

基于遥感影像的上海市土地覆被变化及驱动力分析

杨丽君

(上海市地质调查研究院, 上海市国土资源调查研究院, 上海 200072)

[摘要] 首先, 通过对 2006、2010 和 2015 年的遥感影像解译, 得到 2006—2015 年上海市的土地覆被情况。接着, 结合土地覆被变化模型的若干个指标来分析土地覆被变化的时空特征, 并对结果进行定量分析。最后, 以耕地为例探究影响研究上海市土地覆被变化的驱动力。

[关键词] 遥感; 土地覆被变化; 驱动力分析; 主成分分析

[中图分类号] P 231

Analysis of Land Cover Change and Driving Forces in Shanghai Based on Remote Sensing Image

YANG Lijun

(Shanghai Institute of Geological Survey & Shanghai Institute of Land Resources Survey, Shanghai 200072, China)

Abstract: Through the interpretation of remote sensing images in 2006, 2010 and 2015, the land cover of Shanghai in 2006 – 2015 was obtained. Based on the index of land cover change model, the temporal and spatial characteristics of land cover change and the quantitative analysis of the results were analyzed. The impact of land use as an example was taken to study the land cover change and driving force in the area.

Keywords: RS; land cover change; driving force analysis; principal component analysis

0 引言

自 20 世纪 90 年代以来, 全球环境变化研究领域逐渐加强了对土地利用/覆被变化 (land use and cover change, LUCC) 的研究。继“国际地圈与生物圈计划”和“全球环境变化人文计划”后, 1995 年发起了“土地利用/覆被变化”研究计划^[1], 2005 年又发布“全球土地计划”, 以深化地球系统演化背景下人类—陆地环境系统的研究^[2]。我国的 LUCC 研究也已进行几十年, 开展了一系列如土地利用变化监测、驱动力、变化趋势预测等方面的研究, 研究对象集中于全国^[3]、流域或区域^[4-7]、城市^[8-12]三个空间尺度, 为如何规划、利用和节约有限的土地资源提供理论依据。

近 30 年来, 上海城市规划建设和土地覆被格局都发生了翻天覆地的变化, 其中土地规划和利用的问题不可小觑。国内学者对该地区的土地利用变化及其驱动力开展了一定的研究, 并获得了一些成果。史利江等^[10]运用航空影像人机交互目视解译方法结合 GIS 分析、数理统计方法分析了 1994—2006 年上海市土地利用的时空变化特征, 以及人口、经济等因素对土地利用格局的影响。缪丽娟等^[11]利用 C5 决策树分类方法提取遥感影像分类图, 揭示了 1990—2008 年北京、上海城市用地格局变化的空间规律及异同点, 并从人口、产业结构角度对城市化驱动机制进行了分析。李永浮等^[12]采

用地类转换矩阵法开展了浦东新区 2009—2014 年期间土地利用变化特征，并从城市人口、核心功能等方面分析浦东土地利用变化的影响因素。

在当前国家全面推进建立国土空间规划体系并监督实施的新形势下，根据上海市城市总体规划（2017—2035 年）^[13]，在严格控制城市规模的大背景下，必须坚持节约和集约利用土地，实现紧约束下的睿智发展。因此，深入开展土地覆被变化研究及驱动力分析对有效提高土地覆被利用效率，促进上海城市开发边界内空间紧凑集约，切实实现规划目标具有积极的现实意义。

1 数据来源及处理

1.1 数据来源

本文选取 2006、2010 与 2015 年三期的 Landsat 遥感（RS）影像数据对 2006—2015 年间上海市土地覆被类型的变化进行探究，数据来自地理空间数据云（<http://www.gscloud.cn/>），具体参数见表 1。

表 1 影像详细信息表
Tab.1 Details of images

年份及条带号 Year and strip No.	2006		2010		2015	
	128,38	128,39	128,38	128,39	128,38	128,39
时间 Time	2006/04	2006/04	2010/12	2010/12	2015/08	2015/08
云量 Cloud cover	0	0	0.35	0.10	0.33	0.50
数据源 Data source	Landsat5	Landsat5	Landsat7	Landsat7	Landsat8	Landsat8

1.2 数据处理

本文以 ENVI4.7 软件作为数据处理平台，遵循遥感影像处理的常规步骤，对数据进行了预处理、几何纠正、图像增强、图像融合及镶嵌等相关处理，因篇幅原因只阐述以下对信息提取比较关键的两点：

