎热。年平均气温为 14.8℃,气温极值-16.9~43.2℃;年平均降雨量 624 mm,多集中在 6—9 月,全年无霜期 238 d,夏季多东南风,冬季多西北风。

2 数据源及研究方法

2.1 数据获取与处理

为了准确地揭示矿区景观格局演变特征,每隔 5~10 a 选取一景遥感影像;为了便于区分林地与耕地植被,遥感时相均选择在农作物收割的时间(5—6 月)内,最终在 1980—2015 年划分出 5 个时间段,分别是 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年和 2015 年。1980 年采用 MSS 影像,分辨率为 80 m;1990 年采用 Landsat TM 遥感数据,分辨率为 30 m;2000 年和 2010 年选用 ETM 遥感数据,分辨率为 15 m,2015 年采用 OLI 遥感数据,分辨率为 15 m。为了减少分辨率对景观格局指数计算的影响,本文将各时期的遥感影像分辨率统一重采样为 30 m。参考《土地利用现状分类》国家标准和国内土地利用类型研究成果^[16],并结合遥感影像分辨率和矿区实际景观类型特点,将焦作矿区土地利用景观类型划分成 6 种,具体包括:耕地、林地、草地、建设用地、工矿用地和水域。在确定矿区景观分类体系后,结合实地调查、Google Earth 软件等,利用 ENVI 5.1 对 5 期遥感影像作几何校正、融合、裁剪等预处理后,采用最大似然监督分类方法解译图像,利用分类后处理工具消除小斑块,并结合 2009 年研究区二调土地利用分类数据,手动修改明显错误的斑块,最终生成 1980—2015 年 5 期景观类型分布图。最后对分类结果进行精度验证,总体分类精度在 90% 以上,Kappa 系数在 0.8 以上,满足本研究对分类数据的精度要求^[17]。

2.2 景观格局指标的选择与计算

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,建立景观格局与过程的相互联系,反映景观格局某些方面特征的简单定量指标^[18]。本研究综合考虑矿区景观格局特征和分析目的,在斑块类型水平上选择了斑块数(NP)、最大斑块指数(LPI)、平均形状指数(SHAPE_MN)、面积周长分维数(PAFRAC)和凝聚度指数(COHESION),在景观水平上选择了斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、多样性指数(SHDI)、均匀度指数(SHEI)和蔓延度指数(CONTAG)。以 5 期景观类型数据为基础,使用 Fragstats 4.2 软件完成景观指数计算。各种景观指数的计算公式及具体的生态学意义参见相关文献^[19]。

2.3 景观格局演变的驱动力分析

景观格局变化的驱动力包括自然驱动力和人为驱动力,其中,自然驱动力主要从较大的时空尺度上作用于景观,人为驱动力则是从中小时空尺度上影响景观^[4]。焦作矿区属中小尺度区域,自然驱动因子影

响相对较小,人为驱动力占据相对优势地位,对于驱动力分析则以人为因素选取驱动因子进行分析为主,以自然驱动因子分析为辅。人为驱动因子选取:结合矿区社会经济数据^[20]及前人研究经验^[21-23],以矿区耕地面积作为因变量,以1995年、2000年、2005年、2010年和2014年矿区社会经济数据作为选取自变量的基础数据,用相关分析法筛选出总人口、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、农业人口、煤矿年产量、粮食产量、农民人均纯收入8个驱动因子。再运用SPSS软件对选取的驱动因子进行主成分分析,识别和分析影响景观格局变化的主要人为驱动因子;自然驱动因子选取:根据焦作矿区地形地貌条件,选取对景观格局影响较大的坡度因子进行分析。

3 结果与分析

3.1 焦作矿区各景观类型面积、分布及变化

利用ArcGIS 10.1软件,统计获得焦作矿区1980—2015年5期景观类型面积及变化趋势(图1)以及1980—2015年焦作矿区景观类型面积转移情况(表1)。焦作矿区的总面积为18203.40 hm²。由图1可知,矿区景观类型以耕地、林地和建设用地区为主,这3种景观类型始终占研究区总面积的83%以上,其中耕地面积比重最大,占研究区总面积43%以上,林地和建设用地区次之。从面积变化来看,1980—2015年的35年间,矿区耕地面积呈持续减少趋势,共减少了2704 hm²,减少幅度达到25.64%,其中2000—2010年减幅最大。工矿用地和建设用地区增长迅速,分

