

县域城市扩张遥感动态监测及驱动力分析

黎显平^{1,2}, 冯仲科^{1,2}, 游先祥², 瞿 帅²

(1. 哈尔滨师范大学 地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150025 2. 北京林业大学 精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了迅速掌握初级发展阶段中县域城市的扩展特征并合理利用土地资源, 选取河南省洛阳市嵩县作为研究对象, 采用遥感(RS)变化监测与地理信息系统(GIS)空间分析方法, 分析了河南省嵩县城镇扩展变化特征, 研究了各驱动因子对城镇扩展中主要用地类型的影响。结果表明: 近 26 a 来, 嵩县城市扩展速度北快南慢, 地形对嵩县的扩展影响较大, 建设用地增长率达 266.0%, 耕地面积减少幅度为 28.9%, 林地增幅为 14.3%, 水域、滩涂总体变化量较小, 未利用地则呈现快速减少趋势。土地利用类型转化的主要方向为耕地与林地的转化, 草地与林地的转化, 滩涂与水域的转化, 未利用地与耕地的转化。其中, 未利用地与草地向各地类的转化率最大, 分别为 88.5% 和 87.6%。驱动力分析表明: 经济发展、居民消费水平及人口变动对县城主要用地的变化具有较强的解释作用。图 4 表 8 参 16

关键词: 土地利用变化; 嵩县; 县域城市扩展; 动态监测; 驱动力

中图分类号: S711; P237 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)05-0798-09

Remote sensing dynamic monitoring and driving force analysis of county-cities expansion

LI Xianping^{1,2}, FENG Zhongke^{1,2}, YOU Xianxiang², QU Shuai²

(1. College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, Heilongjiang, China; 2. Key Laboratory of Precision Forestry in Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Song County of Luoyang City in Henan Province was selected as the research object to efficiently study primary stage of urban expansion characteristics and rational utilization of land resources. Remote sensing monitoring capability and the powerful analysis function of GIS were applied to study the changes of the urban expansion in the county and the influence of the main land types in the urban expansion was analyzed quantitatively. The study showed that the expansion speed of the north county was faster than the southern in 1987–2013. The expansion of Song County was greatly influenced by the terrain, with a 266.0% increase rate of construction land and 14.3% forestland, 28.9% decrease of cultivated land and generally slight changes of waters and beaches, and a rapid reduction tendency of unused land. The main forms included the conversion of cultivated land and forest land, the conversion of grassland and woodland, the transformation of land from waters, and the conversion of unused land to cultivated land. Among them, the largest proportion of conversion was the unused land and grassland, being respectively 88.5% and 87.6%. The driving force analysis showed that economic development consumption level of residents and population change have a strong explanatory effect on the main land use change. [Ch, 4 fig. 8 tab. 16 ref.]

Key words: landuse change; Song County; county-cities expansion; dynamic monitoring; driving force

收稿日期: 2015-10-14; 修回日期: 2015-12-27

基金项目: 国家林业局业务委托项目(201401)

作者简介: 黎显平, 从事地理信息系统及遥感技术应用研究。E-mail: 273247499@qq.com。通信作者: 冯仲科, 教授, 博士生导师, 从事“3S”理论与技术、精准林业理论与基础技术研究。E-mail: fengzhongke@126.com

城镇扩展是现代化建设的核心内容之一, 城市用地扩张也是区域生态环境系统的重要组成部分, 并以逐渐积累的方式影响着全球生态环境。合理利用土地资源是城市动态扩展过程中最重要的参考条件, 研究土地利用动态变化是将区域的开发建设对其结构和功能造成的影响具体化呈现的一种有效方法^[1]。采用遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术相结合的方法来研究土地利用时空变化规律与驱动机制是城市遥感动态监测的热点^[2]。借助数学模型定量分析土地利用结构动态变化过程及趋势预测, 可为区域未来土地合理利用规划提供决策依据^[3-6]。中国城市化过程中的城市用地扩张问题作为多学科的研究热点, 在研究视角、研究方法与数据基础上等都有较大的差异。张乐勤等^[6]认为“3S”技术与数学模型方法及数据库技术相结合是创新城市扩展研究的新途径。施益强等^[7]认为采取遥感获取土地利用信息结合 GIS 技术进行叠置分析比较, 可以更具具体地了解各类土地利用的变化信息, 是综合研究土地利用变化的有效方法。于龙等^[8]采用遥感波谱角分类方法进行土地利用分类取得较好效果, 保证了进一步的土地利用动态监测的精确度。王茜等^[9]以北京大兴区为例, 运用扩展强度及扩展规模系数等指标来分析建设用地扩展特征, 并采用缓冲区分析得出自然因素、社会经济、交通及政策因素是影响其扩展的主要因素。樊亚鹏等^[10]以广州市为例分析城市扩展及城市热环境效应, 认为高密度建设用地对地区温度影响最大, 而植被则有降温的作用。以上学者多以城市化速度快、区域范围广的大城市作为研究区, 大部分时间跨度短, 城市化特征评价指标较单一、指向不明确, 而中国县域城市面临着距离大城市远、人口密度低和城市规划落后等问题, 对小范围的典型地区进行研究, 是深入分析土地利用时空变化规划的有效途径^[11]。本研究选取地处偏远、具有特殊山地地貌、发展具有较强独立性的河南省嵩县作为研究对象。采用多源多时相遥感影像图提取目标地类的分类矢量图, 通过城镇扩展强度指数、城镇发展过程中土地利用的综合动态度与转移概率矩阵 3 个评价指标来分析嵩县在 26 a 间的城镇扩展演变的过程, 基于多元回归模型着重分析耕地及建设用地的动态变化特征及其驱动力。研究嵩县的城镇扩展特征及规律, 探寻与经济发展及人口因子之间的关系, 对于引导初级发展阶段中的城镇合理化用地规模和格局, 平衡土地利用结构提供有效的参考依据。

