



资源型城市土地利用时空演变格局及驱动力分析 ——以辽宁省鞍山市为例

江山¹, 邓颖³, 石绍山¹, 姚远¹, 魏明辉^{1,2}, 刘凯^{1,2}, 房娜娜^{1,2}, 周丽¹

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;
2. 自然资源部黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034;
3. 辽宁省矿产勘查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110083

摘要: 基于 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期土地利用/覆盖数据, 综合运用土地利用动态度、地学信息图谱、弦图可视化和 PLUS 模型等方法, 分析鞍山市 2000—2020 年土地利用时空演变特征及驱动力, 并预测了鞍山市 2040 年土地利用格局。结果表明: 2000—2020 年间, 鞍山市耕地面积呈持续减少趋势, 近 20 年共减少了 496.10 km², 主要转出至林地、建设用地和草地。林地呈持续增加趋势, 近 20 年共增加了 410.86 km², 主要转入自耕地和草地。近 20 年来, 鞍山市最主要的土地利用变化图谱有“耕地→林地”和“耕地→建设用地”, 其中前者主要分布于海城市东南部—千山区一带, 后者主要分布于千山区、海城市中部和台安县中部等地。2000 年以来, 鞍山市土地利用变化速度为先快后慢, 第一个 10 年综合土地利用动态度为 1.29%, 第二个 10 年其值为 2.84%。单地类来看, 20 年间增长最快的是建设用地, 平均每年增加 0.87%; 减少最快的是耕地, 平均每年减少 0.60%。模拟预测结果显示, 2040 年鞍山市耕地将进一步减少, 驱动鞍山市耕地减少的主要因素有高程、降水量、气温等, 其次为人口、GDP、到铁路和地方行政中心距离等社会经济因素。

关键词: 资源型城市; 土地利用; 国土空间; PLUS 模型; 驱动力; 时空演变; 鞍山市; 辽宁省

Spatiotemporal evolution pattern and driving force of land use in resource-based cities: A case study of Anshan City, Liaoning Province

JIANG Shan¹, DENG Ying³, SHI Shao-shan¹, YAO Yuan¹, WEI Ming-hui^{1,2}, LIU Kai^{1,2}, FANG Na-na^{1,2}, ZHOU Li¹

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects, MNR, Shenyang 110034, China; 3. Liaoning Mineral Exploration Institute Co., Ltd., Shenyang 110083, China

Abstract: Based on land use/cover data for the years of 2000, 2010, and 2020, this study analyzes the spatiotemporal evolution characteristics and driving forces of land use in Anshan City during 2000–2020 and predicts the land use pattern in 2040 by ways of land use dynamic degree, geo-information maps, chord diagram visualization and PLUS

收稿日期: 2024-01-30; 修回日期: 2024-04-22. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“辽东山地丘陵区典型地区地质灾害精细调查与风险管控”(DD20230437).

作者简介: 江山 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事资源与环境遥感相关工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail// 356664057@qq.com

通信作者: 邓颖 (1981—), 女, 高级工程师, 主要从事水工环地质相关工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦, E-mail// 853688947@qq.com

引用格式: 江山, 邓颖, 石绍山, 姚远, 魏明辉, 刘凯, 房娜娜, 周丽. 资源型城市土地利用时空演变格局及驱动力分析——以辽宁省鞍山市为例[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 232-245.

Jiang S, Deng Y, Shi S S, Yao Y, Wei M H, Liu K, Fang N N, Zhou Li. Spatiotemporal evolution pattern and driving force of land use in resource-based cities: A case study of Anshan City, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 232-245.

model. The results show that the area of cultivated land continuously decreased, with a total reduction of 496.10 km² during 2000–2020, primarily converted to forest, construction and grass lands. Forest land increased 410.86 km² during the same period, mainly transferred from cultivated and grass lands. The most significant land use change in recent 20 years behaves as cultivated land → forest land and cultivated land → construction land, with the former predominantly distributed in the southeastern Haicheng City and Qianshan District, and the latter concentrated in Qianshan District, central Haicheng City, and central Tai'an County. Since 2000, the land use change rate has showed a fast-slow temporal pattern, with a comprehensive land use dynamic degree of 1.29% in the first decade and 2.84% in the second decade. In terms of single land type, construction land shows the fastest growth rate at 0.87% annually, while cultivated land experiences the most rapid decline at 0.60% per year over the 20-year span. The simulation prediction results indicate further reduction of cultivated land in Anshan City by 2040 due to the main driving factors of elevation, precipitation and temperature, followed by socioeconomic factors including population, GDP, and distances from railways and local administrative center.

Key words: resource-based city; land use; national land space; PLUS model; driving force; spatiotemporal evolution; Liaoning Province

0 引言

近年来,随着工业化和城镇化的深入推进,人口、资源与环境之间的矛盾日益突出,成为影响经济可持续发展的关键因素.土地既是人类社会与经济活动的空间载体,又是经济活动中不可或缺的生产要素.土地利用变化客观记录了人类对地球表面的改造过程,反映了人类活动与自然环境之间的相互作用^[1].自 20 世纪 90 年代“国际地圈与生物圈计划”(the International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)和“全球变化人类因素计划”(the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP)两大国际组织联合提出“土地利用/土地覆盖变化”(Land use/land cover change, LUCC)研究计划以来^[2-4],国内外学者围绕土地利用/土地覆盖变化“过程—格局—驱动”主题,在不同区域开展了大量的研究^[5-15].

辽宁省鞍山市“因钢而立,因钢而兴”,素有“祖国钢都、中国钢铁工业摇篮”等美誉.鞍山市作为国务院《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)》中确定的 262 个资源型城市之一,城市发展与铁矿的开采和开发活动密切相关,土地利用结构很大程度上受钢铁产业布局的制约,各类地面建设及附属设施围绕产业区进行布置.近 10 年来,虽然鞍山市建成区面积总体呈增长趋势,但是人口与经济发展水平逐年下降,出现了人口收缩和土地扩张并存的现象,因此开展鞍山市土地利用变化及其驱动力分析具有重要的现实意义.

现有的关于土地利用格局与驱动因素相关的研究,从研究尺度上,主要关注流域级、重大城市,针对资源型中小城市的研究比较缺乏.在研究方法上,驱动因素分析主要采用主成分分析、逻辑回归、灰色关联度和地理探测器等方法^[10-16],土地利用模拟预测主要有 CA-Markov^[17]、CLUE-S 模型^[18-19]、FLUS 模型^[20]等,这些研究方法模拟预测的精度相对不足.鉴于此,本文以东北地区典型的资源型城市鞍山市为例,采用新研发的斑块级土地利用变化模拟模型(patch-generating landuse simulation model, PLUS)等方法分析近 30 年土地利用变化的驱动因素,并预测 2040 年的土地利用格局,以期为东北振兴区资源型城市转型发展提供科学支撑.

