

松花江流域土地利用变化及形成机理

——以哈尔滨段为例

盖兆雪, 孙萍, 张景奇

(东北大学 土地管理研究所, 沈阳 110169)

摘要:为了揭示城市化进程中松花江流域哈尔滨段土地利用变化特征及形成机理,为区域土地利用配置和管理提供决策参考。以松花江流域哈尔滨段为例,采用土地利用转移矩阵、土地利用图谱法、标准差椭圆分析法和地理探测器,对研究区1996—2016年土地利用变化及形成机理进行了分析。研究结果表明:(1)1996—2016年土地覆被以耕地为主,均占总面积的59%以上;其次为林地和建设用地;变化特征为耕地的非农化。(2)1996—2016年土地利用变化图谱呈西北—东南向分布格局,以稳定型为主,且分布最集中,而后期变化型、反复变化型、持续变化型分布均较为分散,主要集中在松花江和呼兰河沿岸附近。(3)1996—2016年高程、年平均气温等自然因素对土地利用变化的影响最显著,其中1996—2006年各因素对土地利用变化的影响较强。(4)不同时段土地利用变化的主控因子有差异,耕地变化受高程、年平均气温影响较大,建设用地变化受与水域距离影响大。受自然、社会和距离等因子影响,研究区土地利用变化分异特征显著,未来应强化对低高程和近水土地利用的规划和管理。

关键词:土地利用;时空格局;地理探测器;松花江流域哈尔滨段

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0314-07

Land Use Change and Formation Mechanism in Songhuajiang Basin

—Harbin Section as an Example

GAI Zhaoxue, SUN Ping, ZHANG Jingqi

(Institute of Land Management, Northeast University, Shenyang 110169, China)

Abstract: To reveal the characteristics and formation mechanism of land use pattern change in the process of urbanization in Songhuajiang Basin, and provide decision-making reference for regional land use allocation and management, land use transfer matrix, land-use information mapping, standard deviation ellipse analysis, geographic detector were used to analyze the land use change and formation mechanism in the study area from 1996 to 2016. The results showed that: (1) land cover was dominated by cultivated land, accounting for more than 59% of the total area, followed by forestland and construction land, and the change feature was farmland conversion; (2) land-use mapping showed the northwest-southeast pattern, the stable type was the main form, and the distribution was most concentrated, and the distribution of later change type, repeated change type, continuous change type was more scattered, and mainly focused on zones along the banks of Songhuajiang River and Hulan River in the period 1996—2016; (3) the influences of elevation and annual mean temperature and etc. of natural factors on land use pattern change were always greater in the period 1996—2016, and the impact of each factor on land use pattern changes was stronger in the period 1996—2006; (4) the main controlling factors of land use change in different periods were different, the change of cultivated land was greatly influenced by height and annual average temperature, and the change of construction land was greatly influenced by the distance from water. Land use change had obvious differentiation characteristics which were influenced by natural, social and distance factors, and planning and management of land use at low elevation and nearby water should be strengthened in the study area in the future.

收稿日期:2018-10-20

修回日期:2018-11-05

资助项目:国家社会科学基金青年项目(15CGL078);中央高校基本科研业务专项资金(N151402004, N161401003);东北大学2017—2018年度本科试验、实习教学改革研究项目;东北大学2016年研究生质量工程项目

第一作者:盖兆雪(1990—),女,黑龙江双城人,博士研究生,研究方向为土地利用。E-mail:gaizhaoxue@163.com

通信作者:孙萍(1962—),女,辽宁庄河人,教授,博士生导师,主要从事行政管理与土地管理研究。E-mail:sunping626@126.com

Keywords: land use pattern; spatiotemporal pattern; geographic detector; Harbin section of Songhuajiang Basin

土地利用及覆盖变化是人类活动对自然环境施加影响的显著表现形式^[1],21世纪以来,工业化、城镇化、资源开发等造成区域土地利用类型发生改变,进而影响生态环境^[2-3],不同土地利用类型通过竞争相互消长,最终形成土地利用变化^[4]。分析土地利用变化是揭示人类活动与自然环境变化的有效方式^[5],同时也是判断土地利用是否合理的重要依据^[6]。在社会经济快速发展的阶段,区域土地利用时空格局是否发生改变?如果发生改变,决定区域土地利用变化的主导因素又是什么?因此,掌握区域土地利用时空格局变化及形成机理,是实现土地可持续利用的重要基础。

