

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.216>



贵阳市城镇化进程与土地利用转变关系

陈娟¹, 王龙², 赵欣运¹, 程胜高^{1*}

1. 中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

2. 中国建筑西南勘察设计研究院有限公司武汉分公司, 湖北武汉 430014

摘要: 贵阳市岩溶地貌十分发育, 可利用土地资源缺乏, 城镇化发展与土地利用相互制约. 基于贵阳市2001~2014年城镇化指标数据及1996、2001、2004、2009、2016年五期遥感影像数据, 采用指标权重法和土地利用类型转移矩阵, 分析了2001~2014年贵阳市城镇化发展趋势和1996~2016年土地利用的时空分布特征及演变规律. 并运用相关性分析方法建立函数响应度模型, 探讨了城镇化与土地利用之间的作用关系. 结果表明: (1) 2001~2014年间, 贵阳市城镇化水平呈上升趋势, 综合城镇化得分增长率为52.46%, 其中人口(26.0%)、生态(20.4%)、空间(19.9%)和经济(18.3%)城镇化对综合城镇化贡献较大, 社会(15.4%)城镇化相对较小; (2) 贵阳市农用地、建设用地面积增加, 净增长总量23.66%, 未利用土地面积减少, 净减少总量23.56%, 土地利用类型总变化量为87.77%; (3) 城镇化进程推动着土地利用的变迁, 2001~2014年水田(13.767响应度)、裸地(4.476)、旱地(1.708)、灌木(1.319)土地利用类型对城镇化的综合响应度较高, 乔木(0.897)、草地(0.878)、建设用地(0.693)、水域(0.180)相对较低. 城镇用地面积的快速扩张是土地利用类型转变的直接因素. 因此, 建议在城镇化进程中, 优化土地利用结构, 以提高土地资源利用效率, 保证城镇化进程可持续发展.

关键词: 城镇化; 土地利用变化; 函数响应; 贵阳; 遥感.

中图分类号: X24

文章编号: 1000-2383(2019)09-2944-11

收稿日期: 2019-07-14

The Relationship between Urbanization and Land Use in Guiyang City

Chen Juan¹, Wang Long², Zhao Xinyun¹, Cheng Shenggao^{1*}

1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Wuhan Branch of China Southwest Geotechnical Investigation & Design Institute Co. Ltd., Wuhan 430014, China

Abstract: The karst landforms are widely developed in Guiyang and available land resources are limited, which leads to the constrains between urbanization development and land use. This study addresses the relationship between urbanization and land use. Based on the urbanization index data of Guiyang City from 2001 to 2014 and the remote sensing image data of 1996, 2001, 2004, 2009 and 2016, the index weight method and land use type transfer matrix were used to analyze the development trend of urbanization in Guiyang from 2001 to 2014. And the spatial and temporal distribution characteristics and evolution of land use in 1996—2016. And the correlation analysis method is used to establish the function responsivity model, and the relationship between urbanization and land use is discussed. The results show that: (1) In the period of 2001—2014, the urbanization level of Guiyang City showed an upward trend, and the comprehensive urbanization score growth rate was 52.46%. Among them, the population (26.0%), ecology (20.4%), space (19.9%) and economy (18.3%) urbanization contributed a lot to the comprehensive urbanization, and the socialization (15.4%) was relatively small. (2) The increase of agricultural land and construction land in Guiyang City, the total net growth was 23.66%, the reduction of unused land area, the total net reduction was 23.56%, and the total change in land

基金项目: 贵州省公益性基础性地质工作项目(黔国土资地环函[2014]23号).

作者简介: 陈娟(1989—), 女, 硕士, 从事环境影响评价. ORCID: 0000-0003-3096-6546. E-mail: cjuan1101@163.com

通讯作者: 程胜高, E-mail: chengsg@cug.edu.cn

引用格式: 陈娟, 王龙, 赵欣运, 等, 2019. 贵阳市城镇化进程与土地利用转变关系. 地球科学, 44(9):2944—2954.

use type was 87.77%. (3) The urbanization process promotes the change of land use. In 2001-2014, the comprehensive response of land use types to urbanization is higher in paddy fields (13.767), bare land (4.476), dry land (1.708) and shrubs (1.319). Trees (0.897), grassland (0.878), construction land (0.693), and waters (0.180) are relatively low. The rapid expansion of urban land use is a direct factor in the transformation of land use types. Therefore, it is recommended to optimize the land use structure in the process of urbanization to improve the efficiency of land use and ensure the sustainable development of urbanization.

Key words: urbanization; land use change; function response; Guiyang; remote sensing.

改革开放以来,中国城镇化水平取得了快速提升(Wang *et al.*, 2014),从1978~2018年,人口城镇化率从17.9%增长到59.58%,土地利用变化剧烈,人类活动及经济因素是土地利用变化的主要驱动力(李秀彬,2002).一方面,经济增长驱动城市用地扩张(Lambin and Meyfroidt, 2010; Yuan *et al.*, 2014; Deng *et al.*, 2015; 卢建等, 2016);另一方面,生态环境建设对土地资源需求日益增多(Chen *et al.*, 2014),多元的用地需求促进区域土地利用快速转变.土地资源为城镇化提供了物质基础和承载空间,在调节和控制城镇化发展中起到关键作用.

国内外学者主要关注的是生态景观土地利用(Goertzen and Suhling, 2019)、城市污染排放(Guo *et al.*, 2016)、城市经济发展(崔健等, 2015; Hans and Koster, 2018)、农村地区土地利用效率(杨军和徐世武, 2002; 徐世武等, 2006; Liu and Zhou, 2018)及土地利用冲突问题,而对广大山区特别是岩溶区域的研究较少.岩溶区域地下空间结构不稳定,区域生态环境脆弱,土地可利用资源稀缺,城镇化发展与土地利用冲突加剧,城镇化发展出现明显的区域差异(刘新卫等, 2008; 彭冲等, 2014; 蔡广鹏和张朝琼, 2015).

贵阳市位于贵州省中偏北部,地处长江流域和珠江流域的分水岭地段,境内喀斯特地貌十分发育,占区域总面积的73.3%,是世界上喀斯特地貌发育最典型的地区之一.在快速城镇化背景下,城镇人口、经济不断增长,土地利用范围、形态、结构、功能等不断变化,水资源短缺、水质恶化、生态环境破坏、水土流失、区域地质灾害等环境问题频发.据中国社科院统计,贵州省2014年城镇化率为37.8%,与全国城镇化率(54.8%)相差17个百分点.从2000年至今,贵阳市城镇化率呈不断上升趋势.但是城镇化的快速发展伴随着诸多环境问题,在岩溶地貌强烈发育的城市,其城镇化过程中的环境问题便显得尤为突出.