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区自然状况

鞍山市地处辽东半岛东部,地理坐标位于东经 122°10′—123°41′,北纬 40°27′—41°34′之间,总面积 9 255 km²,辖区包括铁东区、铁西区、立山区、千山区、海城市(县级市)、台安县、岫岩满族自治县等区县(图 1 所示).鞍山市地势地貌特征是东南高西北低,自东南向西北倾斜.东南属千山山脉延伸部分的山区,一般海拔 300~600 m,最高海拔 1 141 m.中部为千山山脉向西部冲积平原过渡地带,属低山坡岗丘陵区,一般海拔 100~200 m.西部为辽河、浑河、太子河冲积平原,一般海拔 5~20 m.气候特点是四季分明,雨热同步,干

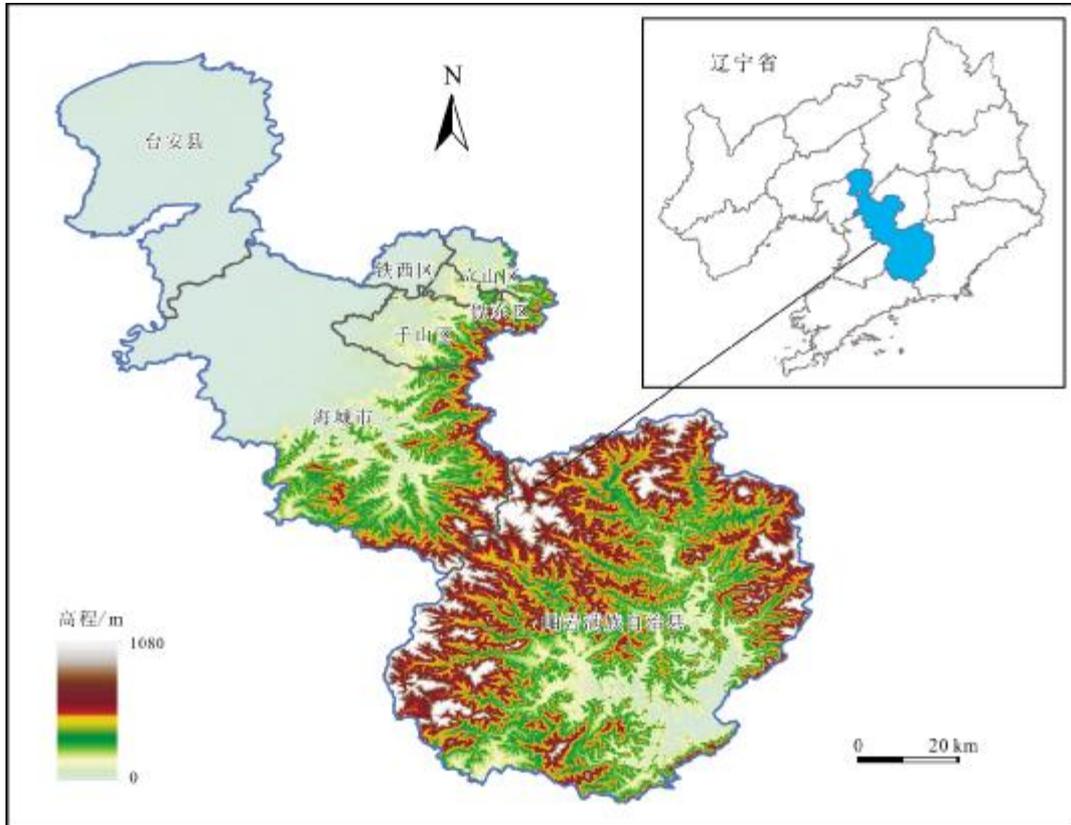


图1 研究区地理地貌图

Fig. 1 Geomorphologic map of the study area

冷同期. 年降水量为 640~880 mm, 多年平均气温 8.8 °C, 年平均日照时数为 2 350~2 700 h^[21].

1.2 研究数据来源

本研究主要数据来源如下: 1) 土地覆被数据源于自然资源部发布的全球地表覆盖数据(GlobeLand30). 该数据 2014 年开始发布, 目前已更新到 2020 年版, 空间分辨率为 30 m. GlobeLand30 数据研制主要基于美国陆地资源卫星(Landsat)、中国环境减灾卫星(HJ-1)和高分一号(GF-1)等卫星影像, 地表覆盖共包括 10 个一级类型, 分别是: 耕地、林地、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表(建设用地)、裸地、冰川和永久积

雪, 本研究区内包含其中 5 类数据(如表 1 所示). GlobeLand30 分类数据平均总体精度为 84.61%, 平均 Kappa 系数为 0.80. 2) 年均降雨量、年均气温、土壤类型、水系、人口与 GDP 空间分布数据来自资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>), 空间分辨率为 1 km. 3) DEM 数据采用 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据, 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>). 4) 主要公路(包括高速公路、一二级公路)、铁路和行政中心位置来源于 OpenStreetMap(<https://www.openstreetmap.org>); 5) 地理底图数据来自全国地理信息资源目录服

表 1 土地利用类型分类表

Table 1 Classification of land use types

| 编号 | 地类 | 含义 |
|----|------|----------------------------------|
| 1 | 耕地 | 水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草种植地、大棚用地、茶园等 |
| 2 | 林地 | 落叶阔叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林、混交林和疏林地等 |
| 3 | 草地 | 草原、草甸、稀树草原、荒漠草原, 以及城市人工草地等 |
| 4 | 水体 | 江河、湖泊、水库、坑塘等 |
| 5 | 建设用地 | 城镇等各类居民地、工矿、交通设施等 |

务系统(<https://www.webmap.cn>)公众版 1:25 万矢量地图数据. 数据处理与分析主要采用 ArcGIS、QGIS 和 WPS 等软件完成.

2 研究方法

2.1 土地利用动态度

土地利用动态主要用于表征一段时间内土地利用类型的变化情况,即土地利用的变化速度.分为单一土地利用动态度和综合土地利用动态度^[23].计算公式如下.

$$L = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{(i-j)}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: L 为研究时段内单一土地利用类型的动态度; U_a 、 U_b 分别表示该类土地利用类型研究始、末的面积; L_c 为综合土地利用动态度; LU_i 为第*i*类土地利用类型在研究初期的面积; $\Delta LU_{(i-j)}$ 为研究时段内第*i*类土地利用类型转变为非*i*类(*j*类)土地利用类型面积的绝对值; T 为研究时段,当该时段设定为年时, L 为该研究区某种土地利用类型年变化率, L_c 为研究区土地利用年变化率.

2.2 地理信息图谱

地理信息图谱指由地图、遥感影像、剖面图、统计图等各种图解形式所构成的图形系列,是经过了高度抽象和概括,并按照地理要素的特征和时间序列排列的结果.土地利用信息图谱可以反映土地利用数量、类型等方面的变化程度,是人类社会经济活动在土地利用方面的基本体现.土地利用演变过程体现了一种土地利用类型转变为另一种土地利用类型的变化关系,包括转入和转出两个转变方向,前者关注转入土地利用类型的增量,后者关注该土地利用类型的减量.本文利用 ArcGIS 栅格计算器对 2000—2020 年 2 个时期的土地利用类型进行叠加运算(公式 3),得到鞍山市不同时段土地利用变化图谱,进一步从中提取土地利用类型的新增规模和萎缩规模,得到涨势图谱和落势图谱.

$$W = A \times 10 + B \quad (3)$$

式中: W 表示新生成的图谱编码, A 、 B 分别表示研究初期和末期的土地利用图谱单元编码(二级分类编码).例如: $W=21$ 的含义是指由林地转换为耕地的信息图谱.

2.3 PLUS 模型

斑块级土地利用变化模拟模型(PLUS)是由中国地质大学(武汉)高性能空间计算智能实验室(HPSCIL@CUG)开发团队研发的,采用新的用地扩张分析策略.该策略融合已有的转化分析策略(TAS)和格局分析策略(PAS)的优势,可以更好地挖掘各类土地利用变化的诱因. PLUS 模型通过挖掘土地利用类型间的转换规则,获得各项地类的变化与惯性概率^[23-24],运用随机森林分类(RFC)算法来分析各项驱动因子对不同地类变化的贡献值,解决了多个变量之间的多重共线性问题,从原始数据集当中抽取随机样本,并最终确定*k*类土地利用类型在单元格*i*上出现的概率.其演算公式为:

$$P_{i,k}^d(x) = \frac{\sum_{n=1}^M I[h_n(x)=d]}{M} \quad (4)$$

式中: d 的取值范围为 0 或 1,若 $d=1$,表示有其他土地利用类型转变为*k*类土地利用类型,当 $d=0$,表示土地利用类型转变成了除*k*以外的其他土地利用类型; x 是由若干驱动力因子组成的向量;函数 I 是决策树集的指示函数; $h_n(x)$ 是向量 x 的第 n 个决策树的预测类型; M 为决策树的总数.