别增长了748.96,1696.59 hm²,增长幅度分别为72.29%,87.11%,其中建设用地是所有景观类型中增幅最大的。35年间林地和水域总体呈增长趋势,林地面积增加了4.32 hm²,增加幅度较小,水域面积增加了284.96 hm²,增幅较大;草地面积减少了30.38 hm²,减幅不大,呈现出“先增加一再减少”的动态变化趋势。

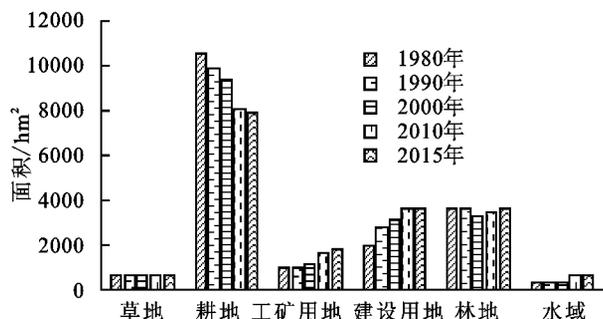


图1 1980—2015年焦作矿区各景观类型面积及变化

从表1中可以看出,矿区35年间有66%的景观类型未发生变化,在发生变化的区域中最明显的景观类型转化发生在耕地和建设用地区之间,其中耕地有1566.54 hm²转化成建设用地,占耕地面积的14.85%;建设用地有117.25 hm²转回耕地,占建设用地面积的6.02%。另外,亦有部分耕地向林地和工矿用地转化,部分林地向工矿用地转化,其中耕地有899.28 hm²转化成林地,占1980年耕地面积的8.53%;有568.13 hm²转化成工矿用地,占1980年耕地面积的5.38%;林地有510.32 hm²转化成工矿用地,占1980年林地面积的14.17%。其他各景观类型间亦有少量转化。

表1 1980—2015年焦作矿区景观类型面积转移矩阵

土地利用类型	1980年						总计
	草地	耕地	工矿用地	建设用地	林地	水域	
草地	149.69	295.56	33.08	37.91	100.51	14.15	630.90
耕地	222.10	6995.16	120.83	117.25	373.21	13.86	7842.40
工矿用地	126.83	568.13	560.97	13.01	510.32	5.78	1785.04
建设用地	64.46	1566.54	91.44	1660.01	247.59	14.27	3644.30
2015年	76.10	899.28	188.89	55.76	2354.87	30.22	3605.11
林地	22.10	222.19	40.88	63.79	14.29	332.42	695.66
水域	661.28	10546.85	1036.08	1947.71	3600.79	410.69	18203.40
总计	661.28	10546.85	1036.08	1947.71	3600.79	410.69	18203.40
变化	-30.38	-2704.45	748.96	1696.59	4.32	284.97	—

焦作矿区1980—2015年5期景观类型空间分布见图2。结果显示35年间焦作矿区景观类型空间上发生了显著变化,耕地面积逐渐减少,并向东南平原区域转移,减少区域主要集中在矿区西北部山区及西南部靠近市区区域。水域在2010年前面积变化不大,主要集中在境内的几条河流上,2010年后随着南水北调中线工程穿境而过,水域面积显著增加。林地主要分布在西部、北部山区及村庄附近,1980—2000年,由于频繁的人类活动,西部、北部山区部分林地转

为耕地和工矿用地,其面积不断减少;2000—2015年,随着山区退耕还林、植树造林等生态活动的开展,西部、北部山区耕地重新转为林地,林地面积逐渐恢复。草地面积35年间变化不大,主要集中在林地与耕地之间的过渡带及沿河两岸。建设用地35年间显著增加,零散村庄减少,向西南部市区和中北部城镇区域集中。

3.2 焦作矿区景观格局变化

3.2.1 斑块类型水平上景观格局变化 根据表2中

1980—2015 年 5 期斑块类型水平上的景观指数,可以明晰各景观类型景观格局指数的变化情况。从斑块数(NP)来看,各景观类型均呈现不同程度的破碎化,其中水域的 NP 最少,受人类活动干扰最小,景观最为完整;林地的 NP 最多,表明林地景观分散,破碎化严重;耕地、工矿用地和草地的 NP 持续增加,表明 35 年来其景观破碎化程度不断加剧,建设用地由于道路的连通,破碎化较低。从最大斑块指数(LPI)来