目前,国内外围绕土地利用变化进行了大量的研究。在研究尺度上分为宏观尺度^[7-8](全国、省域)、中观尺度^[9-10](流域、市域)和微观尺度^[11](县域);在研究内容上,集中于空间尺度识别^[12]、变化特征^[13]及对生态环境的影响^[14]、土地利用格局优化^[15]、驱动机制^[16];在研究方法上,采用GIS手段、RS技术以及计量模型分析等^[17-19]。通过梳理文献发现:一是目前尺度多数集中于热点地区和生态禀赋脆弱区,而对于既是粮食主产区又急需快速发展社会经济的典型区域研究比较匮乏;二是影响因素的选择过程中忽略了其在空间分布上的差异,多依赖于计量模型的构建,其假设影响因素的决定力在空间分布上是均质的,这与显示情况不符。松花江流域哈尔滨段是“一带一路”和“龙江丝路带”国家战略的中心地区,也是中国重要的商品粮生产基地,城市化进程快,土地利用开发强度大,水土流失、区域沙化、土壤化学污染等负效应突出,据相关研究表明:2006—2014年研究区旱地面积减少752.07 km²,水田面积减少76.16 km²,建筑用地面积增加405.73 km²,未利用地面积减少24.25 km²,土壤侵蚀面积达到1794.82 km²,人口密集,人均占地较少且不均衡,而且研究区土地利用程度正处于加深阶段,土地利用生态风险主要以中等程度为主,低、较高和高生态风险区持续增加,较低、中生态风险区持续减少,流域生态安全及经济社会可持续发展受严重威胁^[20-21],鉴于此,本文以松花江流域哈尔滨段为研究区,运用转移矩阵、土地利用图谱、标准差椭圆法分析研究区1996—2016年土地利用数量及空间变化特征,在此基础上采用地理探测器从地理空间格局分布视角探测不同时段土地利用变化分异成因及形成机理,以期为区域土地利用配置与管理提供决策参考,对土地利用结构优化及可持续利用具有重要的意义。

1 研究区概况

松花江流域哈尔滨段(125°42′—130°10′E,44°04′—46°40′N)位于黑龙江省南部,地处松嫩平原,是黑龙江省重要的粮食生产基地,同时也是东北地区城镇化进程发展较快的流域。包括一个干流和两个一级支流——呼兰河、阿什河。该区域平原辽阔,土地资源丰富,土地利用类型多样,耕地面积比重较大,土壤类型较多。土地面积7067 km²,人口为471.4万人。土地利用程度持续强化,土地利用生态风险持续增加。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

土地利用数据来源于1996年、2006年、2016年3期Landsat TM/OLI遥感影像数据,分辨率均为30 m。选取月份区间为6—9月云覆盖率小于10%的遥感影像,通过几何纠正、图像增强等预处理,进行监督分类、人工目视解译及野外调查,确定研究区土地利用类型。土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6大类,同时对分类结果进行精度检验(Kappa系数均超过0.88),解译结果满足研究需要,最终建立松花江流域哈尔滨段土地利用数据库;气象数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>);DEM数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),在高程数据的基础上提取坡度、坡向、地形起伏度数据。利用ArcGIS 10.2软件中的3D Analyst工具提取坡度图和坡向图,采用临界坡度分级法将其分为5个等级:0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,25°~68°;坡向分为4个等级:0°~45°,315°~360°(北坡),45°~135°(东坡),135°~225°(南坡),225°~315°(西坡)。地形起伏度的提取采用ArcGIS 10.2软件的邻域分析分别求取DEM最大值和最小值,并利用栅格计算器计算差值获得地形起伏度,根据国际通用的五级制,将本文的地形起伏度分为3个等级:0~20 m(微起伏),20~75 m(小起伏),75~135 m(中起伏)。运用GIS软件提取城镇中心点、乡级以上道路、水域矢量数据,采用欧式距离法进行空间化,获得到点、线、面状距离;社会经济数据来源于《哈尔滨统计年鉴》和《哈尔滨年鉴》,通过Kriging空间插值对人口、GDP数据进行空间化。由于本文数据基础是建立在栅格数据上,但各图件包括矢量和栅格数据,因此需要进行栅格化处理,均重采样到30 m×30 m。