1 研究区概况

嵩县位于河南省西部, 东接汝阳、鲁山, 南邻南召、内乡, 西依栾川、洛宁, 北与宜阳、伊川接壤, 地理位置为 33°35'~34°21'N, 111°24'~112°22'E。东西最宽处约 62 km, 南北长约 86 km, 总面积为 3 007.9 km², 是一个以山地为主的县域城市。山地面积较多, 平原丘陵面积较少且大部分集中在北部, 林地面积超过 60%。各乡镇中心建成时间短, 到 2013 年止, 全县一共 9 个镇 7 个乡 386 个行政村, 城市化水平不超过 5%, 是一个处在初级发展阶段的城镇。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源收集

遥感影像选取 1987 年 7 月专题制图仪 TM(thematic mapper), 1996 年 5 月 TM, 2004 年 5 月地球观测卫星 SPOT5, 2013 年 5 月 ZY-3 卫星及陆地卫星 Landsat 8 数据共 4 期数据, 分别间隔 9, 8 和 9 a, 基本满足等年距要求。辅助数据应用嵩县提供的 1993-2008 年 MAPGIS 地形图数据, 2009 年二类调查土地利用现状数据, 2010 年城区范围为 5 m 精度, 山区 10 m 精度的数字高程模型(DEM)数据。文档资料包括 1987, 1990-2010 年间的年鉴统计数据。

2.2 研究方法

2.2.1 遥感图像预处理 以 2004 年的 SPOT5 的 2.5 m 正射影像图为基准图, 采用回归分析的方法对影像做大气校正并采用二项式方法对遥感影像进行几何校正, 直至控制点的平均误差小于 0.5 个像素才输出最终校正结果图。研究中选取了多源多时相的遥感数据, 因此存在空间分辨率不一致的问题。在做处理时, 对 TM 遥感数据空间插值重复采样 2 次(1 次提高 1 倍)将图像分辨率提高至 7.5 m 效果最佳, 再利用同一期 TM 较好的光谱分辨率与较高空间分辨率的遥感数据进行融合, 从而得到光谱和空间分辨率均较好的遥感图像。

2.2.2 土地利用分类 对遥感影像数据进行分类是获得具体的土地利用变化信息必不可少的一步^[12-14],

根据 GB/T 21010-2007《土地利用现状分类标准》，并结合嵩县实际情况，将研究区分成居民地、道路、耕地、林地、草地、水域、滩涂、未利用地等共 8 个地物类型。充分分析现有数据，将 DEM 图高程信息及相关地形图作为辅助解译，利用 ERDAS 软件对其进行初步分类；2013 年采取多分类器集成的方法进行地类信息提取；2004 年的 SPOT5E 采用面向对象图像分割进行分类；1987 年及 1996 年 TM 影像采用支持向量机分类，后期结合人工目视解译做修改，以野外调查及高分辨率图像对照进行检验，在精度检验时，对每个地类选取不少于 40 个的随机点，与 Google Earth 地图及地面调查结果图进行一一对照，以保证判读结果的精度。经统计，各期土地利用类型精度均在 80% 以上。以此得到 1987, 1996, 2004 及 2013 年共 4 期土地利用现状数据，精度评价表如表 1 所示。由表 1 可知：本研究所提取的各时期土地利用分类结果精度均在 86% 以上，Kappa 系数为 0.80 以上，分类结果具有一定的可靠性。总体而言，能满足县域土地利用动态监测对数据处理的要求。最终获得的面积统计和分类现状图如表 2 和图 1 所示。