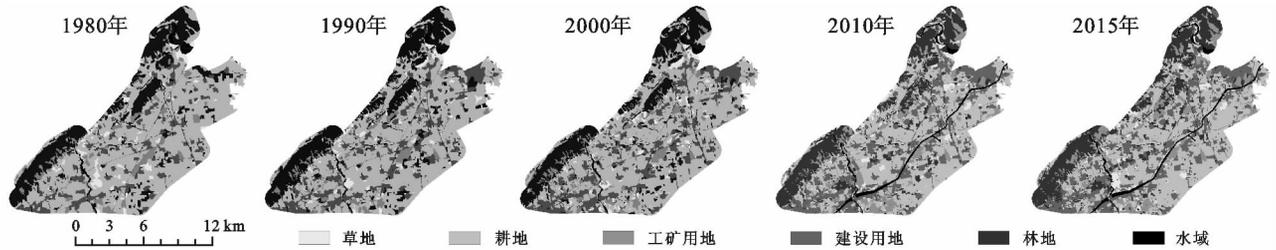


图 2 1980—2015 年焦作矿区景观类型空间分布

周长面积分维数(PAFRAC)在一定程度上反映了斑块的形状复杂性。由表 2 可知,水域的 PAFRAC 最高,表明水域形状最复杂。其次为耕地,呈现先增后减趋势,这是由于改革开放初期部分山林被开垦成耕地造成耕地形状趋于不规则,在 21 世纪初,随着退耕还林政策的实施,耕地形状趋于规则。与早期相比,林地、建设用地、工矿用地和草地的 PAFRAC 均呈现不同程度的增加,说明受到人类活动的影响,这几类景观的形状越来越不规则。

散布与并列指数(IJI)是反映景观聚集程度及与其他类型邻接关系的指标。从表 2 中看出,耕地的 IJI 最高,始终在 85 以上,显示出很强的聚集性,同时表明耕地与其他景观类型近乎等量邻接,为基质斑块。水域、草地和林地的 IJI 呈持续增加趋势,这可能是由于人类活动使其周边景观要素不断增多所致。建设用地的 IJI 相对较低,表明与建设用地邻接要素较少,早期建设用地以村庄形式存在,现在城镇化进程中建设用地集中建成均是导致建设用地 IJI 低的原因。

3.2.2 景观水平上景观格局变化 由图 3 可知矿区整体景观指数变化情况,1980—2015 年,斑块密度 PD 和景观形状指数 LSI 呈不断上升趋势,2015 年达到最大,表明矿区整体景观破碎化程度加剧,矿区斑块形状趋于复杂化、不规则化,这可能是由于矿区经济快速发展,人类活动频繁所致。1980—2015 年景观聚集度指数 CONTAG 呈先迅速降低再缓慢减少至平稳趋势,1980 年最大为 59.48,2015 年最小为 50.33,说明焦作矿区景观连通性在 1980 年达到最大值,空间格局分布均匀,随后到 2015 年,景观连通性持续下降。1980—2015 年香农多样性指数(SHDI)与香农均匀度指数(SHEI)均先迅速上升再到平稳趋势,其波

看,1980 年耕地的 LPI 最高,却呈不断减小趋势,2015 年建设用地的 LPI 最高,且呈不断上升趋势,说明矿区的优势类型由耕地转为建设用地,且这种差距在不断扩大,这可能是随着城镇化进程的加快,建设用地呈“摊大饼”和“集中式”的扩张,部分耕地转为建设用地所产生的后果。水域、工矿用地和草地的 LPI 始终较小,且变化幅度较小。同时由于西部、北部是山区的原因,林地的 LPI 亦变化较小。