2.2 研究方法

运用土地利用转移矩阵和土地利用变化图谱法分别分析土地利用数量结构和空间格局变化,标准差椭圆法揭示土地利用变化的空间格局特征,地理探测器用于提取土地利用变化主控因子,并对因子进行定量分析。

2.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵^[22]是指在一定时间内各土地利用类型之间随时间不断转化的过程,它能够反映研究区土地利用类型数量的分布特征及相互转化的流向,本文用它分析研究区土地利用数量结构变化特征,其公式为:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: A_{ij} 为研究初期与末期土地利用类型变化; n 为土地利用类型。

2.2.2 土地利用图谱 将 3 期土地利用矢量数据进行叠加分析,复合成不同时期土地利用变化图谱,将其分为稳定型(1996—2016 年土地利用类型未发生变化)、前期变化型(仅 1996—2006 年土地利用类型发生变化)、后期变化型(仅 2006—2016 年土地利用类型发生变化)、反复变化型(2 次变化,且 1996 年、2016 年土地利用类型相同)和持续变化型(1996—2016 年土地利用类型不同)5 类^[23],实现对土地利用类型变化信息的空间可视化表达与分析,进而定量、直观分析土地利用空间格局演化历程。

2.2.3 标准差椭圆法 标准差椭圆(SDE)能够精确地揭示对象空间分布的多面性^[24]。它能够从多角度反映土地利用格局分布的特征,通过对比椭圆之间的差异性,分析土地利用格局分布范围的状态;SDE 的长轴和短轴分别代表研究对象的主要与次要趋势方向,其重心的迁移反映土地利用格局特征,其公式为:

$$\tan\theta = \frac{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i)^2}}{2\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (2)$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x} \cos\theta - w_i \tilde{y} \sin\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x} \sin\theta - w_i \tilde{y} \cos\theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}} \quad (3)$$

式中: w_i 为权重; θ 为椭圆方位角; \tilde{x}, \tilde{y} 分别为各研究对象到平均中心的坐标偏差; σ_x, σ_y 分别为沿 x 轴和 y

轴的标准差。椭圆的长半轴表示数据分布的方向,短半轴表示数据分布的范围,其中短半轴越短,表示数据呈现的向心力越明显;反之,短半轴越长,表示数据的离散程度越大。长短半轴的值差距越大(扁率越大),表示数据的方向性越明显。短轴与长轴比表示形状指数。

2.2.4 地理探测器分析方法 地理探测器是探测空间分异性以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法^[25]。被用于探测社会经济、生态环境等相关领域^[26],它能够反映其分异成因及形成机理,本文利用地理探测器的因子探测法定量评估影响研究区土地利用变化的因素及影响强度,具体公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式中: q 为形成机理解释力,值域为 $[0, 1]$; $q=0$ 说明土地利用空间格局呈随机分布; q 值越大表明分类因素对区域土地利用变化的解释力越强; L 为分区数; N_h, N 分别为层 h 和全区的个数; σ_h^2, σ^2 分别为层 h 和全区土地利用变化方差。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用数量变化 1996—2006 年,耕地转化为其他类型土地面积为 432.36 km²,占转出总比重的 36.01%,其中 17.62%的耕地转为建设用地,10.91%的耕地转为林地,而其他类型土地转为耕地的面积仅为 391.22 km²,转入量小于转出量,导致耕地面积减少 41.14 km²;建设用地转入 249.35 km²,转出 212.05 km²,建设用地面积增加 37.3 km²,其中转入量主要来源于耕地,说明城市扩张以占用耕地为主;其他类型土地发生转移面积大小不一,其中水域、未利用地转入量小于转出量,面积分别减少 207.63, 17.92 km²,归因于自然因素和人类社会经济活动的影响;草地、林地转入面积大于转出面积,草地、林地面积分别增加了 186.34, 43.05 km²,源于退耕还林、还草工程政策的实施(表 1)。