本文综合考虑城市建设历史、城镇化规模及发展程度、城镇产业结构,选择贵州省唯一特大型城

市贵阳市为研究对象,以城镇化进程对土地利用的影响为研究主线,分析贵阳市城镇化与土地利用的时空演变特征,诠释城镇化与土地利用交互作用机制.为未来贵阳市城镇化及土地资源可持续发展与利用规划提出合理建议,为岩溶山区的城镇化发展规划提供依据.

1 研究区域概况

贵阳市是贵州省省会,地处贵州省中部,地理坐标为东经106°07'~107°17'、北纬26°11'~26°55',是贵州省政治、经济、文化和金融中心,是西南地区重要的中心城市.贵阳市位于长江水系与珠江水系的分水地带,地貌上处于黔中山原的中部,残留有较广阔的山盆期剥夷面,以盆区景观为主,低山次之.区内褶皱断裂复杂,碳酸盐岩广泛分布,约占整个贵阳市面积的75%,在湿热多雨的气候条件配合下,岩溶最为发育.在快速城镇化背景下,城镇人口、经济不断增长,土地利用范围、形态、结构、功能等不断变化,地下水资源的过度开采,地下水污染、生态环境破坏、水土流失等环境问题频发.

2 方法

2.1 城镇化指标数据分析方法

城镇化指标数据首先采用等比例标准化法对数据进行标准化处理,再采用客观赋权法—结构熵值法和均方差决策法分别计算权重,两种权重取均值得到综合权重,最后采用综合权重计算指标得分(王富喜等, 2013).

2.1.1 数据标准化处理 为了消除各个指标不同数量级、量纲的影响,在分析数据之前采用等比例标准化法对数据进行标准化处理.等比例标准化更多是针对地区相对较少、年限较短的数据,本文时间限度为14年、1个研究区,所以采用等比例法处理.计算公式为:

$$Z_{ij} = X_{ij} / X_{i\max}, \quad (1)$$

$$Z_{ij} = X_{i\min}/X_{ij}, \quad (2)$$

式中: Z_{ij} 为样本年份 j 第 i 个指标的标准化值; X_{ij} 为样本年份 j 第 i 个指标的原始数值; $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ 分别为样本年份指标 i 的最大值和最小值. 标准化后的 Z_{ij} 越大则其产生的影响也就越大, 研究中所选取的指标正逆向皆有, 正向指标采用公式(1), 负向指标采用公式(2).

2.1.2 指标权重计算 目前量化赋权方法主要有主观赋权法和客观赋权法(李刚, 2017), 各种赋权法的种类较多. 主观赋权法具有较强的主观性, 是根据专家的经验评判指标对系统的影响程度, 程度越大, 权重越大. 客观赋权法依据较强的理论方法而不是人为的主观判断.

在数据处理时, 每一种权重计算方法都各具优点和弊端, 为了减小单种方法带来的不利影响, 本文选择了相对客观赋权法——熵值法和均方差决策法, 取两种方法所得权重的均值得出综合权重. 综合权重在一定程度上减少了单一赋权法带来的局限性. 均方差决策方法是确定权重系数的一种客观赋权法. 反映随机变量离散的程度, 离散程度越大权重系数越大. 均方差决策法是以两个大系统中的单一指标为随机变量, 将取出单一指标的均方差, 把均方差归一化处理, 结果就是单一指标的权重系数. 此方法的计算步骤如下:

$$\text{变量的均值: } E(Q_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{ij}, \quad (3)$$

求 Q_i 的均方差:

$$\sigma(Q_i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Z_{ij} - E(Q_i))^2}, \quad (4)$$

$$Q_i \text{ 的权系数: } w_j = \sigma(Q_j) / \sum_j^m \sigma(Q_j), \quad (5)$$

$$\text{行多指标决策与排序: } D_i(w) = \sum_{i=1}^m Z_{ij} w_j, \quad (6)$$

即求得各子系统(即三级指标)的权重系数. 再计算城镇化与生态环境的 5 个维度即二级指标, 采用多目标线性加权函数法计算:

$$B_i = \sum_{j=1}^m D_i(w) w_k, \quad (7)$$

式中: $D_i(w)$ 为三级层次指标属性值; B_i 为二级层次指标属性值; w_k 为三级层次指标权重; w_j 为单项指标权重.

熵主要用于反映系统的混乱程度, 数据的离散程度越大, 信息熵越小, 其提供的信息量越大, 该指标对综合评价的影响越大, 权重越大; 相反, 各指标

差异越小, 信息熵就越大, 其提供的信息量越小, 该指标对评价结果的影响也越小, 其权重也越小. 用熵值法确定指标权重, 既可以规避主观赋权法的随机性和臆断性问题, 又可以解决多指标变量间信息重叠问题. 因此, 根据样本数据的离散程度, 用信息熵来计算指标权重. 此方法的计算步骤如下:

$$\text{指标同度量化, 计算第 } j \text{ 项指标下第 } i \text{ 年占该指标的比重 } (p_{ij}): p_{ij} = Z_{ij} / \sum_{i=1}^n Z_{ij}, \quad (8)$$

$$\text{计算第 } j \text{ 项指标熵值 } (e_j): e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad (9)$$

$$\text{计算第 } j \text{ 项指标的差异系数 } (d_j): d_j = 1 - e_j, \quad (10)$$

$$\text{差异系数归一化, 第 } j \text{ 项指标的权重 } (w_j): w_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_j, \quad (11)$$

式中: n 为样本(年份)个数; m 为指标个数.

2.1.3 标准化指标得分计算 标准化值乘以权重值, 获得单一子系统得分, 然后不同层级叠加得到综合水平得分.

$$\text{单一指标得分, 计算公式为: } C_{li} = w_j \times x_{lij}, \quad (12)$$

$$\text{子系统综合得分, 计算公式为: } C_{ij} = \sum_{j=1}^n C_{li}. \quad (13)$$

2.2 土地利用变化分析方法

土地利用分类采用《全国土地利用现状调查技术规程》、《土地利用现状分类标准》(GBT 21010-2007) 规定的土地利用分类系统, 综合采用分类系统中的一级(建设用地和水域)和二级类型(水田、旱地、乔木、灌木、草地、裸地), 共 8 种类型. 在 ENVI 5.2 中, 将不同分辨率的土地利用图进行重采样, 获得分辨率为 30 m 的 5 期土地利用分类图, 在 Change Detection Statistics 功能下将 2 个不同时相的栅格数据进行对应分析, 得到不同时段土地利用类型的转移矩阵, 用于定量分析土地利用的时空格局变化.