表 1 1987-2013 年土地利用分类精度评价

Table 1 Land use classification accuracy evaluation table in 1987-2013

年份	参考像元	被分类像元	正确分类像元	生产者精度/%	用户精度/%	Kappa 系数
1987	1 244	1 198	1 070	86.10	89.23	0.83
1996	1 267	1 237	1 087	88.79	87.87	0.82
2004	1 267	1 256	1 093	86.27	87.02	0.82
2013	1 216	1 171	1 042	82.75	86.58	0.85
合计	4 994	4 862	4 292	87.10		0.83

表 2 1987-2013 年间各土地利用类型面积及所占百分比

Table 2 Land use types area and the percentage in 1987-2013

年份	各土地利用类型面积/km ²							
	居民地	道路	耕地	林地	草地	水域	滩涂	未利用地
1987	32.181 7 (107)	1.609 2 (0.05)	989.199 7 (32.89)	1 714.896 7 (57.01)	106.609 2 (3.54)	29.272 8 (0.97)	62.531 2 (2.08)	71.58 8 (2.38)
1996	89.048 8 (2.97)	7.156 5 (0.24)	733.346 5 (24.38)	1 948.062 7 (64.77)	82.247 7 (2.73)	39.864 5 (1.33)	64.872 9 (2.16)	43.048 8 (1.43)
2004	111.657 0 (3.71)	7.893 6 (0.26)	732.500 3 (24.35)	1 872.512 4 (62.25)	153.619 3 (5.11)	46.677 5 (1.55)	52.299 9 (1.74)	30.713 1 (1.02)
2013	117.873 8 (3.92)	10.709 8 (0.36)	703.376 6 (23.38)	1 960.951 3 (65.19)	98.884 3 (3.29)	44.427 8 (1.48)	48.711 5 (1.62)	22.953 3 (0.76)

说明：括号内为各土地类型所占百分比(%)。

2.2.3 动态信息提取 动态信息提取采用分类后提取与直接比较相结合的方法来进行提取。分类后提取动态是利用前后 2 期分类数据相减，生成变化图确定变化发生的位置。直接比较法是利用同一位置不同地物在融合后与正常地物的光谱表现出明显的差别，以此可勾绘出变化信息区域，进而生成一个变化模板，用以确定变化图斑的范围，去掉伪变化，此次选择了光谱特征变异法来生成变化模板。利用比较法得到的变化模板对分类后提取的变化信息图像进行检查和修改。根据变化属性分别赋予编码，如前一期地类为居民地，变化为耕地，则编码“12”，表示此图斑由地类“1”变成地类“2”。最后对动态图斑加以定性与集成，每 2 期现状分类数据对比分析得出一期动态变化数据，土地利用变化信息提取的最终结果如图 2 所示。以 4 期土地利用现状分类数据为基础，通过数学模型计算出 4 期土地利用程度值与 3 期综合动态度。采用空间叠置方法来计算相邻 2 期数据间的土地利用转移概率矩阵，分析土地利用类型相互之间的流向，研究土地利用的变动特点，进而利用多元回归模型研究主要地物类型变化的驱动力分析。