2006—2016 年土地利用类型转移与 1996—2006 年相比转移趋势差异显著。建设用地、耕地转移情况最为突出,其中建设用地转入量(517.83 km²)大于转出量(144.42 km²),建设用地面积大幅度增加,增加了 373.41 km²。而耕地转入量(330.53 km²)小于转出量(584.06 km²),耕地面积减少了 253.53 km²,土地利用类型转移主要是建设用地与耕地之间的转移,由于农村居民点的整理建设用地转移面积的

36.61%转为耕地,耕地转移面积的 77.20%转为建设用地,17.08%转为未利用地,可见建设用地的快速扩张,导致大量耕地非农化、生态用地减少。其次水域和草地变化较为明显,草地转入量(54.51 km²)小于转出量(248.41 km²),水域转入量(220.68 km²)

大于转出量(44.30 km²)。总体来看,1996—2016 年研究区土地利用数量结构变化显著,土地利用类型以耕地为主,面积均占总面积的 59%以上,说明研究区以农业为主,符合该区域社会经济发展模式,土地利用变化特征为耕地的非农化(表 2)。

表 1 1996—2006 年松花江流域哈尔滨段土地利用转移矩阵 km²

年份	土地利用 类型	2006 年					
		草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地
1996 年	草地	74.75	36.14	10.63	0.46	156.26	45.49
	耕地	41.58	4056.38	172.48	91.33	44.52	41.31
	建设用地	5.62	211.55	564.89	12.09	11.59	8.50
	林地	0.80	131.04	23.51	1058.28	2.31	1.08
	水域	5.23	40.88	3.81	11.66	73.92	6.13
	未利用地	9.41	12.75	1.62	0.15	60.66	38.11

表 2 2006—2016 年松花江流域哈尔滨段土地利用转移矩阵 km²

年份	土地利用 类型	2016 年					
		草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地
2006 年	草地	75.32	37.63	3.20	0.70	1.91	11.07
	耕地	56.17	3863.54	121.00	109.11	24.44	19.81
	建设用地	45.38	399.79	669.82	50.37	13.02	9.27
	林地	1.32	94.89	10.31	1049.84	0.44	0.21
	水域	96.91	40.04	6.57	6.63	97.33	70.53
	未利用地	48.63	11.71	3.34	0.37	4.49	11.81

3.1.2 土地利用变化图谱分析 借助 ArcGIS 10.2 软件平台,通过叠加分析获取松花江流域哈尔滨段土地利用变化图谱(图 1),并统计各类图谱面积及比例(表 3),掌握土地利用空间格局变化规律。结果显示:5 种图谱变化类型中,稳定型占总面积的比重最大,为 75.01%,其次为后期变化型(8.01%),说明 2006—2016 年土地利用变化较为剧烈。稳定型图谱散布于整个研究区域,面积达到 5 300 km²,其他类型变化图谱主要集中在松花江和呼兰河沿岸附近,面积均小于 600 km²,可见研究区用地结构较为稳定,其中稳定型图谱中“耕地—耕地—耕地”图谱最大,占该图谱面积的 69.76%,表明研究区以种植业为主;后期变化型中最大图谱类型为“耕地—耕地—建设用地”,占该图谱面积的 50.89%,可见随着哈西新区、群力新区、哈南工业新城等开发区的兴建,周边耕地非农化速度加速;前期变化型图谱为“耕地—建设用地—建设用地”,占该图谱面积的 29.87%,随着农业人口非农化进程的加快,大量耕地被占用;反复变化型主要是“建设用地—耕地—建设用地”图谱,由于 1996—2006 年大量人口涌入城市,部分村屯合并将闲置地开垦为耕地,但是经济的加速发展,老工业基地向周边郊区迁移,致使 2006—2016 年郊区耕地被占用为建设用地;整体来看研究区空间格局变化主要