3 结果与分析

3.1 土地利用总量变化特征

分析鞍山市土地利用分布及数量变化(如图 2、表 2 所示),可知鞍山市土地利用以耕地和林地为主,二者面积之和占研究区总面积的 80%左右,其中耕地主要分布于鞍山市北部,林地主要分布于鞍山市南部.建设用地约占总面积的 10%,主要分布于鞍山市中部和北部.草地和水体面积较小,分别占总面积的 6%和 1%左右.从变化量来看,2000—2020 年,耕地面积从 4 152 km²减小为 3 655.90 km²,20 年共减少了 496.10 km²;林地面积由 2000 年的 3 851.70 km²增加到 2020 年的 4 262.56 km²,增加了 410.86 km²;建设用地增加了 145.65 km²,水体面积增加了 1.92 km².

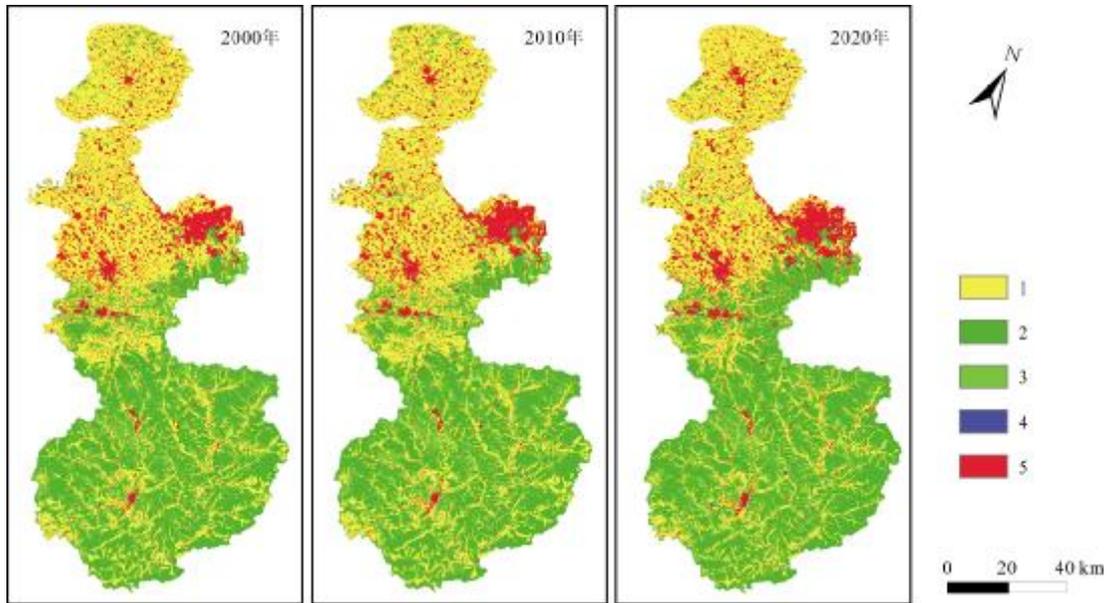


图2 鞍山市2000、2010、2020年土地利用空间格局图

Fig. 2 Spatial patterns of land use in Anshan City in 2000, 2010 and 2020

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水体(water body); 5—建设用地(construction land)

表2 鞍山市土地利用面积统计表

Table 2 Statistics of land use area in Anshan City

| 类别 | 面积/km ² | | | 占研究区比例/% | | | 变化面积/km ² | | |
|------|--------------------|---------|---------|----------|--------|--------|----------------------|------------|------------|
| | 2000年 | 2010年 | 2020年 | 2000年 | 2010年 | 2020年 | 2000—2010年 | 2010—2020年 | 2000—2020年 |
| 耕地 | 4152.00 | 4032.22 | 3655.90 | 43.77% | 42.51% | 38.54% | -119.79 | -376.32 | -496.10 |
| 林地 | 3851.70 | 3871.70 | 4262.56 | 40.61% | 40.82% | 44.94% | 20.00 | 390.86 | 410.86 |
| 草地 | 600.17 | 632.22 | 537.84 | 6.33% | 6.67% | 5.67% | 32.06 | -94.38 | -62.32 |
| 水体 | 42.33 | 38.70 | 44.24 | 0.45% | 0.41% | 0.47% | -3.63 | 5.54 | 1.92 |
| 建设用地 | 839.10 | 910.45 | 984.74 | 8.85% | 9.60% | 10.38% | 71.35 | 74.29 | 145.65 |

为了表征土地利用的变化速度,引入土地利用动态的概念,将2000年、2010年和2020年三期土地利用数据进行分阶段和全阶段计算.分阶段来看,2000—2010年间,鞍山市综合土地利用动态度为1.29%,可以看出鞍山市土地利用变化速度较慢.单地类中动态度最大的是建设用地,平均每年增加0.85%;动态度最小的是水体,平均每年减少0.86%.2010—2020年间,鞍山市综合土地利用动态度为2.84%,土地利用变化速度有所增加.单地类中动态度最大的是水体,平均每年增加1.43%;建设用地平均年增加率为0.82%;动态度最小的是草地,平均每年减少1.49%.全时段来看,2000—2020年间,鞍山市综合土地利用动

态度为2.74%,单地类中动态度最大的是建设用地,平均每年增加0.87%;动态度最小的是耕地,平均每年减少0.60%(表3).

表3 鞍山市土地利用动态度统计表

Table 3 Dynamic degree of land use in Anshan City

| 类别 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 | 综合土地利用动态度 |
|------------|-------|------|-------|-------|------|-----------|
| 2000—2010年 | -0.29 | 0.05 | 0.53 | -0.86 | 0.85 | 1.29 |
| 2010—2020年 | -0.93 | 1.01 | -1.49 | 1.43 | 0.82 | 2.84 |
| 2000—2020年 | -0.60 | 0.53 | -0.52 | 0.23 | 0.87 | 2.74 |

单位:%.

3.2 土地利用格局演变过程

土地利用总量变化揭示了研究区土地资源的宏观动态特征. 为进一步深入剖析土地利用格局的演变特征,一方面,通过弦图来体现鞍山市土地利用类型之间的相互转换关系,揭示研究区土地利用格局变化的特征;另一方面,通过土地利用信息图谱和转移矩阵精确刻画不同地类之间的扩张和收缩态势.

3.2.1 规模特征分析

弦图主要用于展示多个对象之间的关系,连接圆上任意两点的线段叫做弦,弦(两点之间的连线)就代表着两者之间的关联关系. 弦图可以反映土地利用演变过程中不同地类之间转换的数量和流向关系并进行可视化表达,弦(连接线)的宽度越宽,表示不同土地利用类型之间转换的数量越高^[25]. 结果表明,20年间鞍山市6类土地利用方式之间的格局变化面积有不同程度的增减(图3).

从分阶段来看,2000—2010年鞍山市土地利用变化特征表现为耕地、林地、草地、建设用地等地类之间的互相转换. 其中,耕地主要转变为建设用地、林地和草地,转出面积分别为128.87 km²、117.97 km²和70.73 km²,少量转出为水体;林地主要转变为草地和耕地,转出面积分别为119.83 km²和100.07 km²,少量转为建设用地和水体;草地主要转变为林地、耕地和建设用地,转出面积分别为121.53 km²、31.56 km²和12.55 km²,少量转出为水体;建设用地主要转变为耕地,转出面积为66.33 km²,少量转出为草地和林地;水

体主要转变为林地和耕地,面积分别为5.56 km²和4.38 km²,少量转出为草地(图3a,表4). 2010—2020年,鞍山市土地利用变化特征表现为耕地、林地、草地、建设用地和水体之间的互相转换. 其中,耕地主要转变为林地、建设用地和草地,转出面积分别为478.89 km²、165.16 km²和43.93 km²,少量转出为水体;林地主要转变为草地和耕地,转出面积分别为138.39 km²和136.10 km²,少量转为建设用地和水体;草地主要转变为林地、耕地和建设用地,转出面积分别为185.48 km²、78.01 km²和17.90 km²,少量转出为水体;建设用地主要转变为耕地和林地,转出面积分别为101.75 km²和13.18 km²,少量转出为草地和水体;水体主要转变为林地和耕地,面积分别为4.65 km²和4.14 km²,少量转出为草地(图3b,表5).