3 动态扩展结果分析

3.1 土地利用程度

研究区的数据以行政村为区划单位，计算各村的土地利用程度值，反映不同行政村的土地利用程度

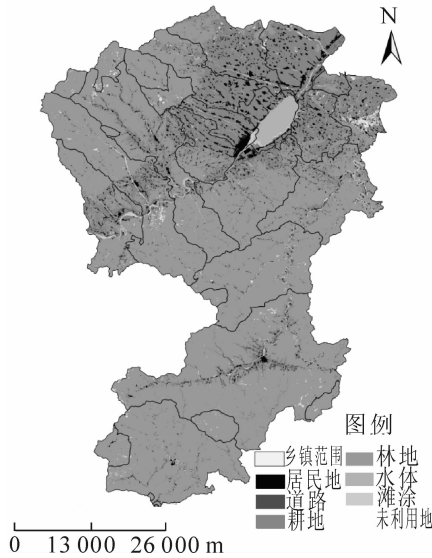


图 1 2013 年嵩县土地利用现状分类图
Figure 1 Land use status of Song County in 2013

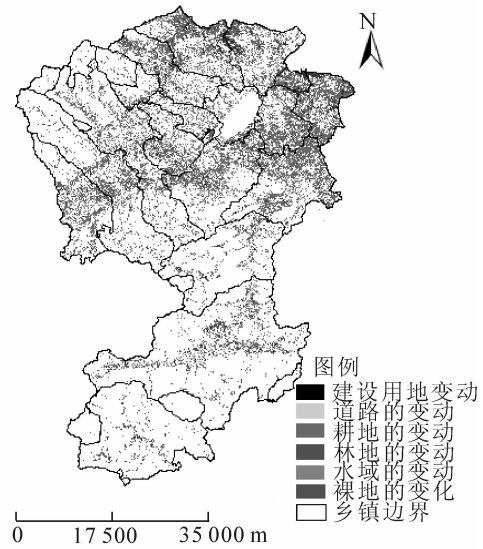


图 2 1987-1996 年土地利用动态变化图
Figure 2 Dynamic change of land use in 1987-1996

的差异性，突出重点变化区域。土地利用程度计算表达式为 $L_a = \sum_i^n (A_i \times C_i) \times 100$ 。 L_a 表示土地利用程度值， A_i 为第 i 级土地利用程度分级数，土地利用分级指数如表 3 所示； C_i 为第 i 级的土地利用程度所占区划单位的面积的百分比。依据公式计算出来的 4 期土地利用程度值按小到大的顺序分为 5 个等级，等级越高表示土地利用强度越大。

表 3 土地利用程度分级及赋值

Table 3 Land use degree index

分级类型	土地利用类型	分级指数	分级类型	土地利用类型	分级指数
未利用土地级	未利用地及其他	1	农村聚落用土地级	耕地	4
粗放利用土地级	水域、滩涂	2	城镇聚落用土地级	城镇居民地、道路	5
集约用土地级	林地、草地	3			

从图 3 可以看出：嵩县各行政村在不同时期土地利用程度值呈现不同的分布。总体上北部较高等级的土地利用程度区域明显扩大，而南部村落土地利用强度等级变化较小，个别村甚至呈下降趋势。影响嵩县土地利用程度的区域主要集中在北部，北部的城镇扩展速度也相对较高。土地利用程度的变化幅度最大为第 5 级，集中在北部平原丘陵区域。其他土地利用程度等级覆盖区域呈下降趋势。

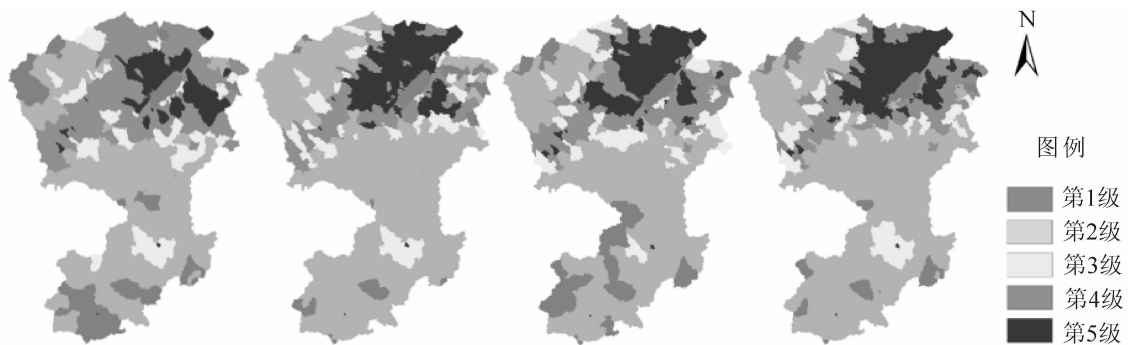


图 3 1987, 1996, 2004, 2013 年土地利用程度分级图
Figure 3 Land use degree classification in 1987, 1996, 2004, 2013

3.2 综合土地利用动态度

将研究区域分成 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的数个小栅格作为最小计量单元，每个单元内的动态变化面积及各

地类之间的转换方式等信息逐一被记录, 以此计算各单元内的综合土地利用动态度值, 刻画出不同空间尺度上土地利用变化速率的区域差异^[15-16]。综合土地利用动态度的数学表达式为 $L_c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta L_{U_i-j}}{L_{U_i}} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\%$ 。其中: L_c 为 T 时间段内研究区的土地利用变化速率, L_{U_i} 为初始时间点第 i 类土地利用类型总面积, ΔL_{U_i-j} 为监测时段内第 i 类土地利用类型转为其他土地利用类型面积, T 为研究时段长度。依据计算得出 3 期的综合土地利用动态度值均为 0~1, 其值按 0~0.01(基本无变动区), 0.01~0.05(变化缓慢区), 0.05~0.10(变化中等区), 0.10~0.20(变化快速区), 0.20~1.00(变化极快区) 分为 5 个等级的土地利用动态度区划值, 如图 4 所示。其意在刻画不同空间尺度土地利用动态变化速率的区域差异, 等级越高说明动态变化的速度越快, 土地利用类型之间的演变越剧烈。