遥感影像数据主要来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)、中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/site1/>) 的 Landsat TM/ETM 和 Landsat8 OLI 数据. 为使遥感数据具有阶段性, 且保证遥感影像具有有效性, 选取与国民经济和社会发展五年规划基本一致的时相, 分别为 1996 年、2001 年、2004 年、2009 年和 2016 年, 遥感影像数据的云量小于 5%, 分辨率为 15 m 和 30 m, 生成时间主要集中在 12~4 月, 卫星轨道号为 127/41 和

127/42. 遥感影像解译人工圈定训练样本8个,各样本之间的可分离性 >1.9 ,说明样本之间可分离性好,属于合格样本.采用监督分类方法中的最大似然法进行分类,并通过误差矩阵验证各自的分类精度,最后对5期数据进行定性与定量的动态分析.

土地利用类型转移矩阵用于定量描述系统状态与状态转移(徐岚和赵羿,1993).某用地类型从前一时相到后一时相发生了面积变化,说明该用地类型发生了转移,从用地类型转移矩阵中可以得出各类用地类型面积的变化及去向.再采用土地利用变化信息方法(刘瑞和朱道林,2010)计算土地利用净变化量、交变化量和类型间转化量.其中净变化量是地类面积数量的绝对变化量,其计算公式如下:

$$D_n = \text{Max}(P_{n+} - S_m) - \text{Min}(P_{+n} - S_m) \\ = |P_{n+} - P_{+n}|, \quad (14)$$

式中: D_n 表示第 n 类地类的净变化量; P_{n+} 表示第 n 类地类前一时相的总面积; P_{+n} 表示第 n 类地类后一时相的总面积; S_m 表示第 n 类地类参与变化的面积.

交变化量是定量分析一种地类在某一空间转换成其他地类和其他地类在另一空间转换成该地类的方法,用 E_n 表示第 n 类地类的交变化量,其计算公式如下:

$$E_n = 2\text{Min}(P_{n+} - S_m, P_{+n} - S_m). \quad (15)$$

总变化量是净变化量和交变化量之和,用 C_n 表示第 n 种地类的总变化量.

2.3 函数响应度模型

为定量揭示土地利用对城镇化的综合响应程度,借鉴经济学的点弹性定义及刘耀斌(2008)的研究,构建了土地利用对城镇化的响应度模型.其中土地利用对城镇化的响应度模型公式如下:

$$\theta_j(t) = \frac{dy_{jt}}{dx_t} \cdot \frac{x_t}{y_{jt}}, \quad (16)$$

$$c_j = \sum_{t=1}^n \frac{1}{T} |\theta_j(t)|, \quad (17)$$

式中: x_t 为 t 年份的城镇化综合指数; y_{jt} 为 t 年份第 j 类土地利用分量数值; $\frac{dy_{jt}}{dx_t}$ 为 t 年份第 j 类土地利用分量对城镇化的导数; $\theta_j(t)$ 为 t 年份第 j 类土地利用分量对城镇化的响应系数; c_j 为 T 时期内的第 j 类土地利用分量对城镇化的综合响应度.响应度模型可以用来表示一段时间内因变量对自变量的响应趋势,是某段时间内土地利用变化率对城镇化水平变化率的比值(丁镭等,2015).当该段时间内的响应度

大于1,说明土地利用的变化速率快于城镇化综合指数的变化速率;若响应度接近于1,说明两者变化趋于同步;若响应度小于1,则说明城镇化水平的加快会降低土地利用变化的速率.响应度正值表示随着城镇化的推进,对应土地利用类型朝着增长方向进行,负值则相反.

3 贵阳市城镇化时空演变特征

3.1 城镇化指标数据来源及指标体系的构建

城镇化指标数据主要来源于报告(贵阳市统计局和国家统计局贵阳调查队,2015.贵阳年鉴——经济社会统计资料2001~2014,贵阳市国民经济和社会发展统计公报2001~2014,贵州统计年鉴2011~2014).为了测试贵阳市城镇化的综合程度,借鉴现有的城镇化综合测度指标,选取人口、经济、空间、社会和生态5大类指标,遵循系统性、科学性、有效性和可操作性等原则,筛选出24个指标构建城镇化综合水平评价指标体系,结果见表1.

其中,人口城镇化比较直观地反映城市人口的聚集程度,是城镇化水平的基础指标,可以用城镇人口规模、城镇人口比重、第三产业就业人数比重、人口密度4个指标来刻画人口城镇化水平;经济城镇化相对间接地反映城市的经济发展水平,是城镇化水平发展的动力机制,可以从人均GDP、非农产业比重、规模以上工业总产值、第三产业占GDP的比重、第二产业占GDP比重、全社会固定资产投资占GDP比重6个指标来描述经济城镇化水平;空间城镇化最直观地反映城市人口的空间承载力,是城镇化水平的空间表现形式,故可以用建成区面积、人均道路面积、人均城镇住房面积、人均公园绿地面积4个指标来表征空间城镇化水平;社会城镇化最直接地反映城镇化对城市居民生活水平的影响,主要表现在生产方式和生活方式上,是衡量一个地区城镇化发展水平的根本标准,采用城镇居民人均可支配收入、人均社会消费品零售总额、每万人大学生数、城市公共汽车和出租车总量、汽车拥有量5个指标来评价社会城镇化水平;生态环境城镇化直接反映了城镇化过程对生态环境质量的影响,主要表现在污染物排放及治理、环境绿化等方面,因此采用生活垃圾无害化处理量、工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、公共绿地面积、建成区绿地率5个指标来衡量生态环境城镇化水平.