动过程与景观聚集度指数相反,这表明,35 年间各景观类型面积差异减小,景观优势度下降,景观优势类别对景观的控制作用减弱,景观异质性增强。

表 2 1980—2015 年斑块类型水平上的景观指数变化

景观类型	年份	NP	LPI	PAFRAC	IJI
水域	1980	74	0.6408	1.5882	66.5031
	1990	84	0.5115	1.6068	69.327
	2000	110	0.5069	1.65	72.6292
	2010	120	0.5059	1.5279	80.6151
	2015	107	0.5059	1.5261	85.5564
林地	1980	119	5.4709	1.2871	71.0421
	1990	156	5.8276	1.3176	75.4623
	2000	214	5.3463	1.3188	79.3804
	2010	327	5.7807	1.3338	84.6456
	2015	393	6.1982	1.3497	85.6251
耕地	1980	56	35.0129	1.3533	92.4249
	1990	84	16.7737	1.3585	89.2322
	2000	111	17.3078	1.3519	90.2269
	2010	216	11.2543	1.3406	88.1623
	2015	235	7.9186	1.3378	85.0404
建设用地	1980	116	3.995	1.3065	50.6855
	1990	124	6.182	1.3428	54.8779
	2000	157	8.6605	1.2839	56.1413
	2010	206	12.4535	1.3171	64.9334
	2015	231	12.5136	1.3818	64.1804
工矿用地	1980	82	0.8754	1.2803	73.764
	1990	122	0.6304	1.3004	78.4063
	2000	162	0.6304	1.323	81.1106
	2010	184	0.7216	1.3106	83.9516
	2015	180	0.6688	1.2942	83.0567
草地	1980	73	0.6115	1.2404	65.2539
	1990	98	0.4776	1.2692	77.3264
	2000	139	0.3425	1.2806	80.7013
	2010	183	0.2728	1.2726	89.0861
	2015	157	0.5376	1.2753	95.2336

3.2.3 景观格局变化的生态过程响应 格局、过程和尺度之间的相互关系一直是景观生态学研究的核心

内容,在一定的尺度上格局决定过程,而过程作用于格局^[24]。根据焦作矿区1980—2015年土地利用及景观格局动态变化,来分析研究区景观生态过程及变化趋势。在1980—2015年,区域景观破碎化程度不断加剧,景观异质性增强,景观中处于核心地位的耕地面积比重不断下降,斑块数却不断增加,平均斑块面积持续减少,说明耕地景观被不断分割,耕地的连通性下降,从而影响区域景观生态系统的物质循环和能量流动,造成区域景观生态系统的不稳定。景观类型间转移过程频繁,尤其是耕地和林地、建设用地及工矿用地之间。1980—2000年西部、北部山区部分林地转向耕地,林地面积不断减少,而林地斑块数仍不断增加,表明林地景观类型破碎化程

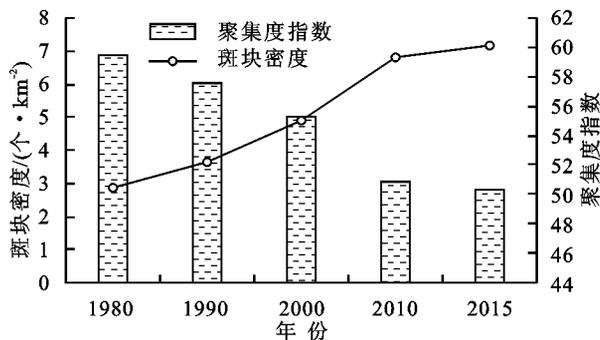


图3 1980—2015年景观水平上景观指数变化

3.3 焦作矿区景观格局演变的驱动力分析

35年来焦作矿区的景观类型发生了显著的变化,这种变化是自然因素和人为因素综合作用的结果,具有很强的地域性。自然因素是各景观类型分布的基础条件,往往在较大时空范围内影响着景观格局的变化^[8]。通过对焦作矿区的DEM数据进行处理,得到研究区坡度分布图(图4)。由图4可知,焦作矿区西部和北部地区坡度较陡,为山地丘陵区,其决定了该区域的景观类型以林地、草地为主,耕地为辅;中部和东部地区坡度平缓,为平原区,适宜人类活动,决定了该区域的景观类型以耕地、建设用地为主。1980—2015年,矿区地形坡度变化不大,对景观格局变化影响较小,意味着人口、社会经济发展等诸多人为因素是35年间景观格局变化的主要原因。