1) 大气校正 利用 FLAASH 模块（Basic Tools – Preprocessing – Calibration Utilities – FLAASH）对三期影像进行大气校正，以降低云层和大气对影像光谱的影响，提高影像分类效果。尤其是 2010 年的 Landsat7 影像经过大气校正处理后，质量明显提升。

2) 彩色合成 选取三个波段组合作为 RGB 通道并进行叠加处理后获得彩色影像以进行彩色合成。经过多种组合的尝试，最终选择采用标准假彩色合成（432），效果比 743 组合要好，分类质量更优（见图 1）。

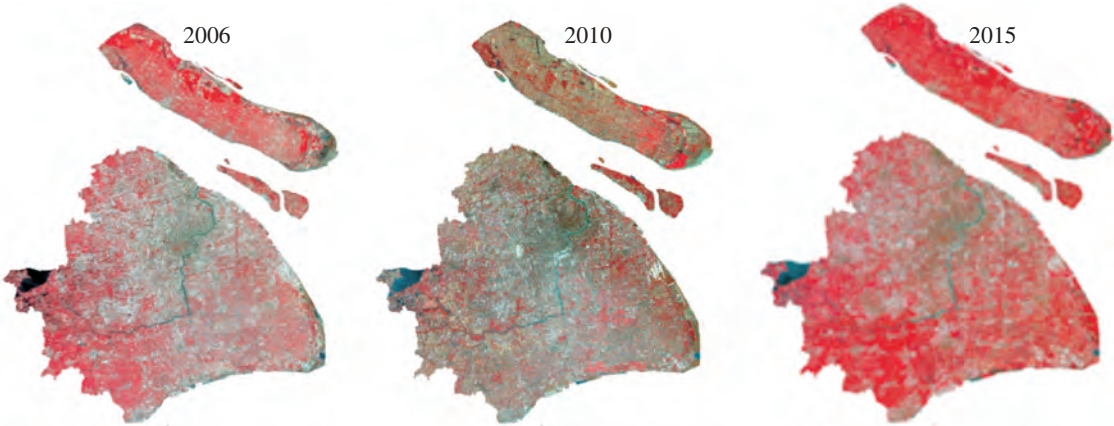


图 1 2006,2010 和 2015 年研究区域标准假彩色影像

Fig.1 Standard false color composite images of 2006,2010 and 2015

1.3 图像解译

目前学术界中主流遥感图像的地物分类主要有非监督分类及监督分类两种。本研究选取监督分类

的最大似然法作为基于传统统计分析学的代表，选取支持向量机作为模式辨别的代表来实现对地物进行分类。

1.3.1 类别判定

基于 Landsat 影像的最小分辨率及上海市区的土地覆被特征，本研究范围的土地覆被类型分为林地、耕地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。

确定分类规则后在 ENVI 软件上建立 ROI 选取多边形样本，选取后可计算出若干个样本的可分离程度。可分离程度参数的数值均小于 2，且参数越接近 2 即表明样本之间的可分离程度越高，样本选取质量越高，效果越好。一般情况下，大于 1.5 为及格样本。由 2006、2010 与 2015 年的 ROI 分离性报告（见图 2 ~ 图 4）看来，样本质量较佳。

1.3.2 精度验证

在 ENVI 4.7 软件中，可使用混淆矩阵及 ROC 曲线作为评价标准。本研究选取混淆矩阵进行精度验证。分类结果的混淆矩阵具有多个评估指标，如卡帕系数（Kappa）和总体分类精度（OA）。本研究选取这两个指标来对分类结果进行评估。Kappa 计算公式为：

$$K = (N \sum_k x_{kk} - \sum_k x_{k\Sigma} x_{\Sigma k}) / (N \times N - \sum_K x_{K\Sigma} x_{\Sigma k})。$$

通过对最大似然的分类成果评估得到 3 期图像的混淆矩阵，整理后得到最大似然法和支持向量机法 2006、2010 与 2015 年三期影像分类的总体精度和 Kappa 系数（见表 2）。Kappa 系数通常落在 0 ~ 1 之间，数值越高则表示一致性越高，即分类精度越高，0.81 ~ 1 表示可信度极高。

通过对比最大似然法与支持向量机法，从混淆矩阵的两个评估指标来看，最大似然法的精确性高于支持向量机法。原因可能是影像的分辨率一般，无法展示出支持向量机的真正效果。比较后选取最大似然法作为本研究的最终分类手段。