表 1 城镇化综合水平评价指标体系及权重

Table 1 Urbanization comprehensive level evaluation index system and weight

一级指标	SEW	MSD	W_j	二级指标	SEW	MSD	W_j	效应
X1 人口城镇化	0.163	0.089	0.126	X11 城镇人口规模(万人)	0.258	0.336	0.297	+
				X12 城镇人口比重(%)	0.244	0.145	0.194	+
				X13 第三产业就业人数比重(%)	0.250	0.252	0.251	+
				X14 人口密度(人/km ²)	0.249	0.267	0.258	+
X2 经济城镇化	0.250	0.207	0.229	X21 人均 GDP(元)	0.187	0.291	0.239	+
				X22 非农产业比重(%)	0.147	0.017	0.082	+
				X23 规模以上工业总产值(万元)	0.193	0.305	0.249	+
				X24 第三产业占 GDP 比重(%)	0.155	0.118	0.136	+
				X25 第二产业占 GDP 比重(%)	0.151	0.076	0.114	+
				X26 全社会固定资产投资占 GDP 比重(%)	0.168	0.192	0.180	+
X3 空间城镇化	0.167	0.147	0.157	X31 建成区面积(km ²)	0.276	0.324	0.300	+
				X32 人均城镇道路面积(m ² /人)	0.250	0.297	0.274	+
				X33 人均城镇住房面积(m ²)	0.253	0.212	0.232	+
				X34 人均公共绿地面积(m ²)	0.221	0.167	0.194	+
X4 社会城镇化	0.212	0.298	0.255	X41 城镇居民人均可支配收入(元)	0.196	0.191	0.193	+
				X42 人均社会消费品零售总额(元/人)	0.209	0.211	0.200	+
				X43 每万人大学生数(人)	0.194	0.199	0.196	+
				X44 城市公共汽车和出租车总量(万辆)	0.215	0.175	0.195	+
				X45 汽车拥有量(万台)	0.209	0.223	0.216	+
X5 生态环境城镇化	0.208	0.258	0.233	X51 生活垃圾无害化处理量(10 ⁴ t)	0.211	0.234	0.222	+
				X52 工业废水排放量(10 ⁴ t)	0.208	0.249	0.229	-
				X53 工业二氧化硫排放量(t)	0.209	0.244	0.226	-
				X54 公共绿地面积(Hm ²)	0.194	0.196	0.195	+
				X55 建成区绿地率(%)	0.178	0.077	0.128	+

注:SEW 代表熵值法计算所得权重;MSD 代表均方差决策法计算所得权重。

3.2 贵阳市城镇化进程的演变特征

城镇化是一个动态过程,并包含着某种结果,城镇化的实质是人口结构、经济结构、社会结构和空间结构的变迁。城镇化是指随着一个国家或地区社会生产力的发展、科学技术的进步以及产业结构的调整,其社会由以农业为主的传统乡村型社会向以工业(第二产业)和服务业(第三产业)等非农产业为主的现代城市型社会逐渐转变的历史过程。城镇化过程包括人口职业的转变、产业结构的转变、土地及地域空间的变化。

从 2001~2014 年的 14 年间,贵阳市城镇化增长率出现了 3 次波动。第一次波动出现在 2002~2004 年,2003 年汽车拥有量比 2002 年增加了 160.5%,2004 年回归正常增长水平,说明这期间贵阳市的汽车需求量大幅增长,随着社会发展,汽车拥有量增长率呈小幅平稳增长;2003~2004 年,生活垃圾无害化处理量的增长率从 -35.29% 增加到 59.09%,之后呈逐步下降的正向发展趋势;2004 年人均城镇

道路面积增长率从 -0.32% 增加到 60.77%,之后在较长时间内小幅波动。同年,规模以上工业总产值也出现了大幅增长,说明 2003~2004 年期间,贵阳市的城镇化发展主要表现在人均道路面积的增加和生活垃圾无害化处理量的增加上。第 2 次波动出现在 2008~2009 年,2008 年公共绿地面积、每万人大学生人数同比上年大幅增加,增长率分别从 -11.72%、3.50% 增长到 84.19%、54.95%;工业二氧化硫排放量、工业废水排放量同比上年大幅减少,增长率分别从 7.64%、-11.47% 减少到 -26.16%、-39.08%,之后回归正常水平;公共绿地面积的增长率在 2009 年呈大幅负向增长,而后回归正常水平;说明在此期间,贵阳市加大环境污染治理和城市绿化工作的力度是贵阳市城镇化水平提升的主要因素。第 3 次波动出现在 2013 年,主要表现在公共绿地面积的大幅度增长上,增长率从 8.15% 增加到 114.09%,说明在此期间,贵阳市又进行了一次较大范围的城市环境建设,并促进了贵阳

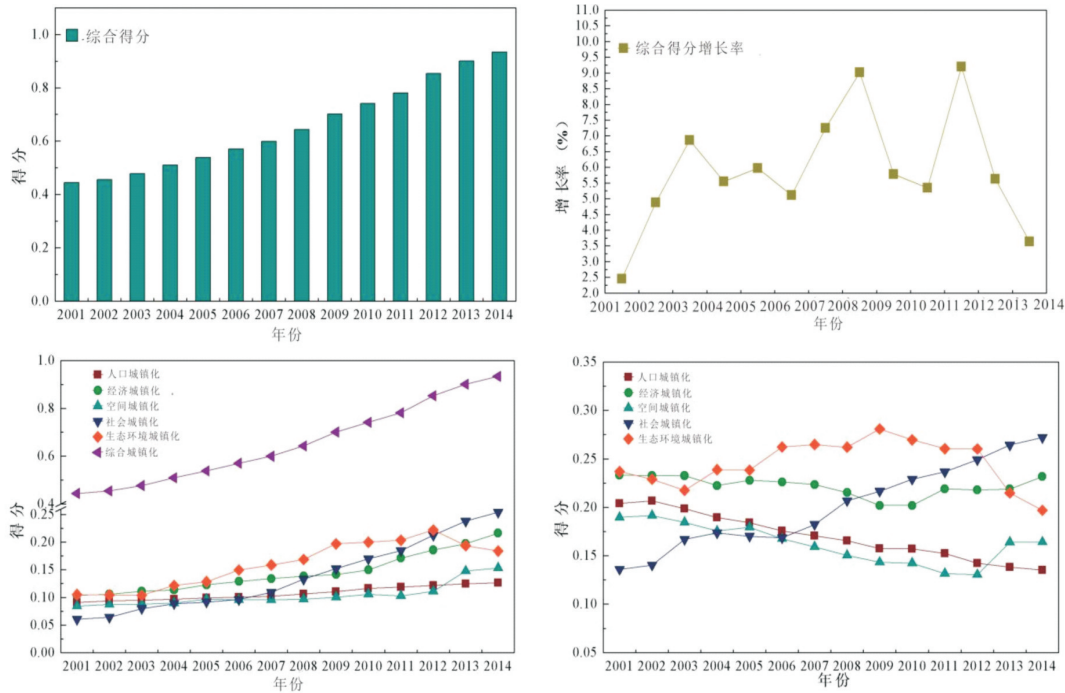


图 1 2001~2014年贵阳市城镇化指标综合得分变化趋势

Fig.1 Trends of comprehensive scores of urbanization indicators in Guiyang City from 2001 to 2014

市的城镇化进程。

由贵阳市城镇化子系统得分及其占综合城镇化得分比重可知(图 1),各子系统得分均呈上升趋势,除生态城镇化得分在 2012 年以后呈下降趋势。经济城镇化和生态环境城镇化对综合城镇化的影响较大,社会城镇化对综合城镇化的影响保持上升趋势,2006 年以后,这 3 个城镇化子系统成为影响综合城镇化的主要因素,但是 2012 年以后,生态环境城镇化的影响呈下降趋势。人口城镇化和空间城镇化得分比重呈小幅下降的趋势,但空间城镇化得分比重在 2012 年以后有所上升,说明贵阳市在“十二五”期间正逐步加强城市空间扩展的建设。贵阳市的经济、生态环境、社会城镇化为影响综合城镇化的主要因素,但是随着社会需求的不断改变,各子系统对综合城镇化的影响趋势亦可能发生改变。