是耕地与建设用地之间的转变,除稳定型图谱外,其他类图谱最终土地利用类型均为建设用地,导致建设用地面积持续增加,可见耕地非农化主要形式为转变为建设用地。

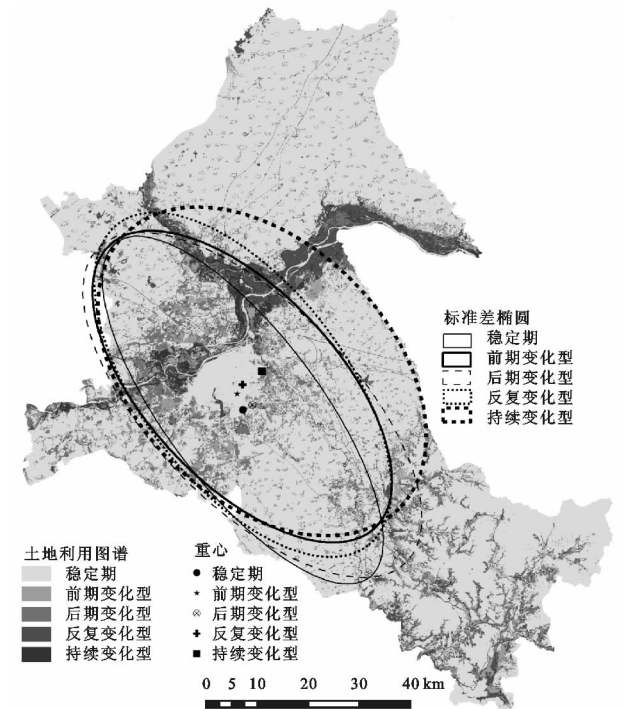


图 1 1996—2016 年土地利用变化图谱及标准差椭圆
从多角度分析松花江流域哈尔滨段土地利用变

化图谱的空间分布特征(图 1)。结果表明,5 种类型图谱的标准差椭圆均分布在松花江流域附近,呈现西北—东南向分布格局,其重心集中分布在南部,说明研究区土地利用变化集中分布在南部,归因于群力新区、哈西新区、哈南工业新城、空港新区的新建或扩张,土地利用变化强烈。通过标准差椭圆分析,得到不同类型图谱标准差椭圆属性,通过公式(2)—(3)计算可知,稳定型图谱分布范围最小,方位角为 53.02°,长轴标准差为 41.71 km,短轴标准差为 15.28 km,形状指数为 0.37,扁率最大,向心力强,方向性最明显,说明稳定型分布最集中,后期变化型、反复变化型、持续变化型标准差椭圆均较为宽广,可见其分布均较为分散,其中持续变化型最为宽广,长轴标准差为 38.53 km,短轴标准差为 25.45 km,形状指数为 0.66,扁率最小,方向特征不明显,离散程度大,持续变化型分布最为分散。

3.2 土地利用变化形成机理分析

3.2.1 土地利用变化成因分析 土地利用变化是自

然条件和社会经济条件共同作用的结果,本文根据研究区土地利用变化特征并结合相关理论分析,综合考虑自然和社会经济因素,兼顾指标选取的难易程度,遴选自然因子包括高程、坡度、坡向、地形起伏度、年平均气温、年降水量;距离因子包括与城镇中心距离、与水域距离、与乡级以上道路距离;社会经济因子包括 GDP、人口,进行土地利用变化形成机理分析。首先利用 ArcGIS 10.2 软件将各因素进行空间化,并转为栅格数据,重新采样到 30 m×30 m,其次将研究区土地利用变化与影响因素进行空间匹配,进而进行形成机理探测(表 4)。

表 3 各图谱类型面积及比例

图谱类型	面积/km ²	比例/%
稳定型	5300.71	75.01
前期变化型	451.48	6.39
后期变化型	565.95	8.01
反复变化型	511.87	7.24
持续变化型	236.92	3.35

表 4 土地利用变化影响因素探测结果

影响因素	等级					影响力(q)	
	一级	二级	三级	四级	五级	1996—2006 年	2006—2016 年
高程/m	<152	152~230	230~343	343~490	490~836	0.131	0.091
坡度/(°)	<4	4~9	9~15	15~24	24~67	0.015	0.044
坡向/(°)	<67	67~140	140~213	213~286	286~360	0.060	0.033
地形起伏度/m	<7.00	7~14	14~23	23~36	36~135	0.025	0.040
与城镇中心距离/m	<3478	3478~6223	6223~9335	9335~13087	13087~23337	0.039	0.038
与水域距离/m	<1902	1902~4438	4438~7845	7845~12125	12125~20207	0.028	0.058
与乡级以上道路距离/m	<2732	2732~6458	6458~11178	11178~17760	17760~31674	0.013	0.012
年平均气温/℃	<3.3	3.3~4.1	4.1~4.6	4.6~4.9	4.9~5.4	0.143	0.072
年降水量/mm	<544.2	544.2~552.8	552.8~560.6	560.6~568.7	568.7~592.3	0.136	0.062
GDP/亿元	<15	15~18	18~21	21~24	24~30	0.048	0.080
人口/万人	<52	52~67	67~78	78~95	95~134	0.035	0.014