本研究将筛选的8个人为驱动因子在SPSS软件中进行主成分分析,计算出它们的特征值及主成分贡献率(表3)。由表3可知,有2个特征值大于1,分别为6.275,1.002,其对应的第一主成分与第二主成分累积贡献率达到90.957%,满足大于85%的要求,可以解释导致景观格局变化的驱动因子。故只需进一步求出第一主成分、第二主成分与各驱动因子的相关性即可。

表4为主成分载荷矩阵,代表了各主成分与驱动因子的相关系数。由表4可以看出,第一主成分与农

业人口、粮食总产量、总人口、第一产业产值的相关系数较大;第二主成分与煤炭年产量,第二产业产值的相关系数较大。总结上述驱动因子,可以将焦作矿区景观格局演变的驱动因子分为人口与农业因子和工业发展因子两个方面。

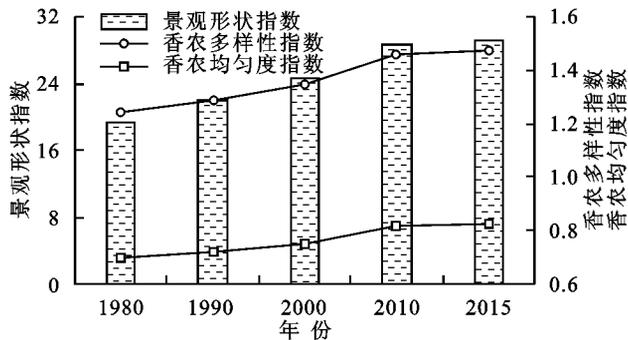
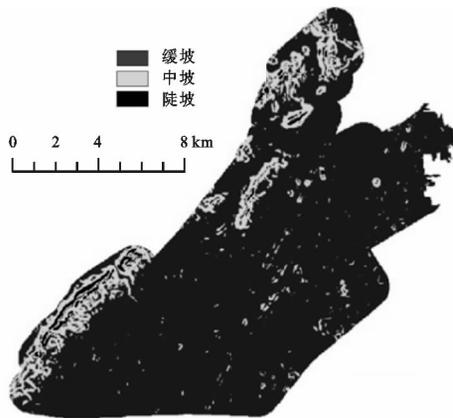


图4 焦作矿区坡度分布



3.3.1 人口与农业因子分析 由图5可知,1995—2014年焦作矿区所在的马村区总人口由1995年的13.16万人增加到2014年的14.31万人,增加了1.15万人,年均增长率为0.44%。其中农业人口由6.59万人减少到6.15万人,减少了0.44万人,年均减少率为0.33%。矿区总人口的增加导致人们对住房需求增大,同时随着经济的发展,人民生活水平的提高,矿区基础设施不断完善、城镇建设用地不断

扩张,1995—2015年矿区建设用地(含交通用地)面积呈不断增长趋势(图1)正是其作用的结果。矿区农业人口减少的同时,非农业人口不断增加,越来越多的人从事第二、第三产业,促使工矿用地建设力度加大,这与1995—2015年矿区工矿用地面积变化(图1)相一致。同时迫于人口压力,农民为了生存及提高粮食产量,对土地资源的不合理利用,产生一系列生

态环境问题。尤其是1980—2000年矿区西部山区林地被大量开垦成耕地,造成严重的水土流失,矿区景观格局发生显著变化,2000年以后,响应国家退耕还林政策,保证耕地质量,矿区西部山区低产耕地重新转化成人工林地或果园。此结果与1990—2015年林地景观面积先减后增的变化情况一致。因此,人口与农业发展因子是景观格局变化的主要驱动因子。

表3 特征值及主成分贡献率

主成分序号	相关矩阵的特征值			因子提取结果		
	主成分特征值	特征值/%	特征值累积/%	主成分特征值	特征值/%	特征值累积/%
1	6.275	78.432	78.432	6.275	78.432	78.432
2	1.002	12.525	90.957	1.002	12.525	90.957
3	0.530	6.619	97.576	—	—	—
4	0.188	2.345	99.921	—	—	—
5	0.006	0.070	99.992	—	—	—
6	0.001	0.008	100.000	—	—	—
7	5.992 E-16	7.490 E-15	100.000	—	—	—
8	2.310 E-16	2.887 E-15	100.000	—	—	—