综合得分增长率同城镇化指标增长率波动变化趋势基本一致,出现了 3 个阶段性的峰值,分别在 2003~2004 年、2008~2009 年和 2011~2012 年。2004 年受贵阳市国民经济和社会发展“十五”计划及全面落实十六大和十六届三中全会精神政策影响,贵阳市大力推进城镇化、新型工业化进程,加大了城市建设力度;如改造道路、新增城市绿地、改造化粪池及排污管道、新建垃圾焚烧厂等,房屋建筑竣工面积 $380.87 \times 10^4 \text{ m}^2$,比上年增长 26.5%,道路

面积 $1\ 040.3 \times 10^4 \text{ m}^2$,新增工业废水处理能力 28 691 t/d、工业废气处理能力 $13.35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 和工业固体废物处理能力 30 588 t/d,建成区绿地率 37.1%,绿化覆盖率 38.2%。2009 年,贵阳市为全面贯彻十七大、十七届三中全会重要思想,加快了生态文明建设,新修公共工程、改造污水处理厂及配套管网、新建垃圾填埋场等,房屋建筑竣工面积 $608.48 \times 10^4 \text{ m}^2$,比上年增长 12.7%,道路面积 $1\ 163 \times 10^4 \text{ m}^2$,建成区公共绿地面积 1 170 Hm^2 ,建成区绿地率 41.05%,建成区绿化覆盖率 42.3%。2012 年受贵阳市实施“十二五”规划的影响,贵阳市进行了人口自然增长率、单位生产总值综合能耗和主要污染物排放总量控制,房屋建筑竣工面积 $616.53 \times 10^4 \text{ m}^2$,比上年下降 1.8%,道路面积 $1\ 348 \times 10^4 \text{ m}^2$,建成区公共绿地面积 1 450.3 Hm^2 ,建成区绿地率 42.4%,建成区绿化覆盖率 43.15%。城镇化发展的阶段性特征很有可能受政策导向影响。

4 贵阳市土地利用的时空演变特征

4.1 土地利用时间序列演变特征

1996~2016 年贵阳市的农用地面积从 1 700.40 km^2 增加到 1 769.84 km^2 ,占总土地面积的

比例增加了 3.28%，农用地包括旱地、水田、灌木、乔木和水域；建设用地面积从 114.81 km² 增加到 313.39 km²，占总土地面积的比例增加了 9.20%，建设用地包括居民住宅用地、商服用地、工矿用地、交通用地、水利设施用地；未利用土地面积从 344.72 km² 减少到 75.19 km²，占总土地面积的比例下降了 12.48%，未利用土地包括荒草地和裸地。从总体趋势上来看，贵阳市的农用地和建设用地面积在增加，未利用土地面积在大幅度减少。建设用地和水域在一定时期内存在上升的趋势，乔木和灌木面积变化存在拮抗作用关系，旱地面积上升但最终趋于平稳状态，水田、草地和裸地的总体存在下降的变化趋势。

4.2 土地利用空间格局演变特征

4.2.1 土地利用转移矩阵 建设用地、旱地、灌木、水田和水域面积呈净增长，净增长量分别为 9.26%、8.10%、3.45%、2.70% 和 0.15%；乔木、草地和裸地面积净减少，净减少量分别为 11.10%、4.70% 和 7.76%。20 年间，8 种土地利用类型总变化量为 87.77%，其中有 23.67% 发生了数量上绝对值的变化，64.10% 发生了空间位置转移。建设用地总变化量 21.10%，交变化量 11.90%，净变化量 9.20%，说明 20 年间建设用地不仅在面积上发生了较大的数量变化，同时也发生了较大比例的空间位置转移，面积呈净增长。乔木总变化量为 37.36%，其中有 11.25% 发生了数量上的急剧减少，另外 26.11% 发生了空间位置上的转移。灌木 36.45% 的总量变化中，有 3.45% 发生了数量上的变化，绝大部分 (32.91%) 发生了空间位置的转移，面积呈净增长。旱地 38.57% 的总量变化中，有 8.18% 发生了数量上的变化，另有 30.38% 发生了空间位置转移，数量

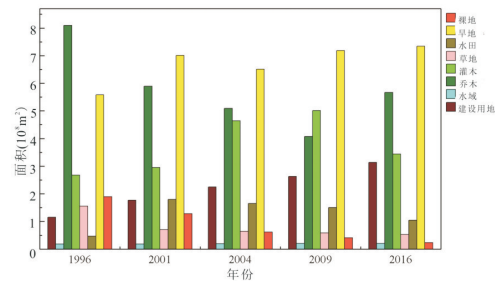


图 2 1996~2016 年贵阳市土地利用面积变化趋势

Fig.2 Trends in land use area in Guiyang City from 1996 to 2016

变化主要表现为面积的净增长。裸地的总量变化为 14.80%，交变化量为 7.08%，净变化量为 7.72%，说明裸地总变化量中有近一半发生了面积减少，另一半发生了空间位置转移。水田 14.24% 的总量变化中，有 2.64% 发生了数量上的变化，表现为面积的净增长，另外大部分 (11.60%) 发生了空间位置转移。草地的总变化量为 12.75%，有 4.70% 发生了数量上的减少，另外少量 (8.05%) 发生了空间位置转移；水域的总变化量为 0.31%，相对较少，其中有 0.11% 发生了数量上的变化，面积呈净增长，0.16% 发生了空间位置转移。综合来看，乔木、灌木、草地、水田、旱地均以交变化量为主，而建设用地、水域、裸地的净变化量和交变化量水平基本一致。

4.2.2 土地利用空间分布特征 贵阳市地处云贵高原的东斜坡上，属全国东部向西部高原过渡地带。地形地貌走势大致呈东西向延展，地势起伏较大，南北高、中部低。岩溶地貌大量分布，既有高原山地和丘陵，又有盆地、河谷和台地，海拔 872~1 659 m。受贵阳市地形地貌的影响，建设用地主要集中在中部地势较低的地区，且逐渐向西偏北