1996—2006 年自然因子对研究区土地利用变化的影响最强,其次为社会经济因子。自然因子中年平均气温、年降水量、高程的解释力值相对较高,分别为 0.143,0.136,0.131,可见平均气温、年降水量、高程为土地利用变化的主控因子,这符合研究区土地利用类型的特点。适宜的水温条件是植被形成的关键,高程决定各类用地的分布,研究区土地利用类型以耕地、林地为主,且地势较为平坦,因此水温条件差、低高程的区域土地利用变化可能性增强;距离因子中与城镇中心距离(0.039)对土地利用变化的影响相对较大。与城镇中心距离越近,尤其是城市郊区,城市扩张严重,土地利用类型转换频繁;社会经济因子中 GDP(0.048)的解释力相对最高,源于研究区为了追求更大的经济效益,大量增设工业用地,导致建设用

地面积增加,土地利用变化显著。2006—2016 年土地利用变化的主控因子发生改变。自然因子中高程(0.091)、年平均气温(0.072)的解释力最高,对研究区土地利用变化的影响较大,可见气温条件和高程是制约着土地利用变化的重要自然因素;距离因子中与水域距离(0.058)和社会经济因子中 GDP(0.080)对土地利用变化的影响显著,由于 GDP 的增加导致土地利用开发强度大,土地利用变化概率增加。

综上,1996—2006 年、2006—2016 年 2 个时段影响研究区土地利用变化的关键性因子有相同之处,但也存在差异,自然因子是研究区土地利用变化的主控因子,其中高程、年平均气温是土地利用变化的共性影响因子,但影响强度呈下降趋势;距离因素中与水域距离因子的影响强度差异性较大,2006—2016 年时最强;社会

经济因素中 GDP 的影响程度逐渐增强,2006—2016 年成为主控因子;其他影响因子影响程度错综复杂。总体来看,1996—2006 年影响因子对土地利用变化的影响力明显高于 2006—2016 年,说明 1996—2006 年各因子对土地利用变化的影响强度大。

表 5 不同土地利用类型形成机理解释力

影响因素	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用地	
	1996—2006	2006—2016	1996—2006	2006—2016	1996—2006	2006—2016	1996—2006	2006—2016	1996—2006	2006—2016	1996—2006	2006—2016
高程	0.398	0.320	0.640	0.534	0.633	0.419	0.045	0.097	0.043	0.294	0.958	0.338
坡度	0.154	0.146	0.201	0.221	0.115	0.200	0.086	0.066	0.039	0.286	0.391	0.104
坡向	0.112	0.063	0.279	0.294	0.234	0.213	0.083	0.110	0.289	0.033	0.103	0.075
地形起伏度	0.057	0.274	0.971	0.413	0.070	0.096	0.203	0.076	0.136	0.175	0.558	0.284
与城镇中心距离	0.063	0.034	0.471	0.534	0.034	0.222	0.486	0.256	0.104	0.174	0.310	0.198
与水域距离	0.046	0.304	0.397	0.419	0.634	0.363	0.995	0.203	0.350	0.617	0.562	0.939
与乡级以上道路距离	0.051	0.163	0.042	0.219	0.038	0.069	0.218	0.147	0.018	0.096	0.035	0.007
年平均气温	0.632	0.153	0.452	0.994	0.008	0.002	0.055	0.117	0.209	0.165	0.067	0.066
年降水量	0.046	0.142	0.194	0.063	0.631	0.200	0.058	0.116	0.334	0.359	0.231	0.007
GDP	0.495	0.037	0.206	0.403	0.191	0.053	0.011	0.066	0.002	0.028	0.009	0.016
人口	0.040	0.022	0.184	0.024	0.091	0.035	0.115	0.139	0.061	0.028	0.134	0.007