表 4 鞍山市 2000—2010 年土地利用变化矩阵

Table 4 Land use change matrix of Anshan City during 2000-2010

| | 耕地 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 |
|------|---------|---------|--------|-------|--------|
| 耕地 | 3829.87 | 117.97 | 70.73 | 4.56 | 128.87 |
| 林地 | 100.07 | 3622.27 | 119.83 | 2.88 | 6.65 |
| 草地 | 31.56 | 121.53 | 433.15 | 1.38 | 12.55 |
| 水体 | 4.38 | 5.56 | 2.45 | 29.52 | 0.41 |
| 建设用地 | 66.33 | 4.37 | 6.07 | 0.35 | 761.97 |

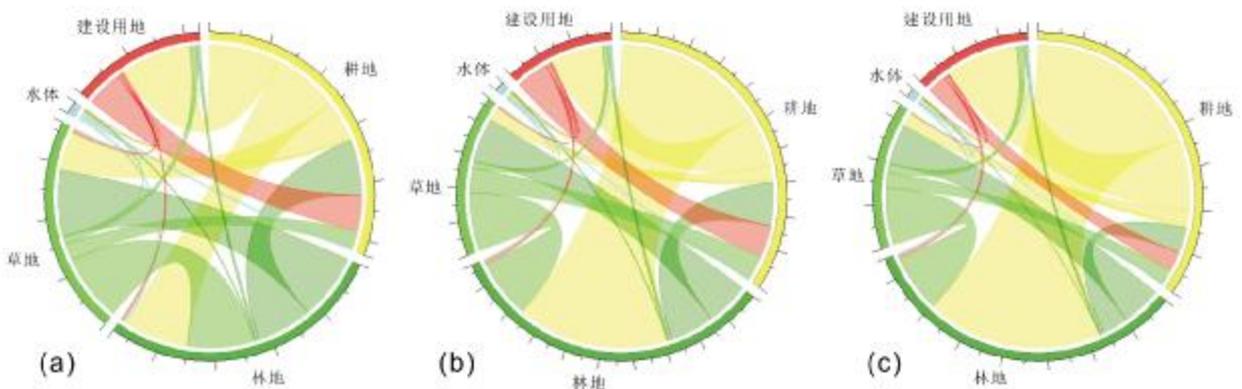


图 3 鞍山市 2000—2020 年土地利用变化可视化弦图

Fig. 3 Visual chord diagrams of land use change in Anshan City during 2000-2020
a— 2000-2010; b— 2010-2020; c— 2000-2020

表 5 鞍山市 2010—2020 年土地利用变化矩阵

Table 5 Land use change matrix of Anshan City during 2010-2020

| | 耕地 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 |
|------|---------|---------|--------|-------|--------|
| 耕地 | 3335.38 | 478.89 | 43.93 | 8.86 | 165.16 |
| 林地 | 136.10 | 3580.88 | 138.39 | 4.09 | 12.24 |
| 草地 | 78.01 | 185.48 | 347.52 | 3.31 | 17.90 |
| 水体 | 4.65 | 4.14 | 2.24 | 26.06 | 1.60 |
| 建设用地 | 101.75 | 13.18 | 5.76 | 1.92 | 787.84 |

全时段来看, 2000—2020 年, 鞍山市土地利用变化特征表现为耕地、林地、草地、建设用地和水体之间的互相转换. 其中, 耕地主要转变为林地、建设用地和草地, 转出面积分别为 428.67 km²、175.21 km² 和 33.83 km², 少量转出为水体; 林地主要转变为草地和耕地, 转出面积分别为 96.90 km² 和 61.86 km², 少量转为建设用地和水体; 草地主要转变为林地、耕地和建设用地, 转出面积分别为 137.70 km²、37.69 km² 和 19.90 km², 少量转出为水体; 建设用地主要转变为耕地和林地, 转出面积分别为 47.01 km² 和 9.20 km², 少量转出为草地和水体; 水体主要转变为林地, 面积为

4.72 km², 少量转出为草地和耕地(图 3c, 表 6).

表 6 鞍山市 2000—2020 年土地利用变化矩阵

Table 6 Land use change matrix of Anshan City during 2000-2020

| | 耕地 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 |
|------|---------|---------|--------|-------|--------|
| 耕地 | 3507.06 | 428.67 | 33.83 | 7.23 | 175.21 |
| 林地 | 61.86 | 3682.28 | 96.90 | 1.79 | 8.88 |
| 草地 | 37.69 | 137.70 | 403.06 | 1.81 | 19.90 |
| 水体 | 2.28 | 4.72 | 1.55 | 32.42 | 1.36 |
| 建设用地 | 47.01 | 9.20 | 2.50 | 0.99 | 779.40 |

3.2.2 土地利用信息图谱特征分析

土地利用类型变化量仅从数值上统计并不能完全反映其转型特征, 例如变化量为 0 这一信息并不能表示该类型没有发生变化, 还有可能是空间上发生变化^[21]. 通过对研究区土地利用栅格数据进行处理, 将鞍山市耕地、林地、草地、水体和建设用地分别编码为 1、2、3、4、5, 编码组合则表示土地利用类型之间的转换关系, 如编码“12”表示耕地转换为林地, 编码“11”表示耕地变成耕地, 即耕地未变化(见图 4 图例). 土地利用信息图谱可以直观地表示各地类的空间分布, 涨势

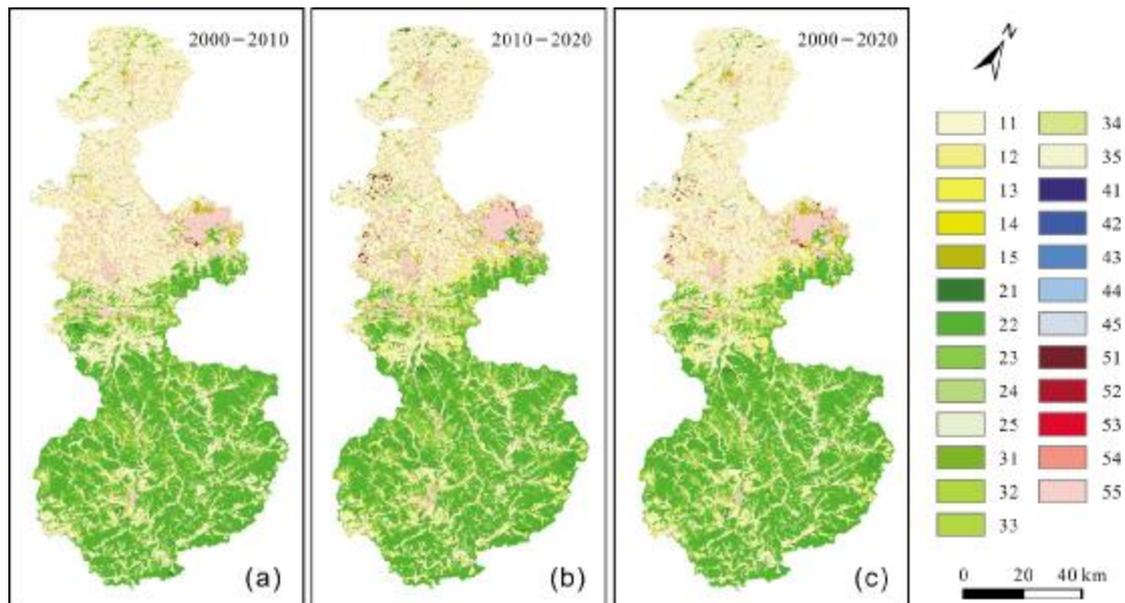


图 4 2000—2020 年鞍山市土地利用变化信息图谱

Fig. 4 Land use change information maps of Anshan City during 2000-2020

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水体(water body); 5—建设用地(construction land)