表 2 1996-2016 年贵阳市土地利用变化信息

Table 2 Information on land use change in Guiyang City from 1996 to 2016

项目	增加量 (%)	减少量 (%)	面积变化量 (%)	总变化量 (%)	交变化量 (%)	净变化量 (%)
建设用地	15.15	5.95	9.26	21.10	11.90	9.20
水域	0.19	0.08	0.15	0.27	0.16	0.11
乔木	13.06	24.31	-11.10	37.36	26.11	11.25
灌木	19.99	16.45	3.45	36.45	32.91	3.45
草地	4.02	8.73	-4.70	12.75	8.05	4.70
水田	8.44	5.80	2.70	14.24	11.60	2.64
旱地	23.37	15.19	8.10	38.57	30.38	8.18
裸地	3.54	11.26	-7.76	14.80	7.08	7.72
总量	87.77	87.77	0.0	87.77	64.10	23.67

注：面积变化量为 20 年间的土地利用差值，正为增加，负为减少。

部发展,这一部分建设用地主要由旱地和少量的水田、灌木、乔木转变而来。贵阳市的北部和南部地区主要以林地和旱地为主,林地逐渐向旱地转移,乔木逐渐转变成灌木和少量的旱地,灌木转变成旱地。另外贵阳市中偏南部地区的水田也呈逐渐转化成旱地的变化趋势。总的来说,贵阳市的林地总面积在空间上有一定量的减少,乔木逐渐被灌木替换,旱地作为高原山区人民生活的基本保障,面积由中部向周边放射性扩张,但这种扩张趋势并不会无限制发展,2009年旱地面积变化已基本达到限值。建设用地还将继续扩张,这是贵阳市城镇化发展过程的必然趋势。

5 城镇化发展与土地利用的作用关系

5.1 土地利用对城镇化的响应函数

利用SPSS 22.0软件对城镇化综合得分与土地利用分量分别进行多种函数的曲线拟合,得出两者之间的最优响应方程。如表3所示,建设用地对城镇化综合得分的响应函数为倒数方程,且拟合优度最高($R^2=0.980$);水域、乔木、灌木、水田和旱地对城镇化综合得分的响应函数为二次曲线方程;裸地和草地对城镇化综合得分的响应函数为S曲线方程。各曲线显著性检验较好。

5.2 响应函数结果分析

为探讨土地利用在不同时期内对城镇化响应的敏感程度,计算各年份土地利用分量对城镇化综合得分的响应系数(图3)。建设用地对城镇化具有正响应特征(0.342~1.272),响应系数相对较大,且呈下降趋势,说明贵阳市城镇化进程对建设用地面积的增长具有推动作用。水域、灌木和水田对城镇化的响应系数均由正变负,变化范围分别为-0.230~0.288、-3.754~1.924和-1.746~6.600;其中水域和旱地的响应系数在2001~2009年为正值,在2014年为负值;而灌木的响应系数在2001~2004年为正值,在2009~2014年为负值,说明随着贵阳市城镇化的推进,水域、灌木和水田面积在2009年以前呈扩张趋势,2009年以后面积开始减少并出现负增长。乔木对城镇化进程具有从负到正的响应变化特征(-0.919~1.982),响应值逐渐变大,说明2009年以前贵阳市城镇化对乔木面积具有负向促进作用,2009年以后为正向推动作用;草地、旱地和裸地对城镇化进程具有负响应变化特

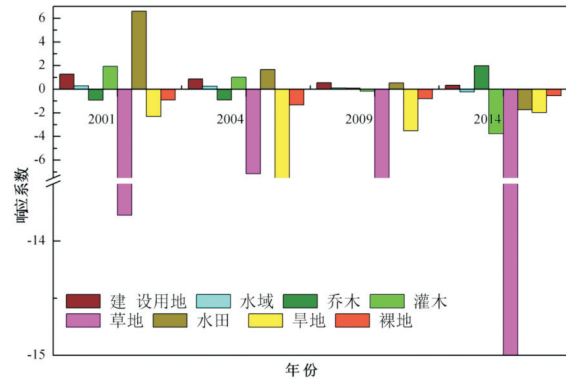


图3 2001~2014年贵阳市土地利用分量对城镇化的响应系数变化

Fig.3 Change of response coefficient of land use component to urbanization in Guiyang City from 2001 to 2014

征,响应系数变化范围分别为-28.080~-7.147、-11.493~-1.978和-1.327~-0.552,说明随着贵阳市城镇化综合水平的提高,草地、旱地和裸地面积数量逐渐减少。

将响应度的时间序列2001~2004年和2009~2014年2个区间进行比较,分别计算综合响应度(表4)。结合图3可以发现,2001~2004年的建设用地、水域、乔木、灌木、旱地、裸地和草地的综合响应度高于整个考察期和2009~2014年的综合响应度,说明这几种地类在2004年以前对城镇化的敏感性和变化幅度在研究期间最高;且2004年以前建设用地、灌木、水田、旱地、裸地和草地的响应度均大于1,说明它们的转变速率要快于城镇化的综合速率;乔木的响应度接近1,说明其变化速率同城镇化进程的综合变化速率较为接近;水域的响应度非常低,说明城镇化进程对水域面积影响较小。2009~2014年的建设用地、乔木、旱地和草地的响应度较2001~2004年大幅度减小,且均小于1,表明2009年以后这几种地类对城镇化进程的敏感性和变化幅度下降;灌木和裸地对城镇化进程的响应度较2004年也在下降,但仍然大于1,说明它们的转变速率快于城镇化进程速率,且二者逐渐趋近;水田的响应度较2004年进一步升高,说明水田对城镇化的敏感性和变化幅度较高,其变化速率远快于贵阳市的城镇化进程速率。

随着城镇化进程的快速推进,城市建设的速度不断加快、规模不断扩张,大量临近城市区域的非建设用地(乔木、灌木、水田、旱地等)逐渐转变为建

表 3 贵阳市土地利用对城镇化的响应函数及其检验

Table 3 Response function of land use to urbanization in Guiyang City and its test

响应类型	响应函数 y_i	$\frac{dy_i}{dx_i}$	拟合优度 R^2	统计量 F
建设用地对城镇化响应	$-1.000/x_i + 4.130$	$1/x_i^2$	0.980	653.747
水域对城镇化响应	$-0.171x_i^2 + 0.26x_i + 0.100$	$-0.342x_i + 0.269$	0.889	52.974
乔木对城镇化响应	$24.720x_i^2 - 34.148x_i + 16.081$	$49.440x_i - 34.148$	0.961	159.659
灌木对城镇化响应	$-27.161x_i^2 + 36.911x_i - 7.539$	$-54.322x_i + 36.911$	0.826	31.871
水田对城镇化响应	$-9.752x_i^2 + 13.134x_i - 2.834$	$-19.504x_i - 13.134$	0.541	8.673
旱地对城镇化响应	$-41.275x_i^2 + 63.378x_i - 16.463$	$-82.550x_i + 63.378$	0.741	19.606
裸地对城镇化响应	$\exp(-4.303 + 2.397/x_i)$	$-2.397/x_i^2 \exp(-4.303 + 2.397/x_i)$	0.772	45.044
草地对城镇化响应	$\exp(-1.257 + 0.535/x_i)$	$-0.535/x_i^2 \exp(-1.257 + 0.535/x_i)$	0.692	30.252