图 4 表明: 热点变化等级较高的区划单元大量分布在平原和丘陵地带, 并落于建设用地和耕地所在区域。叠置计算得出第 1 期动态中建设用地和耕地分别有 46%, 69% 的区域分布在综合土地利用动态变化第 4 级与第 5 级所在区; 第 2 期为 39%, 46%; 第 3 期为 33%, 59%。建设用地和耕地分布在第 4 与第 5 级的总面积占嵩县总面积的 18.9%, 第 2, 3 期数据分别为 17%, 20%。因此也可以明确建设用地和耕地是嵩县变化最剧烈的 2 个土地利用类型。变化区域仍以北部为主, 第 1 期动态变化中建设用地尤为剧烈, 第 2, 3 期中建设用地增加速度较第 1 期变慢, 南部在第 2 期动态中由低等级向高等级转化区域增加, 集中在车村镇中心以及白云山旅游建设区。

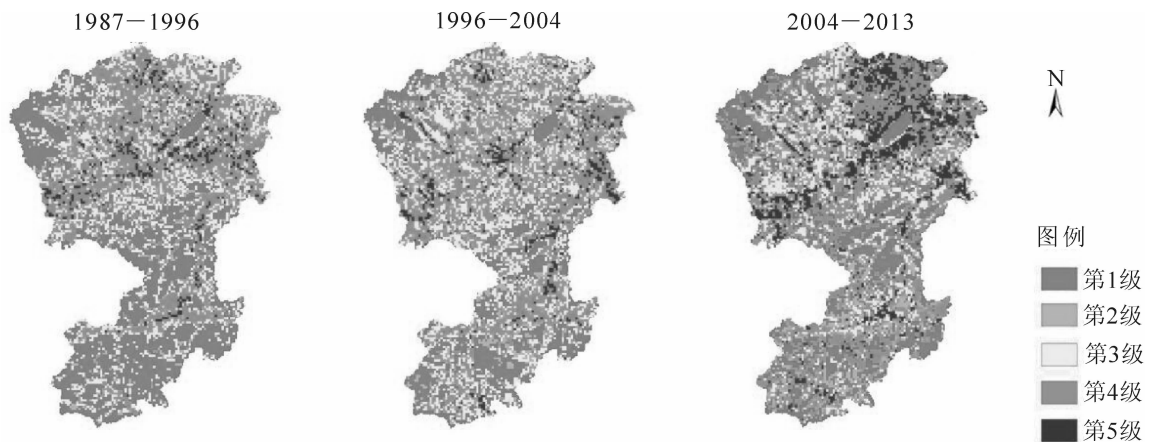


图 4 3 期综合土地利用动态度分级图

Figure 4 Comprehensive land use dynamic degree classification chart

3.3 土地利用类型相互之间的流向

通过 ARCGIS 中的相交运算计算每 2 期数据之间的土地利用类型的转移概率矩阵, 能够清晰地反映各土地利用类型互相之间转化, 揭示土地利用格局的时空演变的量化过程。其数学模型为:

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

其中: P_{ij} 为研究期初第 i 类土地利用类型转变为研究期末第 j 类土地利用类型的面积。 P_{ii} 表示第 i 类土地没有变化的面积比率。表 4~表 6 是通过模型计算出来的各期土地利用转移概率矩阵结果。

从表 4~表 6 可以看出: 耕地的流出方向主要为林地、居民地与草地。耕地到林地第 1 期的转化量最大为 30%, 经历了先增后减的过程, 其次耕地到居民地的转化前 2 期动态变化中区别不大, 分别为 4.66% 和 4.48%, 第 3 期降为 1.03%, 2004 年因国家退耕还林措施的实施, 林地中经济林的增加, 也致使耕地到林地转化量变大。耕地的流入主要是林地、草地、滩涂与未利用地。林地向耕地的流入量小于 8%, 相对流出量少很多。草地与林地的依存关系较大, 对耕地的补充有一定积极作用。滩涂与未利用地则对耕地贡献量处于增加的趋势。

表 4 1987–1996 年各土地利用类型转移概率矩阵

Table 4 Transfer probability matrix of land use types in 1987–1996

土地利用类型	土地利用类型转移概率/%							
	居民地	道路	耕地	林地	草地	水域	滩涂	裸地
居民地	<u>65.72</u>	0.41	21.11	9.09	0.00	0.10	2.24	1.32
道路	27.53	<u>71.59</u>	0.72	0.12	0.00	0.01	0.03	0.00
耕地	4.66	0.35	<u>59.36</u>	30.36	0.01	0.17	1.82	3.28
林地	0.77	0.08	4.78	<u>93.93</u>	0.03	0.01	0.31	0.10
草地	5.43	0.00	15.39	2.12	<u>76.67</u>	0.02	0.35	0.01
水域	0.24	0.06	0.30	0.66	0.00	<u>93.70</u>	4.94	0.10
滩涂	0.02	1.11	12.92	10.76	0.00	15.68	<u>56.65</u>	1.28
裸地	2.07	0.54	45.84	34.82	0.01	0.93	5.09	<u>10.69</u>