耕地变化受自然因子的影响最强,其中高程、年平均气温是耕地变化的主控因子,1996—2006 年影响力值最高,分别为 0.398,0.632。在低高程地带,适宜人类进行生活及生产活动,进而加速耕地非农化,气候变暖促进耕地类型发生转变;其次坡度、年降水量对耕地变化也有显著影响。距离因子中与水域距离、与乡级以上道路距离的影响程度逐渐增强;社会经济因子中 GDP 的影响强度逐渐减弱,由 0.495 减少到 0.037,表明研究区在经济快速发展的同时也注重耕地的保护。

林地的变化受自然因子的影响最强,其中高程、地形起伏度、年平均气温是林地变化的主控因子。但高程、地形起伏度的影响程度不断减少,分别由 0.640,0.971减少到 0.534,0.413,表明高程、地形起伏度对林地转移的限制减弱。而年平均气温的制约程度增强,在较低海拔的地带随着社会经济的快速发展,林地被开垦为其他类型土地的机率增加;距离因子中与城镇中心距离、与水域距离的解释力相对较高,解释力分别由 0.471,0.452 增加到 0.534,0.994,可见这两个因子对林地变化的解释力逐渐增加;社会经济因子中 GDP 的影响相对较大。

草地变化受高程、与水域距离、年降水量的影响较大,但影响强度呈下降趋势,分别由 0.633,0.634,0.631 减少到 0.419,0.363,0.200,可见这几个因子对研究区草地变化的影响逐渐减弱,在高高程、远水区域草地发生转变的概率较大,同时降水量低,草地极易萎缩,造成草地面积减少。

3.2.2 不同土地利用类型变化形成机理 进一步分析不同土地利用类型转换的形成机理解释力,揭示不同土地利用类型变化的形成机理,分析 1996—2006 年和 2006—2016 年研究区土地利用类型变化影响因子的解释力(表 5)。

建设用地变化受距离因子的影响最大,尤其是与城镇中心、与水域距离,但解释力均逐渐减小,表明距离因子对建设用地变化的限制减少,但其影响程度仍相对较大。其中与水域距离解释力减少幅度最大,由 0.995 减少到 0.203;社会经济因子中人口对建设用地变化的影响逐渐增强,表明人口对建设用地的限制增大,随着城市化进程的不断加快,部分人口涌入城市导致宅基地闲置,建设用地转变概率增加。

水域变化受与水域距离、年降水量影响最大,其解释力逐渐增加,分别由 0.350,0.334 增加到 0.617,0.359,其中与水域距离影响因子变化幅度最大,水域周围大多为沼泽地、滩涂用地,与水域距离越近、降水量逐渐减少,其水域转变为其他类型土地的概率增加,年平均气温对水域的影响也较大,但其解释力逐渐减少。

未利用地受高程、坡度、地形起伏度、与城镇中心距离、与水域距离的影响较大,但除与水域距离的影响逐渐增加外,其他影响强度均不断减少,表明未利用地转变为其他土地利用类型主要发生在低高程、低坡度、低地形起伏度、与城镇中心、水域距离近的区域。

4 讨论与结论

(1) 松花江流域哈尔滨段土地利用类型以耕地为主,耕地、草地、林地、未利用地、水域面积的减少伴随着建设用地面积的增加,2006—2016 年土地利用变化幅度明显大于 1996—2006 年,且土地利用类型转移主要是建设用地与耕地之间的转移,其中 2006—2016 年耕地、建设用地转入量分别为 330.53,

517.83 km²,转出量分别为 584.06,144.42 km²,这与自然社会经济因素及《哈尔滨城市总体规划》、滨水城市建设和北跃发展战略等政策的扶持有一定关系。

(2) 松花江流域哈尔滨段土地利用变化图谱呈现西北—东南向分布格局,以稳定型图谱为主,分布最集中,其中“耕地—耕地—耕地”图谱最大,而后期变化型、反复变化型、持续变化型分布均较为分散,且变化主要集中在松花江和呼兰河沿岸附近,土地利用变化显著。

(3) 1996—2006 年、2006—2016 年自然因子是土地利用变化的主控因子,社会经济因子其次,其中耕地变化主要受高程、年平均气温的影响最大;高程、地形起伏度、年平均气温对林地的变化影响显著;草地、建设用地、水域变化主要受与水域距离因子影响;高程对未利用地的变化产生剧烈影响。不同时段土地利用变化的主控因子有差异,各因子作用方向与强度不尽相同。