表 4 贵阳市土地利用对城镇化的综合响应度比较

Table 4 Comparison of comprehensive response of land use to urbanization in Guiyang City

项目	2001~2004年	2009~2014年	2001~2014年
建设用地	1.072	0.260	0.693
水域	0.269	0.066	0.180
乔木	0.924	0.635	0.897
灌木	1.450	1.030	1.319
水田	9.700	11.701	13.767
旱地	3.517	0.480	1.708
裸地	5.101	1.524	4.476
草地	1.097	0.385	0.878

设用地,城乡过渡带逐渐向外推移,土地的利用率不断提升,未利用土地(草地、裸地)在逐渐转变为旱地或其他土地类型.应城市及非城市区域的发展需求,区域局部土地利用类型之间发生相互转变,最后土地利用类型发生空间位置上的转移.城市的发展是一个动态的过程,而土地利用变化也将长期伴随着这一动态过程.

6 讨论

城镇化是人口—经济—空间—生态—社会城镇化,是一个一体的过程.在人口城镇化中,人是行为主体,农业人口城镇转移,第一产业人口不断向第二、第三产业转移促使城市人口密度加大,人口空间需求促使城市面积不断扩张.此外,随着经济和工业化的发展,二三产业所占GDP比重增加,城市工业用地需求增加,从而促进了土地利用的变化.再者,随着社会城镇化进程的不断推进,人们的文化、思维方式、精神观念、工作生活的方式、行为习惯等均发生质的变化,人

类对生态景观的需求也同样促进了土地利用类型的转变.城市人口、经济和社会发展导致的结果是城市空间的扩展和土地角色转变.2001~2014年,贵阳市城镇人口增加了124.73万人,GDP增长了21 945 230万元,人均社会消费品零售总额增长了15 939元,伴随而来的是城市空间面积的巨大扩张,14年间城市建成区面积增加了207.18 km²,人均城镇道路面积、人均城镇住房面积和人均公园绿地面积分别增加了4.52、17.20、5.10 m².

城镇用地面积的快速扩张是土地利用类型转变的直接因素,从2001~2016年,贵阳市的水域、灌木、水田和旱地面积分别增加了2.38、48.89、34.03、554.52 km²,乔木、裸地和草地面积分别减少了22.56、678.37、75.23 km².但是,随着城市面积的不断扩张,农用地面积不断减少,农业生产量与城市人口和经济发展需求量逐渐持平,因此,在有限的空间中土地资源稀缺将反向制约城市的发展.

城镇化与土地利用之间相互关联且彼此制约.一方面,城镇化促进土地利用类型转变,而土地利用的局限性反向制约着城市扩张;另一方面,随着城镇化水平的提高,环境污染问题也在日益加重,土地污染问题也将反向制约城市的发展.

20世纪90年代以后,许多拉丁美洲及东南亚发展中国家已在逐步通过协调城乡之间的关系来改善城镇化发展格局.通过完善农村基础设施,引进现代化经济技术来推进农村地区的城镇化进程,为城镇化反哺铺平道路(Miranda and Gomes Júnior, 2017).与许多发展中国家一样,中国的城镇化仍主要以牺牲农村为主,城镇化的快速增长是通过扭曲的城乡关系实现的(Westlund, 2014).对城市和农村采取不同对待的城市偏向政策使得国家方面能

够为城市提供资金、土地、劳动力和原材料。在这个过程中,中国农村为压缩城镇化成本做出了巨大的贡献(Li, *et al.*, 2018)。因此,中国出现了繁荣城市与衰落村庄的共存、城乡差距在各方面都在不断扩大的状况。人口从农村向城市流动,城市人口规模不断扩大。

2014年,中国出台新型城镇化发展战略,核心在于不以牺牲农业和粮食、生态和环境为代价,着眼农民,涵盖农村,实现城乡基础设施一体化和公共服务均等化,促进经济社会发展,实现共同富裕。其根本前提是农村劳动力不过度流失。其中贵州省部分城市已列入试点名单。从长远角度来看,控制城市人口可有效控制城市空间发展规模,为农村地区保留充足发展空间及劳动力,从而减少城乡差异,解决农村衰落问题。

7 结论

贵阳市城镇化发展推动了土地利用类型的变迁。城市人口、经济、社会、生态发展对土地的需求促使城镇空间不断向外围扩展。一方面,城镇化进程对水田、裸地、旱地和灌木土地利用类型转变的影响较大,对乔木、草地、建设用地和水域地类的影响相对较低。另一方面,土地利用类型的面积变化是一个动态的过程,各地类之间相互转换,建设用地、旱地、灌木、水田和水域面积的增长促使乔木、草地和裸地面积减少。最终城镇化进程直接和间接的土地利用类型的变迁。

贵阳市未来的城镇化发展及土地利用规划需要注重:(1)合理确定城市落户条件、严格控制城市人口规模。2014年07月国务院印发《关于进一步推进户籍制度改革的意见》中有了明确的规定。同时,应该将城市人口规模控制与产业规模控制、城市功能定位结合起来统筹考虑;并且,在外来流动人口管理上应由排斥性管理向包容性管理转变。找寻基于环境改善目标的城市人口规模,并注重贵阳市对周边城市的反哺。(2)在城镇化过程中,土地利用需要控制和协调好土地资源在城镇国民经济各部门间科学的分配,提高土地利用效率,保障土地资源安全和有效供给等问题。综合来看,在城镇化过程中不可片面追求城市人口规模和经济密度而忽略环境污染对人口、经济集聚的负面影响。