表4 主成分载荷矩阵

驱动因子	主成分1	主成分2
第一产业产值	0.786	0.609
第二产业产值	0.686	0.712
第三产业产值	0.727	0.602
总人口	0.876	0.351
农业人口	0.926	-0.028
粮食总产量	0.925	0.272
煤炭年产量	0.037	0.898
农民人均纯收入	0.757	0.602

以第二产业产值与煤炭开采是景观格局变化的主要驱动力之一。2000年以来,矿区生态问题引起社会的强烈关注,随着政府对矿区生态重建、土地复垦的开展^[26],矿区许多不达标的小矿井被关闭,大型矿井严格按照国家标准开采煤炭,矿区周围部分荒草地、塌陷地重新复垦成耕地,因此2000年以来矿区草地面积持续减少,而耕地面积减少变缓。此结果与郝成元^[27]对焦作矿区废弃土地复垦与生态重建的研究结果相一致,说明工业发展因子是矿区景观格局变化的主要驱动因子。

4 讨论与结论

(1) 1980—2015年焦作矿区以耕地、林地和建设用地为主,其中耕地面积比重最大,始终占研究区总面积43%以上。各类型中耕地、草地总体呈减少趋势,林地、建设用地、工矿用地和水域总体呈增长趋势,期间景观类型转化主要发生在耕地和建设用地之间,其他景观类型之间亦有少量转化;各景观类型空间上亦发生显著变化,其中耕地向东南平原区域转移,林地趋向西部、北部山区,建设用地则向西南市区及矿区主要道路附近集中。

(2) 1980—2015年焦作矿区各景观类型均呈不同程度的破碎化,林地破碎化最高,水域表现最为完整。矿区优势类别由耕地逐步转为建设用地,且这种差距在不断扩大。耕地斑块形状趋于规则,水域、建设用地、工矿用地和草地斑块形状越发不规则,其中水域斑块形状最为复杂。耕地聚集程度最大,与其他

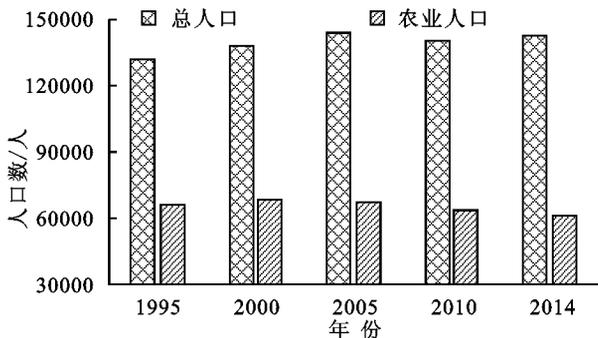


图5 1995—2014年马村区总人口及农业人口变化

3.3.2 工业发展因子分析 1995—2014年,第二产业在矿区三大产业中占据主导地位,产值比重始终在50%以上,而在第二产业中,煤炭开采是其主要方面。随着城市化进程加快,能源需求激增,煤炭开采速度加快,矿区采空区范围越来越大,地表出现大面积下沉塌陷,形成塌陷地^[25],同时煤山、矸石山压占周围耕地,导致矿区周围耕地逐渐荒废形成荒草地,与矿区1990—2015年草地面积变化趋势相一致,所

类型均邻接,为基质斑块。

(3) 1980—2015年焦作矿区整体景观指数发生显著变化:斑块密度、景观形状指数、香农多样性指数和香农均匀度指数均呈不断上升趋势,景观聚集度指数正好相反,呈不断下降趋势。这表明矿区景观破碎化程度加剧,斑块形状趋于复杂化,景观优势类别控制作用减弱,景观异质性增强。

(4) 1980—2015年,由于自然因素和人为因素的影响,焦作矿区的土地利用景观格局和生态环境发生了显著的变化,尤其是南部平原地区,耕地面积大量减少,取而代之的建设用地和工矿用地大面积增加,导致矿区景观破碎化增加,异质性增强,土地利用结构不合理,生态系统功能下降。其中人为因素是矿区35年来土地利用景观格局变化的主要原因,农业人口、粮食总产量、总人口、煤炭年产量和第二产业产值等因子起主要驱动作用。为此,未来焦作矿区应继续在北部山区实施退耕还林政策,将低产耕地向人工林地转化,减少山区水土流失;在南部平原地区加快城镇化进程,严格控制建设用地面积,关闭低产高能耗的矿井,复垦废弃地扩大耕地、林地面积。通过协调人口增长,经济发展,煤炭开采与环境保护之间的关系,优化矿区土地利用景观格局,实现矿区土地的可持续利用,保障矿区生态安全。

参考文献:

[1] 卢艳艳. 基于GIS的煤矿区景观格局时空变化及生态重建研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2012.