表 5 1996–2004 年各土地利用类型转移概率矩阵

Table 5 Transfer probability matrix of land use types in 1996–2004

土地利用类型	土地利用类型转移概率/%							
	居民地	道路	耕地	林地	草地	水域	滩涂	裸地
居民地	<u>67.83</u>	1.35	17.49	10.12	1.48	0.34	0.99	0.40
道路	1.26	<u>86.35</u>	5.69	1.90	1.32	0.09	3.32	0.08
耕地	4.48	0.04	<u>71.52</u>	18.15	4.29	0.13	1.02	0.37
林地	0.66	0.00	7.63	<u>84.95</u>	5.11	0.06	0.39	1.20
草地	1.22	0.13	7.72	72.35	<u>17.82</u>	0.13	0.52	0.11
水域	0.19	0.00	2.03	1.98	0.71	<u>84.71</u>	10.36	0.01
滩涂	4.34	0.18	18.47	10.33	2.69	15.64	<u>48.22</u>	0.13
裸地	3.11	0.00	56.32	19.43	10.64	0.42	0.58	<u>9.49</u>

表 6 2004–2013 年各土地利用类型转移概率矩阵

Table 6 Transfer probability matrix of land use types in 2004–2013

土地利用类型	土地利用类型转移概率/%							
	居民地	道路	耕地	林地	草地	水域	滩涂	裸地
居民地	<u>95.32</u>	0.06	2.97	1.43	0.05	0.02	0.02	0.13
道路	17.82	<u>76.14</u>	3.63	1.15	0.35	0.04	0.83	0.04
耕地	1.03	0.34	<u>75.80</u>	22.08	0.08	0.06	0.04	0.58
林地	0.07	0.05	5.61	<u>93.97</u>	0.04	0.04	0.01	0.20
草地	0.22	0.25	21.07	14.77	<u>63.10</u>	0.11	0.02	0.46
水域	0.28	0.14	1.45	0.98	0.04	<u>87.75</u>	9.33	0.02
滩涂	0.82	1.31	7.52	2.34	0.03	4.07	<u>83.76</u>	0.16
裸地	1.00	0.10	7.97	44.19	1.38	0.00	0.01	<u>45.35</u>

居民地的分布受地形影响较大，主要分布在平原和丘陵地带，1987–1996 年间增长率达 177%，是 8 个地类中涨幅最大的类型，其扩展侵占的主要是耕地、草地和未利用地。1996–2004 年期间增长速度逐渐放缓，增加率为 25%，2004–2013 年增长则只有 5%。究其原因是嵩县特殊的地形情况下，适合建造居民地的平原及丘陵面积有限，到 2004 年平原地区的开发利用基本达饱和状态，可用来做居地用地的土地已不多，2004 年后除去新农村的建设开垦大片的新土地外，其他增加的居民地大部分是在原有建设用地的周边进行扩建，很少再新开发大片的土地用做居民地，因而扩展速度有所减缓。

林地主要转化方向是为耕地和草地，变动速率亦是先增后减；滩涂与水域相互转化量较大，其次滩涂转化为耕地比率占 11.74%；裸地则主要转化为林地和耕地类型。其中有些不合理的转化如滩涂及水域到居民地的转化，则是因为前期分类错误造成的，但由于占比较小在此可忽略不计。

4 主要土地利用类型扩展的驱动力分析

根据嵩县各类用地的变化和转移量,认为用量较大的土地利用类型主要有耕地(y_1)和建设用地(y_2)。结合嵩县发展情况和统计数据,选取1987–2013年的经济发展指标:国内生产总值(GDP, x_1),第一产业(x_2),第二产业(x_3),第三产业(x_4),人均GDP(x_5)。人口变化指标:总人口数量(x_6)。居民消费水平指标:农村居民消费(x_7),城镇居民消费(x_8),政府消费支出(x_9),资本形成总额(x_{10})作为自变量。以居民用地(y_1),耕地(y_2)作为因变量,建立多元线性回归模型。以 y_1 和 y_2 分别作为因变量时,引入的参数过多会增加分析的复杂性,且部分因子之间的相关性较强,因此有必要对自变量进行筛选,此处采用R语言对其进行逐步回归法处理,当变量为 x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 时 y_1 的回归模型拟合度最高,值为0.995 3。 y_2 为因变量时,最优回归变量为 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}$,拟合优度为0.884,标准化后的回归模型中偏回归系数最大的对模型的影响最显著,系数的正负决定影响方向。各因子的相关系数如表7所示。