和落势则表示某地类格局之间的演变关系。

1)基本图谱

从分阶段来看,2000—2010年鞍山市土地利用变化图谱共生成25类图谱单元,共有20类图谱单元发生了变化(图4a),其中最明显的图谱有“耕地→建设用地”(编码15)、“林地→草地”(编码23)和“耕地→林地”(编码12)。“耕地→建设用地”主要分布于千山区和台安县,特别是辽宁省鞍山经济开发区获批后,在千山区周边开展了较大规模的城市建设,大量耕地被变更用途为建设用地;“林地→草地”主要位于海城市、千山区东南部等地,另外在岫岩县有零星分布。“耕地→林地”主要分布于海城市西北部,本地率先开展退耕还林工程,取得了较好的效果。

2010—2020年鞍山市土地利用变化图谱共生成25类图谱单元,共有20类图谱单元发生了变化(图4b),其中最明显的图谱有“耕地→林地”(编码12)、“草地→林地”(编码32)和“耕地→建设用地”(编码15)。“耕地→林地”主要分布于鞍山市南部山区,特别是海城市东部和南部、千山区西南部和岫岩县东部等地区较为集中,主要原因是鞍山市“退耕还林”政策的落实;“草地→林地”主要分布于海城市东部和千山区南部,主要原因是海城等地积极推进矿山复垦和封山育林工程成效显著;“耕地→建设用地”主要分布于千

山区、海城市中部和台安县中部等地,表明该时段鞍山市城市建设发展速度较快。

全阶段来看,2000—2020年鞍山市土地利用变化图谱共生成25类图谱单元,共有20类图谱单元发生了变化(图4c),其中“耕地→林地”(编码12)主要分布于鞍山市南部山区,集中于海城市东南部—千山区南部一带;“耕地→建设用地”(编码15)主要分布于千山区、海城市中部和台安县中部等地;“草地→林地”(编码32)主要分布于海城市东部和千山区南部。

2)涨势与落势变化图谱

从涨势图谱(图5)来看,2000—2020年鞍山市增长的土地利用类型比较明显且相对复杂。2000—2010年,鞍山市建设用地增长比较明显,增长区分布特征以“集中连片”为主,主要位于千山区、台安县等地,尤其是千山区,作为鞍山市老城区外围,是城市扩张的重点地区。除此之外,海城市和岫岩县等地略有增长,但规模相对较小(图5a)。2010—2020年,鞍山市建设用地的扩张仍在进行,这一阶段增长区分布特征为“多点开花”,除了岫岩县增长规模相对较小外,市内四区、海城市和台安县等地均有较明显的增长。与此同时,林地大量增长是这个时期的又一重要特征,主要位于海城市南部和东南部一带,延伸至千山区西部,形成一条明显的“绿带”,表明鞍山市在城市扩张的同时,注重生态

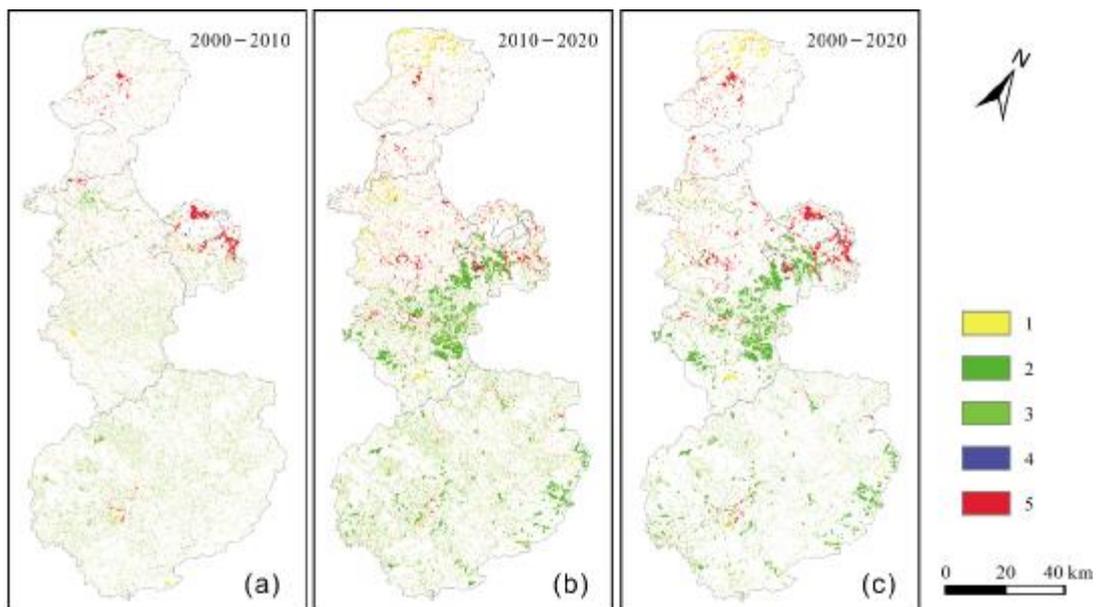


图5 2000—2020年鞍山市土地利用信息涨势图谱

Fig. 5 Growth trend maps of land use in Anshan City during 2000-2020

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水体(water body); 5—建设用地(construction land)

保护和修复工作. 另外,在台安县西北部,耕地规模有较明显的提高,说明鞍山市积极加强耕地保护,严格落实耕地占补平衡工作取得了实效(图 5b).

从落势图谱(图 6)来看,2000—2020 年鞍山市土地利用类型的缩减趋势具有一定的规律. 2000—2010 年,鞍山市缩减最明显的是耕地和草地,其中耕地的收缩主要位于海城市 and 鞍山市区周边,尤其是千山区(图 6a). 草地的减退主要分布在岫岩县及周边,包括相邻的海城市南部山区,主要特点是多点零星分布,但数量总体保持稳定. 2010—2020 年,鞍山市缩减最明显的是耕地和草地,尤其是耕地,主要位于海城市东南一带,延伸至千山区西南部,这与建设用地的扩张是对应的(图 6b).

3.3 土地利用变化驱动力分析

本研究选取研究区自然条件和社会经济条件,包括人口密度、GDP、高程、坡度、坡向、年平均气温、年平均降水量、土壤有机质含量、到地方行政中心的距离、到铁路距离、到公路距离、到水域距离等因素数据,利用 PLUS 模型软件包开展土地利用变化驱动力分析. 分析之前,需要对数据进行预处理. 首先将 3 期土地利用数据重分类为从 1 开始的连续整数,然后变换为像元大小、行列数和投影参数都一致的栅格数据. 其次收集区县政府驻地点、铁路、公路(包括高速公路、一

级公路、二级公路和三级公路)和水系等矢量数据,应用 ArcGIS 平台中的欧式距离插值法制作作为栅格图像. 其他数据,比如人口密度、GDP、高程、坡度、坡向、年平均气温、土壤有机质含量等相应转换为 tiff 格式.

分析表明,耕地变化的主要驱动力是年平均降水量、高程、到铁路的距离、到行政中心的距离、坡度和年平均气温;林地变化的主要驱动力是高程、GDP、年平均降水量、到铁路距离、到公路距离等;建设用地变化的主要驱动力为年平均气温、人口、到水域距离、到行政中心距离、GDP 等(图 7 所示).