[2] 李保杰. 矿区土地利用景观格局演变及其生态效应研究:以徐州市贾汪矿区为例[D]. 江苏徐州:中国矿业大学,2014.

[3] Wood R, Handley J. Landscape dynamics and the management of change[J]. *Landscape Research*, 2001, 26(1):45-54.

[4] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. *地理科学*, 2003, 23(3):264-270.

[5] 周德民,宫辉力,胡金明,等. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究:以洪河湿地自然保护区为例[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1):86-96.

[6] Sha M, Tian G. An analysis of spatiotemporal changes of urban landscape pattern in Phoenix metropolitan region[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2(1):600-604.

[7] Caillault S, Vannier C, Vannier C, et al. Influence of incentive networks on landscape changes: A simple agent-based simulation approach [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 45(5):64-73.

[8] 高翔,蔡雄飞,王济,等. 贵州典型矿区10年景观格局变化及驱动力分析[J]. *环境科学与技术*, 2013, 36(11):

168-174.

[9] 张敏,宫兆宁,赵文吉,等. 近30年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. *生态学报*, 2016, 36(15):1-12.

[10] 王行风,汪云甲,杜培军. 潞安矿区景观尺度的土地质量定量评价初探[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(1):197-200.

[11] 徐占军,侯湖平,张绍良,等. 采矿活动和气候变化对煤矿区生态环境损失的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(5):232-240.

[12] 孟宪锐,吴昊天,王国斌. 我国厚煤层采煤技术的发展及采煤方法的选择[J]. *煤炭工程*, 2014, 46(10):43-47.

[13] 刘惠明,尹爱国,苏志尧. 3S技术及其在生态学研究中的应用[J]. *生态科学*, 2002, 21(1):82-85.

[14] Semlitsch R D. Critical elements for biologically based recovery plans of aquatic-breeding amphibians [J]. *Conservation Biology*, 2002, 16(3):619-629.

[15] 肖飞,杜耕,凌峰,等. 长江中游四湖流域湖泊变迁与湖区土壤空间格局的关联分析[J]. *湿地科学*, 2012, 10(1):8-14.

[16] 肖鹏峰,刘顺喜,冯学智,等. 基于遥感的土地利用与覆被分类系统评述及代码转换[J]. *遥感信息*, 2003(4):54-58.

[17] 布仁仓,常禹,胡远满,等. 基于Kappa系数的景观变化测度:以辽宁省中部城市群为例[J]. *生态学报*, 2005, 25(4):778-784.

[18] 张馨艺. 景观生态学中景观格局指数的研究[J]. *黑龙江科技信息*, 2013(4):271.

[19] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2007.

[20] 焦作市统计局. 焦作统计年鉴2014[Z]. 河南焦作:焦作市统计局,2014.

[21] 郭丽英,刘彦随,任志远. 生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析:以陕西榆林市为例[J]. *资源科学*, 2005, 27(2):128-133.

[22] 郝兴明,陈亚宁,李卫红. 塔里木河流域近50年来生态环境变化的驱动力分析[J]. *地理学报*, 2006, 61(3):262-272.

[23] 钱者东,蒋明康,刘鲁君. 陕北榆神矿区景观变化及其驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2):90-93.

[24] 王计平,岳德鹏,刘永兵,等. 基于RS和GIS技术的京郊西北地区土地利用变化的景观过程响应[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(S2):174-180.

[25] 张健雄,李敏,王保山. 焦作矿区塌陷土地复垦与可持续利用[J]. *地域研究与开发*, 2003, 23(6):63-65.

[26] 焦作市人民政府. 焦作市土地利用总体规划1997—2010[Z]. 郑州:河南人民出版社,1999.

[27] 郝成元. 焦作矿区废弃土地生态重建与土地适宜性评价研究[C]//中国煤炭学会. 第七届全国矿山测量学术会议论文集. 北京:煤炭工业出版社,2007.