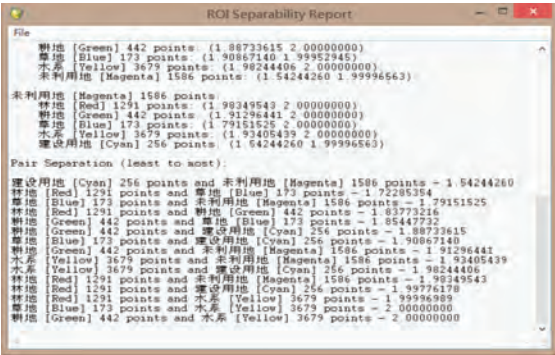


图 2 2006 年 ROI 分离性报告

Fig.2 ROI separability report in 2006



图 3 2010 年 ROI 分离性报告

Fig.3 ROI separability report in 2010



图 4 2015 年 ROI 分离性报告

Fig.4 ROI separability report in 2015

表 2 最大似然法和支持向量机法的总体精度和 Kappa 系数

Tab.2 Overall accuracy and Kappa coefficient of maximum likelihood and SVM method

方法 Method	指标 Index	2006	2010	2015
最大似然法 Maximum likelihood	总体分类精度 Overall accuracy	94.6415%	96.9019%	95.5236%
	Kappa 系数 Kappa coefficient	0.9490	0.9573	0.9754
支持向量机法 SVM method	总体分类精度 Overall accuracy	86.1527%	84.6415%	89.2011%
	Kappa 系数 Kappa coefficient	0.8584	0.8490	0.8217

2006、2010 及 2015 年研究区域分类结果见图 5。经过 ENVI4.7 软件分类后，三期的各类土地类型面积结果见表 3。

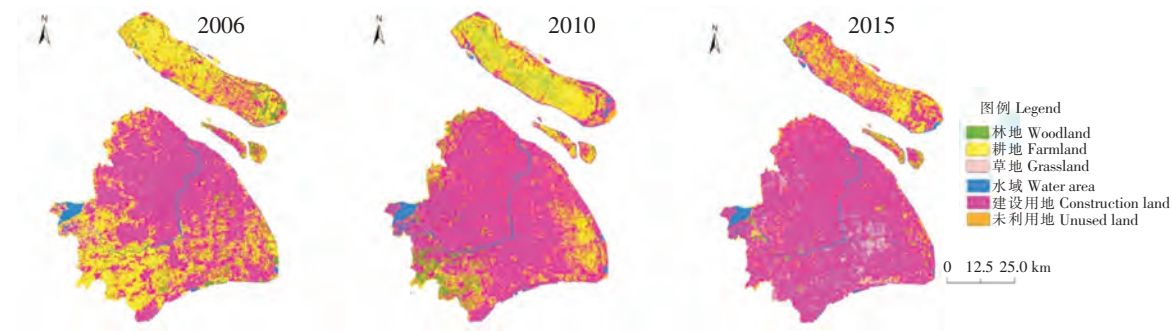


图 5 2006,2010 和 2015 年上海市土地覆被分布图
Fig.5 Shanghai land use distribution map in 2006,2010 and 2015

表 3 上海市土地覆被类型面积
Tab.3 Shanghai land use type area

	km ²					
年份 Year	林地 Woodland	耕地 Farmland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
2006	600.2	2412.0	104.9	168.3	3522.0	33.6
2010	540.7	1734.0	114.0	209.4	3897.0	346.5
2015	439.3	804.3	404.0	157.9	4542.0	494.2

2 结果分析

2.1 土地覆被变化分析

建立土地覆被变化模型可以清晰、直观地从定量分析的角度研究土地资源数量变化^[14]。

2.1.1 上海市土地覆被变化

1) 土地覆被动态模型

土地覆被动态模型可从定量分析角度清晰直观地研究土地资源数量变化^[15]。

①单一土地覆被动态可以反映出某个研究范围内一定时间段特定土地覆被利用类型的数目改变的具体状况^[3]，具体公式为： $K = (U_2 - U_1) / U_1 \times (1 / (t_2 - t_1)) \times 100\%$ ，其中： K 指单一土地覆被动态度的数值； U_1 、 U_2 分别是研究区域中两个时间节点特定某一种土地覆被类型的面积数值； t_1 、 t_2 分别为初期时间与末期时间。

利用 ENVI4.7 软件进行影像分类得到的 2006、2010 与 2015 年三年的各类土地覆被类型数据，整理后得到 2006—2015 年的单一覆被动态度（见表 4）。

表 4 2006—2015 年上海市单一土地覆被动态度
Tab.4 Shanghai single land use dynamic degrees from 2006 to 2015