References

- Cai, G.P., Zhang, C.Q., 2015. Temporal and Spatial Analysis of Land Use Changes Based on the Topography. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 33(4):392–398 (in Chinese with English abstract).
- Chen, R. S., Ye, C., Cai, Y. L., et al., 2014. The Impact of Rural Out-Migration on Land Use Transition in China: Past, Present and Trend. *Land Use Policy*, 40: 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.10.003>
- Cui, J., Du, J.Z., Li, X., et al., 2015. Effects of Land Use Change on Groundwater Quality in Qiqihar City. *Earth and Environment*, 43(3): 308–315 (in Chinese with English abstract).
- Deng, X. Z., Huang, J. K., Rozelle, S., et al., 2015. Impact of Urbanization on Cultivated Land Changes in China. *Land Use Policy*, 45: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.007>
- Ding, L., Fang, X.J., Zhao, W.T., et al., 2015. Study on the Responsive Characteristics of Air-Environment in the Process of Urbanization in Wuhan. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 24(6): 1038–1045 (in Chinese with English abstract).
- Goertzen, D., Suhling, F., 2019. Urbanization Versus other Land Use: Diverging Effects on Dragonfly Communities in Germany. *Diversity and Distributions*, 25(1): 38–47. <https://doi.org/10.1111/ddi.12820>
- Guo, J., Xu, Y. Z., Pu, Z. N., 2016. Urbanization and Its Effects on Industrial Pollutant Emissions: An Empirical Study of a Chinese Case with the Spatial Panel Model. *Sustainability*, 8(8): 812. <https://doi.org/10.3390/su8080812>
- Hans, L., Koster, S., 2018. Urbanization and Start-Up Rates in Different Geographies: Belgium, the Netherlands, and Sweden. *Small Business Economics*, 51(4): 1033–1054. <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9967-2>
- Lambin, E. F., Meyfroidt, P., 2010. Land Use Transitions: Socio-Ecological Feedback Versus Socio-Economic Change. *Land Use Policy*, 27(2): 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003>
- Li, G., Li, J.P., Sun, X.L., et al., 2017. Research on a Combined Method of Subjective-Objective Weighing and the Its Rationality. *Management Review*, 29(12):17–26 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.B., 2002. Explanation of Land Use Changes. *Progress in Geography*, 21(3):195–203 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. H., Jia, L. R., Wu, W. H., et al., 2018. Urbanization for Rural Sustainability—Rethinking China's Urbaniza-

- tion Strategy. *Journal of Cleaner Production*, 178: 580—586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.273>
- Liu, H. B., Zhou, Y. P., 2018. Urbanization, Land Use Behavior and Land Quality in Rural China: An Analysis Based on Pressure - Response - Impact Framework and SEM Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12): 2621. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122621>
- Liu, R., Zhu, D.L., 2010. Methods for Detecting Land Use Changes Based on the Land Use Transition Matrix. *Resources Science*, 32(8): 1544—1550 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X.W., Zhang, D.X., Chen, B.M., et al., 2008. Characteristics of China's Town-Level Land Use in Rapid Urbanization Stage. *Acta Geographica Sinica*, 63(3):301—310 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y.B., 2008. Urbanization and Ecological Response Analysis of Jiangxi Province. *Journal of Natural Resources*, 23(3): 422—429 (in Chinese with English abstract).
- Lu, J., Jiang, M., Zhong, Z.S., et al., 2016. Analysis of Land Use Dynamic Change in Urbanization Process Based on Remote Sensing Monitoring—Taking Longquan City of Zhejiang Province as an Example. *Anhui Agricultural Science*, (25):191—195 (in Chinese with English abstract).
- Miranda, H., Gomes Júnior, E., 2017. Urbanização Reflexa: A Emergência de Arranjos Urbanos Intermediários No Brasil Pós-1990. *EURE (Santiago)*, 43(130): 207—234. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612017000300207>
- Peng, C., Chen, L.Y., Han, F., et al., 2014. The Analysis of New-Type Urbanization and the Intensive Urban Land Use: Spatial - Temporal Evolution and Their Relationship. *Geographical Research*, 33(11): 2005—2020 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. X., Mao, A. H., Li, H. L., et al., 2013. Quality Measurement and Regional Difference of Urbanization in Shandong Province Based on the Entropy Method. *Scientia Geographica Sinica*, 33(11):1323—1329 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. J., Ma, H. T., Zhao, Y. B., 2014. Exploring the Relationship between Urbanization and the Eco-Environment—A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Ecological Indicators*, 45(10): 171—183. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.006>
- Westlund, H., 2014. Urban Futures in Planning, Policy and Regional Science: Are We Entering a Post-Urban World? *Built Environment*, 40(4): 447—457. <https://doi.org/10.2148/benv.40.4.447>
- Xu, L., Zhao, Y., 1993. Forecast of Land Use Pattern Change in Dongling District of Shenyang: An Application of Markov Process. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 4(3):272—277 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S.W., Liu, X.Z., 2006. Land Use Planning CAD System Based on GIS. *Earth Science*, 31(5):719—724 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J., Xu, S.W., 2002. Design and Implementation of Land Use Database System for County Level of MAP-GIS. *Earth Science*, 27(3):297—300 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, C., Ng, E., Norford, L. K., 2014. Improving Air Quality in High-Density Cities by Understanding the Relationship between Air Pollutant Dispersion and Urban Morphologies. *Building and Environment*, 71: 245—258. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.008>

附中文参考文献

- 蔡广鹏, 张朝琼, 2015. 岩溶山区不同地貌形态的土地利用变化比较分析. *四川农业大学学报*, 33(4):392—398.
- 崔健, 都基众, 李霄, 等, 2015. 齐齐哈尔市土地利用变化及其对地下水水质的影响. *地球与环境*, 43(3):308—315.
- 丁镭, 方雪娟, 赵委托, 等, 2015. 城市化进程中的武汉市空气环境响应特征研究. *长江流域资源与环境*, 24(6): 1038—1045.
- 李刚, 李建平, 孙晓蕾, 等, 2017. 主客观权重的组合方式及其合理性研究. *管理评论*, 29(12):17—26.
- 李秀彬, 2002. 土地利用变化的解释. *地理科学进展*, 21(3): 195—203.
- 刘瑞, 朱道林, 2010. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨. *资源科学*, 32(8):1544—1550.
- 刘新卫, 张定祥, 陈百明, 等, 2008. 快速城镇化过程中的中国城镇土地利用特征. *地理学报*, 63(3):301—310.
- 刘耀彬, 2008. 江西省城市化与生态综合响应分析. *自然资源学报*, 23(3): 422—429.
- 卢建, 蒋敏, 钟张胜, 等, 2016. 基于遥感监测的城市化进程中土地利用动态变化分析——以浙江省龙泉市为例. *安徽农业科学*, (25):191—195.
- 彭冲, 陈乐一, 韩峰, 等, 2014. 新型城镇化与土地集约利用的时空演变及关系. *地理研究*, 33(11):2005—2020.
- 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等, 2013. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. *地理科学*, 33(11): 1323—1329.
- 徐岚, 赵羿, 1993. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化. *应用生态学报*, 4(3):272—277.
- 徐世武, 刘秀珍, 2006. 基于GIS的土地利用规划辅助编制系统. *地球科学*, 31(5):719—724.
- 杨军, 徐世武, 2002. 县(市)级土地利用数据库系统的构建和实现. *地球科学*, 27(3):297—300.