表7 各因子之间的相关性

Table 7 Correlation between the various factors

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	y_2	y_1
x_1	1											
x_2	0.988	1										
x_3	0.994	0.966	1									
x_4	0.997	0.991	0.985	1								
x_5	0.999	0.986	0.995	0.996	1							
x_6	0.878	0.888	0.852	0.897	0.874	1						
x_7	0.932	0.955	0.897	0.952	0.928	0.950	1					
x_8	0.997	0.979	0.996	0.990	0.997	0.860	0.914	1				
x_9	0.998	0.986	0.990	0.999	0.998	0.890	0.943	0.992	1			
x_{10}	0.957	0.904	0.979	0.945	0.959	0.795	0.823	0.965	0.953	1		
y_2	0.499	0.534	0.479	0.490	0.497	0.178	0.385	0.499	0.483	0.427	1	
y_1	0.678	0.734	0.618	0.718	0.670	0.9138	0.884	0.645	0.700	0.518	0.071	1

表8为主要用地类型的多元回归模型,居民用地扩展呈增长模式,其中 x_7, x_5 及 x_6 对其扩展影响最为显著, x_3 及 x_4 对其呈反向影响关系。模型中对耕地的增加有显著影响的因子依次为 x_3, x_4 及 x_1 ;对耕地有反向驱动因子依次为 $x_5, x_1, x_9, x_{10}, x_6$ 及 x_7 。表8的回归模型分析主要得出,影响居民用地扩展的驱动因子主要为农村居民消费水平、人口因素及人均GDP,第二产业及第三产业对其有反向影响。耕地的整体走势是不断减少的,而耕地的减少驱动因子主要为GDP人均值及总值、政府消费支出、资本形成总额几个因子,其次为人口数量及农村居民消费水平因子;耕地增加则主要依赖于工业、服务业及农业的发展。

表8 各土地利用类型多元回归模型

Table 8 Multiple regression models of land use types

地类	多元回归模型	R^2	F	P
居民用地	$y_1 = -2.31x_3 - 0.436x_4 + 0.83x_5 + 0.78x_6 + 0.95x_7$	0.995 3	9.800	2.2×10^{-16}
耕地	$y_2 = -25.0x_1 + 11.0x_2 + 38.7x_3 + 29.5x_4 - 35.0x_5 - 1.73x_6 - 1.22x_7 - 9.0x_9 - 6.0x_{10}$	0.884 0	9.124	2.2×10^{-4}

5 总结与讨论

城市的扩展变化是人类活动与自然环境最直接的表现形式,而土地利用变化格局表征了人—地关系在不同地域空间上的作用强度与作用模式。应用多期多源遥感影像和专题图的叠置及空间分析,获取嵩县1987–2013年之间变化数据,在此基础上对嵩县近26 a以来的城镇扩展动态变化特征进行了分析和研究,得出如下结论:①类似于嵩县这样的山地城市,地形对其城市化发展格局具有较大的约束作用,

扩展较快的区域相对集中在平原与丘陵地带。最主要的土地利用变化类型且变化面积最大的为耕地减少了 286 km², 林地增加了 246 km², 建设用地增加了 86 km²。转化比率最高的是未利用地与草地, 其转化方向主要为耕地与林地。②嵩县的发展模式由耕地的开垦、建设用地的增加为主要发展态势逐渐转变为开发与生态并重的模式, 这也是后期耕地减少的速度变缓, 居民用地增加速度变慢的重要原因。驱动力分析结果表明: 农村居民消费水平、人口数量及经济发展直接影响着居民用地的扩展, 而耕地减少的主要是因为经济增长、人口增加转而变成对耕地的需求量增加。③从嵩县城镇的分布区域和扩展速度来看仍属粗放型发展, 集约度低、规划性差, 且土地利用潜力较小, 而经济和人口的持续增长迫使有效解决这种矛盾成为嵩县城市发展的首要问题。

城镇的发展、土地的利用与变化由众多因素决定, 且嵩县地形复杂, 分类精度还需进一步提高。县域城镇统计数据收集较困难, 本研究虽从不同角度研究且选取了经济水平、人口因子及消费支出等因子对嵩县主要地类的扩展进行了驱动力分析, 但仍然有一定局限, 后期还需要做进一步的深入研究与探讨。