2000—2020 年间鞍山市耕地面积减少了 496.10 km²,将耕地减少的部分与主要影响因素年平均降水量、高程等进行叠加分析(图 8a 所示),可以看出,耕地的减少区域主要集中在鞍山市中部和南部,这里虽然降水量更高,但是由于地处丘陵山区,不利于作物种植,导致耕地减少. 耕地主要转出至林地和建设用地,转入林地的面积占林地增加面积的 89.28%,转入建设用地的面积占建设用地增加面积的 88.02%,说明耕地减少是导致林地和建设用地面积增加的主要因素. 为进一步分析耕地变化的驱动力,有必要分析对建设用地和林地面积扩张的驱动力进行分析. 将建设用地和林地,分别叠加气温和高程等因子(图 8b、c),可知建设用地扩张区主要位于气温较高、人口相对密

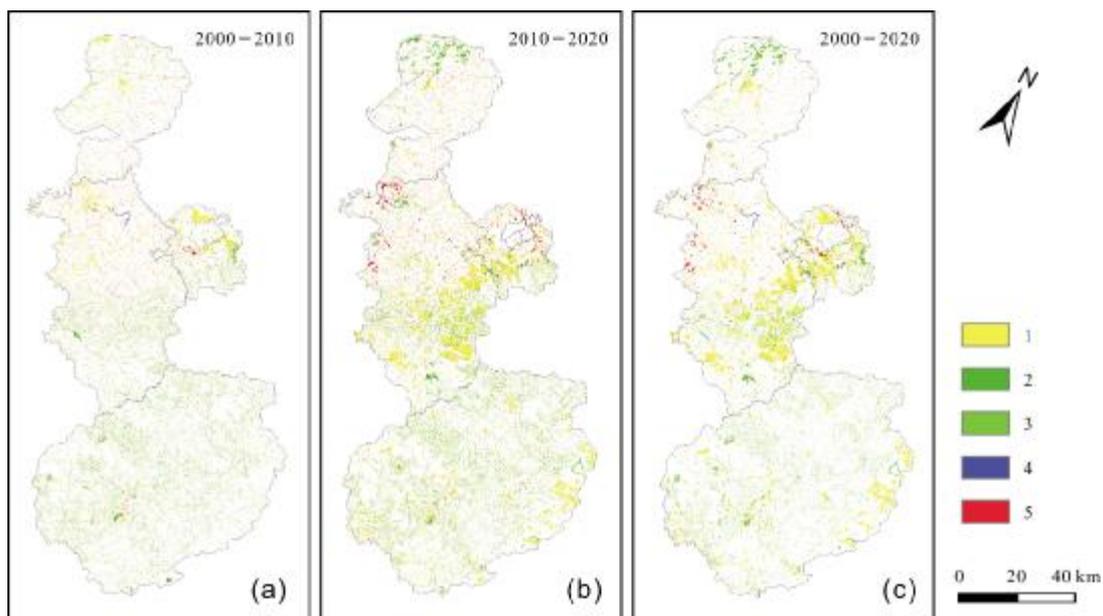


图 6 2000—2020 年鞍山市土地利用信息落势图谱

Fig. 6 Decline trend maps of land use in Anshan City during 2000-2020

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水体(water body); 5—建设用地(construction land)



图 7 鞍山市耕地、建设用地和林地面积变化的驱动因素贡献度

Fig. 7 Contribution degree of driving factors for cultivated, construction and forest land changes in Anshan City

集的中部和北部地区,林地扩张区主要位于海拔较高、GDP 相对较高的中部和南部地区. 综合来看, 驱动鞍山市耕地减少的主要有高程、降水量、气温等自然因素,同时兼受人口、GDP、到铁路和地方行政中心距离等社会经济因素影响.

近 20 年间,鞍山市耕地整体呈减少趋势,主要转入至林地和建设用地. 耕地变化具有一定的空间规律,从区域来看,耕地转入林地的区域主要分布在鞍山市中部和南部山区,耕地转入建设用地主要分布于鞍山市区周边(图 9 所示). 从空间形态上来看,耕地转入建设用地主要呈一定面积的团块状分布;耕地转入林地以大面积斑块和小面积条带状斑块相结合,其中小面积条带状斑块多位于山区沿着山麓和等高线离散分布.

3.4 土地利用格局预测分析

本研究选择 PLUS 模型对鞍山市 2040 年土地利用格局进行模拟预测分析. 该模型通过提取两期土地利用变化间各类用地扩张部分并采样,运用随机森林算法,挖掘各类用地发展概率和驱动因素,具有较好的解释性能. 首先基于鞍山市 2000 年和 2010 年土地利用格局,分别模拟预测了自然条件下 2010 年和 2020 年土地利用格局(图 10a、b),对模拟结果进行评价,其

Kappa 系数分别为 0.833247 和 0.806471,总体精度分别为 0.893673 和 0.876989,表明该算法能够较好地反映土地利用变化的规律和趋势,具有较好的可信度和可靠性. 因此采用上述模拟参数基于 2020 年土地利用格局,对鞍山市 2040 年土地利用格局进行模拟预测(如图 10c 所示).

根据模拟预测结果,建立 2020—2040 年土地利用转移矩阵(表 7). 结果表明 2040 年研究区耕地将进一步减少 1 699.92 km²,其中有 288.22 km²耕地转为林地,主要位于海城市南部、千山区和岫岩县等地;共

表 7 鞍山市 2020—2040 年土地利用变化矩阵
Table 7 Land use change matrix of Anshan City during 2020-2040

| | 耕地 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 |
|------|---------|---------|--------|-------|--------|
| 耕地 | 3226.08 | 288.22 | 0.75 | 0.77 | 131.68 |
| 林地 | 2.81 | 4241.44 | 1.46 | 0 | 4.21 |
| 草地 | 0.27 | 34.53 | 499.02 | 0.01 | 2.66 |
| 水体 | 0 | 0 | 0 | 42.06 | 0 |
| 建设用地 | 10.25 | 14.81 | 0.2 | 0 | 958.35 |

单位:km².

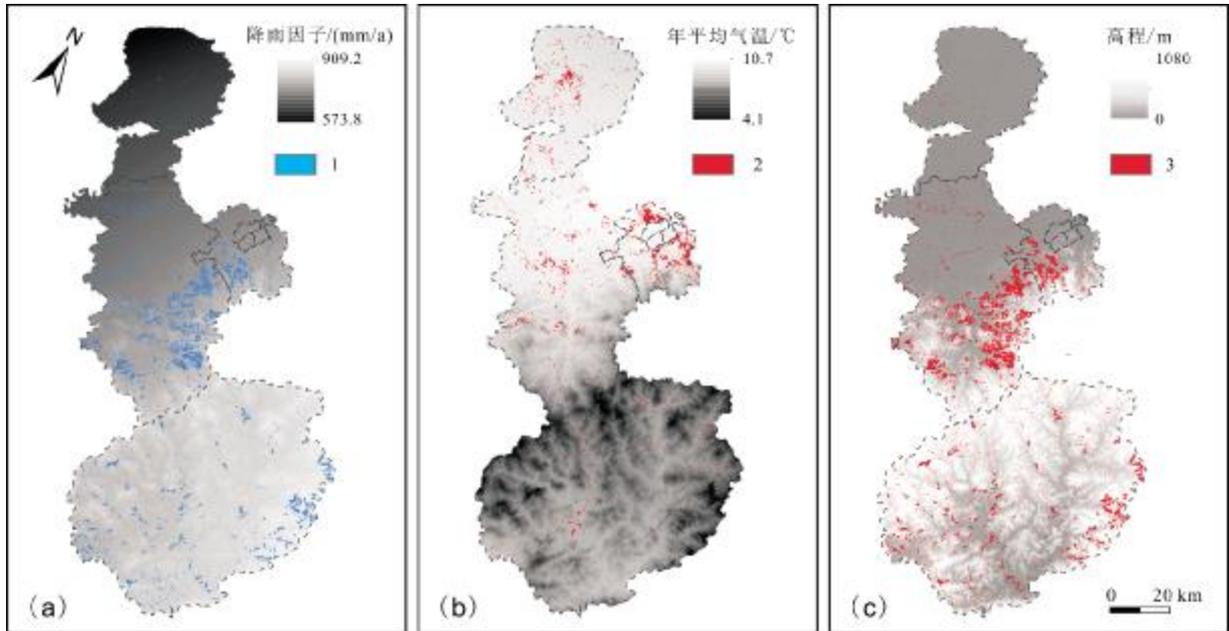


图8 鞍山市耕地、建设用地、林地变化区域与其最高贡献度因子叠加图

Fig. 8 Changes of cultivated, construction and forest lands and maximum contribution factor superposition maps of Anshan City
1—耕地减少区域(cultivated land reduction area); 2—建设用地增加区域(construction land increase area); 3—林地增加区域(forest land increase area)