(4) 松花江流域哈尔滨段土地利用变化受自然因素、社会经济因素、距离因素、政策因素等共同作用的结果。本文从自然、社会经济和距离因素进行形成机理分析,未将政策因素纳入,未来将政策因素进行空间量化,更加全面考虑各因素对土地利用变化的影响,是今后研究的重点内容。

参考文献:

- [1] 华文剑,陈海山,李兴. 中国土地利用/覆盖变化及其气候效应的研究综述[J]. 地球科学进展,2014,29(9): 1025-1036.
- [2] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.
- [3] 陈菁,谢晓玲. 海峡西岸快速城市化中土地利用变化的影响因素[J]. 经济地理,2010,30(11):1885-1889.
- [4] 倪九派,邵景安,李阳兵,等. 近 10 年重庆土地利用平衡及未来情景分析[J]. 资源科学,2011,33(8):1591-1599.
- [5] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.
- [6] 王军,顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):298-308.
- [7] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报,2018,73(5): 789-802.
- [8] 胡国霞,雷国平,周浩,等. 黑龙江省土地利用变化的碳排放效应研究[J]. 水土保持研究,2015,22(6):287-292.
- [9] Pavel Ondr, Jiří Pečenka, Jakub Polenský, et al. Effect of land use changes on water run-off from a small catchment in the Czech Republic[J]. Ekológia (Bratislava),

2016,35(1):78-89.

- [10] 蒙吉军,严汾,赵春红. 大城市边缘区土地利用变化模拟研究:以北京市昌平区为例[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):197-208.
- [11] 王越,宋戈,张红梅. 黑龙江省县域土地利用格局优化研究[J]. 经济地理,2016,36(8):147-151.
- [12] 宋戈,王越. 松嫩高平原土地利用格局空间尺度识别及其关联关系研究[J]. 中国土地科学,2017,31(1):88-96.
- [13] Łukasz Wiejaczka, Jan Romuald Olędzki, Anna Bucala-Hrabia, et al. A spatial and temporal analysis of land use changes in two mountain valleys: with and without dam reservoir (Polish Carpathians) [J]. Quaestiones Geographicae, 2017,36(1):129-137.
- [14] Addo Koranteng, Isaac Adu-Poku, Tomasz Zawila-Niedzwiecki. Drivers of land use change and carbon mapping in the savannah area of Ghana [J]. Folia Forestalia Polonica, 2017,59(4):287-311.
- [15] 何玲,贾启建,李超,等. 基于生态系统服务价值和生态安全格局的土地利用格局模拟[J]. 农业工程学报,2016,32(3):275-284.
- [16] 段峥嵘,祖拜代·木依布拉,夏建新,等. 近 25 年阿克苏绿洲土地利用时空变化及其驱动力分析[J]. 应用基础与工程科学学报,2018,26(2):413-426.
- [17] 封建民,文琦,郭玲霞. 风沙过渡区土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以榆林市为例[J]. 水土保持研究,2018,25(4):304-308.
- [18] 朱静静,师学义. 黄土丘陵区土地利用空间自相关格局及其影响因素分析:以晋城市长河流域为例[J]. 水土保持研究,2018,25(5):234-241.
- [19] 汪滨,张志强. 黄土高原典型流域退耕还林土地利用变化及其合理性评价[J]. 农业工程学报,2017(7):242-252,323.
- [20] 龚文峰,袁力,范文义. 基于 CA-Markov 的哈尔滨市土地利用变化及预测[J]. 农业工程学报,2012,28(14): 216-222.
- [21] 蒋本超,刘子靖,李锦时,等. 哈尔滨市水土流失现状调查与分析研究[J]. 环境科学与管理,2017,42(6):53-57.
- [22] 乔伟峰,盛业华,方斌,等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘:以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究,2013,32(8):1497-1507.
- [23] 张国坤,邓伟,张洪岩,等. 新开河流域土地利用变化图谱分析[J]. 地理学报,2010,65(9):1111-1120.
- [24] 赵璐,赵作权,王伟. 中国东部沿海地区经济空间格局变化[J]. 经济地理,2014,34(2):14-18.
- [25] 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.
- [26] 李颖,冯玉,彭飞,等. 基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J]. 经济地理,2017,37(12):180-189.