6 参考文献

- [1] BAI Liping, WANG Yeyao, SUN Jiali. Application of extension theory in risk zoning of debris flow in Beijing [J]. *Glob Geol*, 2009, **12**(1): 40 – 45.
- [2] 李琳. 基于 GIS_RS 技术的厦门同安区土地利用变化研究[J]. 测绘空间地理信息学报, 2014, **37**(12): 110 – 112.
LI Lin. Research on land use changes at Tongan Area, Xiamen City by GIS and RS technology [J]. *Geoma Inf Technol*, 2014, **37**(12): 110 – 112.
- [3] 王剑, 徐美. 基于马尔柯夫模型的漾濞江流域土地利用变化预测[J]. 水土保持研究, 2011, **18**(5): 91 – 95.
WANG Jian, XU Mei. Prediction of land use change in Yangbiji river basin based on the Markov model [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2011, **18**(5): 91 – 95.
- [4] 解修平, 周杰, 张海龙, 等. 关中一天水经济区土地利用变化模拟预测及景观格局动态变化[J]. 干旱区地理, 2013, **36**(3): 482 – 490.
XIE Xiuping, ZHOU Jie, ZHANG Hailong, et al. Land use change simulation and landscape pattern change of the Guanzhong-Tianshui Region [J]. *Arid Land Geogr*, 2013, **36**(3): 482 – 490.
- [5] 杨俊, 解鹏, 席建超, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟: 以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报, 2015, **70**(3): 461 – 475.
YANG Jun, XIE Peng, XI Jianchao, et al. LUCC simulation based on the cellular automata simulation: a case study of Dalian economic and technological development zone [J]. *Acta Geogr Sin*, 2015, **70**(3): 461 – 475.
- [6] 张乐勤, 陈素平, 王文琴, 等. 快速城镇化背景下建设用地扩展驱动力研究述评与展望[J]. 干旱区地理, 2013, **36**(1): 164 – 175.
ZHANG Leqin, CHEN Suping, WANG Wenqin, et al. Review and prospect on driving force research of construction expansion in the context of rapid urbanization [J]. *Arid Land Geogr*, 2013, **36**(1): 164 – 175.
- [7] 施益强, 吴志强. 近 20 年厦门市土地利用动态变化及预测[J]. 水土保持通报, 2014, **34**(5): 176 – 186.
SHI Yiqiang, WU Zhiqiang. Dynamic changes and prediction land use in Xiamen City in recent 20 years [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2014, **34**(5): 176 – 186.
- [8] 于龙, 周宇峰, 丁丽霞, 等. 基于波谱角分类的土地利用动态监测[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(3): 386 – 393.
YU Long, ZHOU Yufeng, DING Lixia, et al. Dynamic monitoring of land-use classification based on spectral angle mapping (SAM) [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(3): 386 – 393.
- [9] 王茜, 林钰源, 宋金平, 等. 北京城市边缘区建设用地扩展分析: 以大兴区为例[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2014, **50**(1): 83 – 88.
WANG Xi, LIN Yuyuan, SONG Jinping, et al. On built-up area expansion in the urban fringe of Beijing: a case study of Daxing District [J]. *J Beijing Norm Univ Nat Sci*, 2014, **50**(1): 83 – 88.
- [10] 樊亚鹏, 徐涵秋, 李乐, 等. 广州市城市扩展及其城市热岛效应分析[J]. 遥感信息, 2014, **29**(1): 23 – 29.
FAN Yapeng, XU Hanqiu, LI Le, et al. Analysis of urban expansion and urban heat island effect in Guangzhou City

- [J]. *Remote Sens Inf*, 2014, **29**(1): 23 – 29.
- [11] 刘云中. 我国县级城市的发展模式研究[J]. 重庆理工大学学报: 社会科学版, 2014, **28**(3): 1 – 6.
LIU Yunzhong. Developing mode of China's county-level cities [J]. *J Chongqing Univ Inst Technol Soc Sci*, 2014, **28**(3): 1 – 6.
- [12] 肖琳, 田光进. 天津城市扩展空间模式与驱动机制研究[J]. 资源科学学报, 2014, **36**(7): 1237 – 1335.
XIAO Lin, TIAN Guangjin. Study on spatial modes and driving mechanisms of Tianjin's urban expansion [J]. *Resour Sci*, 2014, **36**(7): 1327 – 1335.
- [13] 郑凯迪, 徐新良, 张学霞, 等. 上海市城市空间扩展时空特征与预测分析[J]. 地球信息科学学报, 2012, **14**(4): 490 – 496.
ZHENG Kaidi, XU Xinliang, ZHANG Xuexia, *et al.* Spatial-temporal characteristics and future prediction of urban expansion in Shanghai [J]. *J Geo-Inf Sci*, 2012, **14**(4): 490 – 496.
- [14] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析[J]. 地理学报, 2001, **56**(4): 417 – 425.
LONG Hualou, LI Xiubin. Land use pattern in transect of the Yangtse River and its influential factors [J]. *Acta Geogr Sin*, 2001, **56**(4): 417 – 425.
- [15] 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**(3): 3 – 14.
LIU Jiyuan, KUANG Wenhui, ZHANG Zengxiang, *et al.* Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use change in China since the late 1980s [J]. *Acta Geogr Sin*, 2014, **69**(3): 3 – 14.
- [16] 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 Jiyuan, ZHANG Zengxiang, XU Xinliang, *et al.* Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century [J]. *Acta Geogr Sin*, 2009, **64**(12): 1411 – 1420.