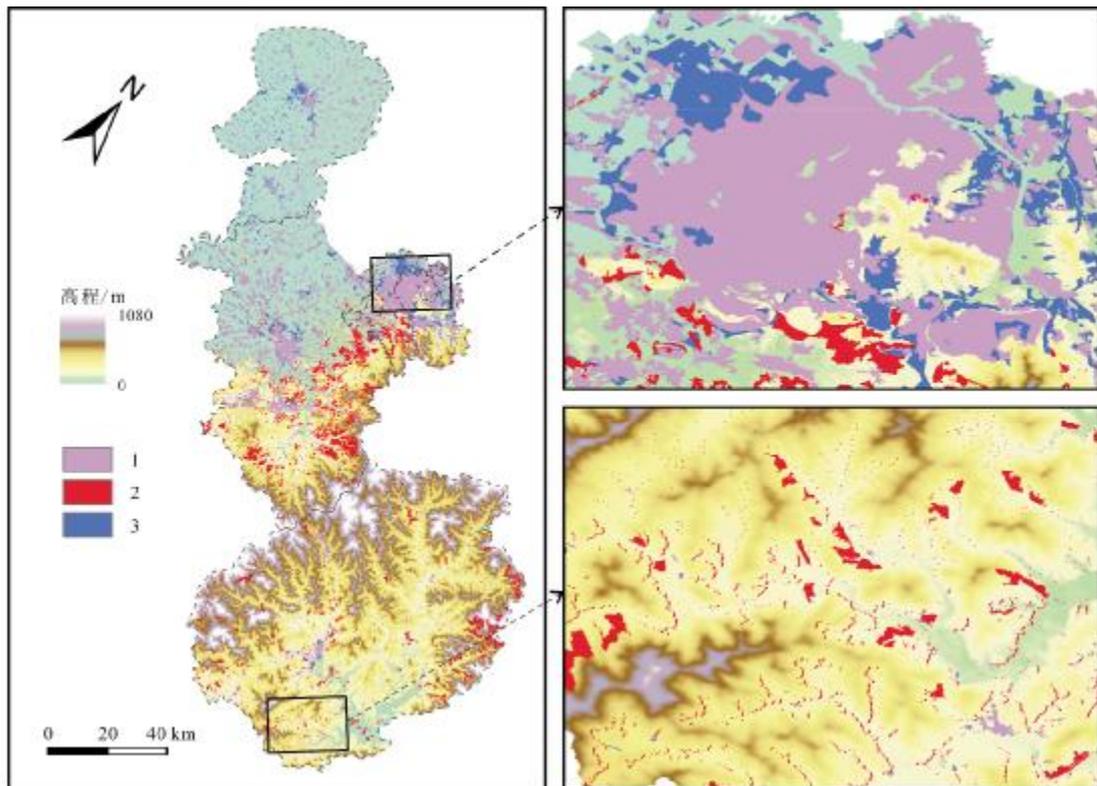


图9 2000—2020年鞍山市典型地区耕地变化空间特征

Fig. 9 Spatial characteristics of cultivated land change in typical areas of Anshan City during 2000-2020
1—建设用地(construction land); 2—耕地变林地(conversion of cultivated land to forest land); 3—耕地变建设用地(conversion of cultivated land to construction land)

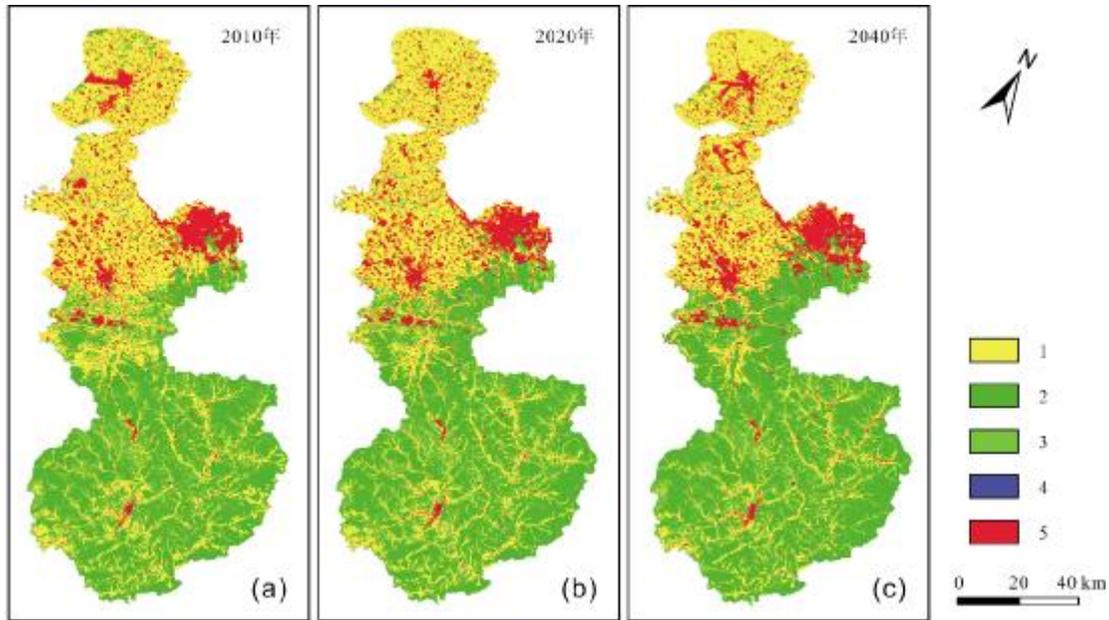


图 10 鞍山市土地利用格局模拟预测图

Fig. 10 Simulation prediction map of land use pattern in Anshan City

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水体(water body); 5—建设用地(construction land)

有 131.68 km² 耕地转为建设用地, 主要发生在台安县、立山区等地;另有少量耕地将转为草地和水体。

4 讨论与结论

土地资源既是社会发展的重要载体, 又是经济运行的重要要素, 土地利用格局是地区社会经济活动的一个缩影。以鞍山市为代表的资源型城市为我国经济和社会发展提供了大量的能源和原材料, 有力地支撑了我国的工业化和城镇化进程, 但随着对不可再生资源的持续开发利用, 很多城市同时面临资源储量逐渐减少和遗留地质环境问题不断增多的双重考验。本文以辽宁省鞍山市为例, 通过运用土地利用动态度、地学信息图谱、弦图可视化等方法全面刻画了研究区 2000—2020 年间土地利用格局时空演变特征, 应用 PLUS 模型分析了耕地等地类变化的驱动因素并预测了研究区 2040 年的土地利用格局, 主要结论如下。

1) 鞍山市土地利用以耕地、林地和建设用地为主, 三者之和超过总面积的 90%。2000—2020 年间, 土地利用变化总体为耕地持续减少、林地和建设用地不断扩张的趋势。近 20 年间, 耕地共减少了 496.10 km², 主要转出至林地、建设用地和草地; 林地呈持续增加趋势, 共增加了 410.86 km², 主要转入自耕地和草地; 建

设用地增加了 145.65 km², 主要转入自耕地和草地。

2) 通过构建鞍山市不同时段土地利用变化图谱, 结果显示, 近 20 年来, 鞍山市最主要的土地利用变化图谱有“耕地→林地”、“耕地→建设用地”和“草地→林地”。其中“耕地→林地”主要发生在第二个 10 年(2010—2020 年), 在空间上主要位于海城市东南部至千山区一带, 呈大面积集中分布特征, 另外在岫岩县东南部等地零星分布。近 20 年, “耕地→建设用地”过程在持续发生, 第一个 10 年主要特点是集中分布于鞍山市市区南北两个方向, 第二个 10 年则是多点开花, 在各个区县府所在地周边都有分布。“草地→林地”过程主要呈零星分布特征, 在海城市东部和千山区南部相对集中。

3) 为了表征土地利用的变化速度, 引入土地利用动态度的概念。分阶段来看, 第一个 10 年鞍山市综合土地利用动态度为 1.29%, 第二个 10 年为 2.84%, 表明鞍山市土地利用变化速度为先慢后快。总体来看, 2000—2020 年间, 鞍山市综合土地利用动态度为 2.74%, 单地类中动态度最大的是建设用地, 平均每年增加 0.87%, 其次是林地, 平均每年增加 0.53%; 耕地动态度为所有地类中最小, 平均每年减少 0.60%。

4) 应用 PLUS 模型重点分析了鞍山市土地变化的

驱动因素并预测了2040年土地利用格局。结果显示,鞍山市面临耕地不断减少的风险,驱动鞍山市耕地减少的主要有高程、降水量、气温等自然因素,同时兼受人口、GDP、到铁路和地方行政中心距离等社会经济因素影响。

参考文献(References):

- [1]Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2]IGBP. Global land project: Science plan and implementation strategy [R]. Stockholm: IGBP, 2005.
- [3]Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [4]Lambin E F, Baulies X, Bockstael N et al. Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy [C]//A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. Stockholm: IGBP, 1995: 125.
- [5]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)*, 2002, 32(12): 1031-1040.
Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Analysis of time-space patterns of recent landuse variations in China[J]. *Sciences in China (D Series)*, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [6]Brandt J, Primdahl J, Reenberg A. Rural land-use and landscape dynamics: analysis of driving forces in space and time [C]//Land-use changes and their environmental impact in rural areas in Europe. 1999: 81-102.
- [7]López E, Bocco G, Mendoza M, et al. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia City, Mexico[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(4): 271-285
- [8]Gao C J, Zhou P, Jia P, et al. Spatial driving forces of dominant land use/land cover transformations in the Dongjiang River watershed, Southern China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(2): 84.
- [9]史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(2): 151-160.
Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Landuse change mechanism in Shenzhen City[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(2): 151-160.
- [10]刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*, 2009, 64(12): 1411-1420.
Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st Century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [11]Wang J, Chen Y Q, Shao X M, et al. Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future [J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(4): 737-749.
- [12]Du X D, Jin X B, Yang X L, et al. Spatial pattern of land use change and its driving force in Jiangsu Province [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, 11(3): 3215-3232.
- [13]杨佳佳, 吕骏超, 金珊合, 等. 全球黑土区耕地动态变化及其驱动力 Logistic 回归分析[J]. *地质与资源*, 2023, 32(5): 584-591.
Yang J J, Lyu J C, Jin S H, et al. Farmland dynamic change and its driving force analysis in global black soil regions based on logistic regression model[J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(5): 584-591.
- [14]王璐晨, 韩海辉, 张俊, 等. 塔里木河流域土地利用及人类活动强度的时空演化特征研究[J]. *中国地质*, 2024, 51(1): 203-220.
Wang L C, Han H H, Zhang J, et al. Spatio-temporal evolution of land use and human activity intensity in the Tarim River Basin, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2024, 51(1): 203-220.
- [15]王鹏, 赵君, 阎晓娟, 等. 动态时空视角下黄河流域城市土地利用效率的集聚演化特征[J]. *中国地质*, 2023, 50(2): 506-520.
Wang P, Zhao J, Yan X J, et al. Agglomeration and evolution characteristics of urban land-use efficiency under a dynamic spatio-temporal perspective in the Yellow River Basin[J]. *Geology in China*, 2023, 50(2): 506-520.
- [16]黄钰清, 李骁尧, 于强, 等. 1995—2018年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(6): 113-121.
Huang Y Q, Li X Y, Yu Q, et al. An analysis of land use change and driving forces in the Yellow River Basin from 1995 to 2018[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(6): 113-121.
- [17]江山, 石旭飞, 郭常来, 等. 基于 CA-Markov 模型的大凌河流域土地利用变化与模拟预测研究[J]. *地质与资源*, 2023, 32(5): 624-632.
Jiang S, Shi X F, Guo C L, et al. Land use changes and simulation prediction in Daling River Basin based on CA-Markov model [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(5): 624-632.
- [18]朱文博, 张静静, 崔耀平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估——以太行山淇河流域为例[J]. *地理学报*, 2019, 74(3): 446-459.
Zhu W B, Zhang J J, Cui Y P, et al. Assessment of territorial ecosystem carbon storage based on land use change scenario: A case study in Qihe River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(3): 446-459.
- [19]朱康文, 李月臣, 周梦甜. 基于 CLUE-S 模型的重庆市主城区土地利用情景模拟[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(5): 789-797.
Zhu K W, Li Y C, Zhou M T. Land use scenario simulation of the main city of Chongqing based on the CLUE-S model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(5): 789-797.
- [20]刘晓娟, 黎夏, 梁迅, 等. 基于 FLUS-InVEST 模型的中国未来土地利用变化及其对碳储量影响的模拟[J]. *热带地理*, 2019, 39

- (3): 397-409.
- Liu X J, Li X, Liang X, et al. Simulating the change of terrestrial carbon storage in China based on the FLUS-InVEST model [J]. *Tropical Geography*, 2019, 39(3): 397-409.
- [21]高禄年,董会和.城市收缩背景下的资源型城市发展与效率评价:以鞍山市为例[J].*中国矿业*, 2022, 31(3): 42-48.
- Gao L N, Dong H H. Development and efficiency evaluation of resource-based cities under the background of urban shrinkage: A case study of Anshan City [J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(3): 42-48.
- [22]王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].*地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81-87.
- [23]Liang X, Guan Q F, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021, 85: 101569.
- [24]李琛,高彬娉,吴映梅,等.基于PLUS模型的山区城镇景观生态风险动态模拟[J].*浙江农林大学学报*, 2022, 39(1): 84-94.
- Li C, Gao B P, Wu Y M, et al. Dynamic simulation of landscape ecological risk in mountain towns based on PLUS model [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2022, 39(1): 84-94.
- [25]曲衍波,王世磊,朱伟亚,等.黄河三角洲国土空间演变的时空分异特征与驱动力分析[J].*农业工程学报*, 2021, 37(6): 252-263.
- Qu Y B, Wang S L, Zhu W Y, et al. Spatial-temporal differentiation characteristics and driving force of territorial space evolution in the Yellow River Delta [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(6): 252-263.

(上接第 224 页/Continued from Page 224)

- [23]王充,于东升,张海东,等.典型黑土区农田土壤碳库及其影响因子显著性变化特征研究[J].*土壤学报*, 2014, 51(4): 845-852.
- Wang C, Yu D S, Zhang H D, et al. Soil carbon stocks and changes in significance of its impact factors in typical black soil region of Northeast China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4): 845-852.
- [24]刘汝海,王起超,王艳,等.小叶章湿地开垦后汞和有机质的动态变化[J].*农业环境科学学报*, 2003, 22(6): 647-650.
- Liu R H, Wang Q C, Wang Y, et al. Soil carbon stocks and changes in significance of its impact factors in typical black soil region of Northeast China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6): 647-650.
- [25]苗正红.1980-2010年三江平原土壤有机碳储量动态变化[D].长春:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2013.
- Miao Z H. Changes and factors of soil carbon storage in the Sanjiang Plain, Northeast China from 1980s to 2010 [D]. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [26]刘国栋.三江湿地土壤碳库分布规律研究[D].长春:吉林大学, 2012.
- Liu G D. The distribution pattern of soil carbon pool in Sanjiang wetland, northeast of China [D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [27]刘子刚,张坤民.黑龙江省三江平原湿地土壤碳储量变化[J].*清华大学学报(自然科学版)*, 2005, 45(6): 788-791.
- Liu Z G, Zhang K M. Wetland soils carbon stock in the Sanjiang Plain [J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2005, 45(6): 788-791.
- [28]奚小环,杨忠芳,崔玉军,等.东北平原土壤有机碳分布与变化趋势研究[J].*地学前缘*, 2010, 17(3): 213-221.
- Xi X H, Yang Z F, Cui Y J, et al. A study of soil carbon distribution and change in Northeast Plain [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(3): 213-221.