年份 Year	林地 Woodland	耕地 Farmland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
2006—2010 From 2006 to 2010	-2.48%	-7.03%	2.17%	6.11%	2.66%	32.74%
2010—2015 From 2010 to 2015	-3.75%	-10.72%	50.88%	-4.92%	3.31%	8.53%
2006—2015 From 2006 to 2015	-2.98%	-7.41%	31.68%	-0.69%	3.22%	22.27%

②综合土地覆被动态度可从宏观角度研究特定地区内土地覆被利用类型变化的速率。综合土地覆被动态度的具体公式为： $C = (\sum_1^n \Delta U_{m-n} / \sum_1^n U_i) (1 / (t_2 - t_1)) \times 100\%$ ，其中： ΔU_{m-n} 为某一时间段内

第 m 种土地覆被类型转化第 n ($m \neq n$) 种土地覆被面积的绝对值, ΔU_m 为初期时间第 m 种土地覆被面积, t_1 、 t_2 即两个时间节点。

计算得出 2006—2015 年上海市综合土地覆被动态度, 2006—2010 年为 5.39%, 2010—2015 年为 6.33%, 2006—2015 年为 5.78%。

2) 转移矩阵分析

土地覆被转移矩阵可描述研究范围内不同覆被类型间的转移变迁情况。本文选取 ENVI4.7 软件生成转移矩阵, 通过将 2006、2010 与 2015 年上海土地覆被状况图进行空间叠加处理, 然后对叠置后的土地覆被变迁专题图进行计算分析, 得到土地转移矩阵, 从而得到上海市内 6 种土地覆被之间彼此转化的结果 (见表 5、表 6)。

表 5 2006—2010 年上海土地覆被转移矩阵
Tab. 5 Land use transition matrix from 2006 to 2010

km ²						
2006—2010 年 From 2006 to 2010	林地 Woodland	耕地 Farmland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
林 地 Woodland	61.95	123.40	0.32	18.77	368.00	27.85
耕 地 Farmland	337.10	976.80	112.60	14.49	927.80	43.53
草 地 Grassland	13.23	17.50	0.08	2.15	69.74	2.22
水 系 Water area	0.87	1.74	0.00	134.70	24.35	6.62
建设用地 Construction land	127.20	613.50	1.04	35.00	2492.00	252.30
未利用地 Unused land	0.34	0.77	0.00	4.24	14.27	13.99

表 6 2010—2015 年上海土地覆被转移矩阵
Tab. 6 Land use transition matrix from 2010 to 2015

km ²						
2010—2015 年 From 2010 to 2015	林地 Woodland	耕地 Farmland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
林 地 Woodland	85.09	8.06	52.68	0.23	313.20	80.95
耕 地 Farmland	270.60	488.40	2.90	0.44	836.00	133.80
草 地 Grassland	0.11	110.50	0.87	0.00	1.96	0.58
水 域 Water area	0.90	4.89	1.74	125.40	62.17	14.50
建设用地 Construction land	80.60	174.00	341.00	17.32	3080.00	206.30
未利用地 Unused land	2.04	18.43	4.86	14.49	248.60	58.10

整体上看: 2006—2015 年上海市林地与耕地面积都在逐渐萎缩减少; 草地面积小幅度上升后增长迅速; 水域面积增长后回落, 绝对数值变化并不是很大; 建设用地稳步上升; 未利用地的年增长率达到了 232.74%, 这种情况应该与 2010 年上海市举行世博会及浦东机场填海扩建等有关, 使得未利用地大幅度增加。而且, 从综合土地覆被动态度大小来看, 2006—2010 年为 5.39%, 低于 2010—2015 年的 6.33%, 说明世博会之后土地覆被变化要比之前更为剧烈。

从转移矩阵不难看出: 耕地的持续减少主要是因为转化成了林地和建设用地这两种土地覆被类型; 草地面积前期虽与其他土地类型交换很大但绝对数量不大, 后期草地增加主要由林地和建设用地转化而成; 建设用地的增长主要由林地、耕地及未利用地减少再改变利用方式形成的。

2.1.2 市辖区土地覆被变化

为方便研究, 本文将上海市的黄浦、徐汇、长宁、杨浦、虹口、普陀及静安这 7 个行政区合并为中心城区。通过土地覆被转移矩阵, 结合 2006、2010 与 2015 年三期土地覆被分布图, 能够得出 2006—2015 年 6 种土地覆被类型的变化图 (见图 6), 直观清楚地表现出特定 6 种土地覆被类型分布及增减情况:

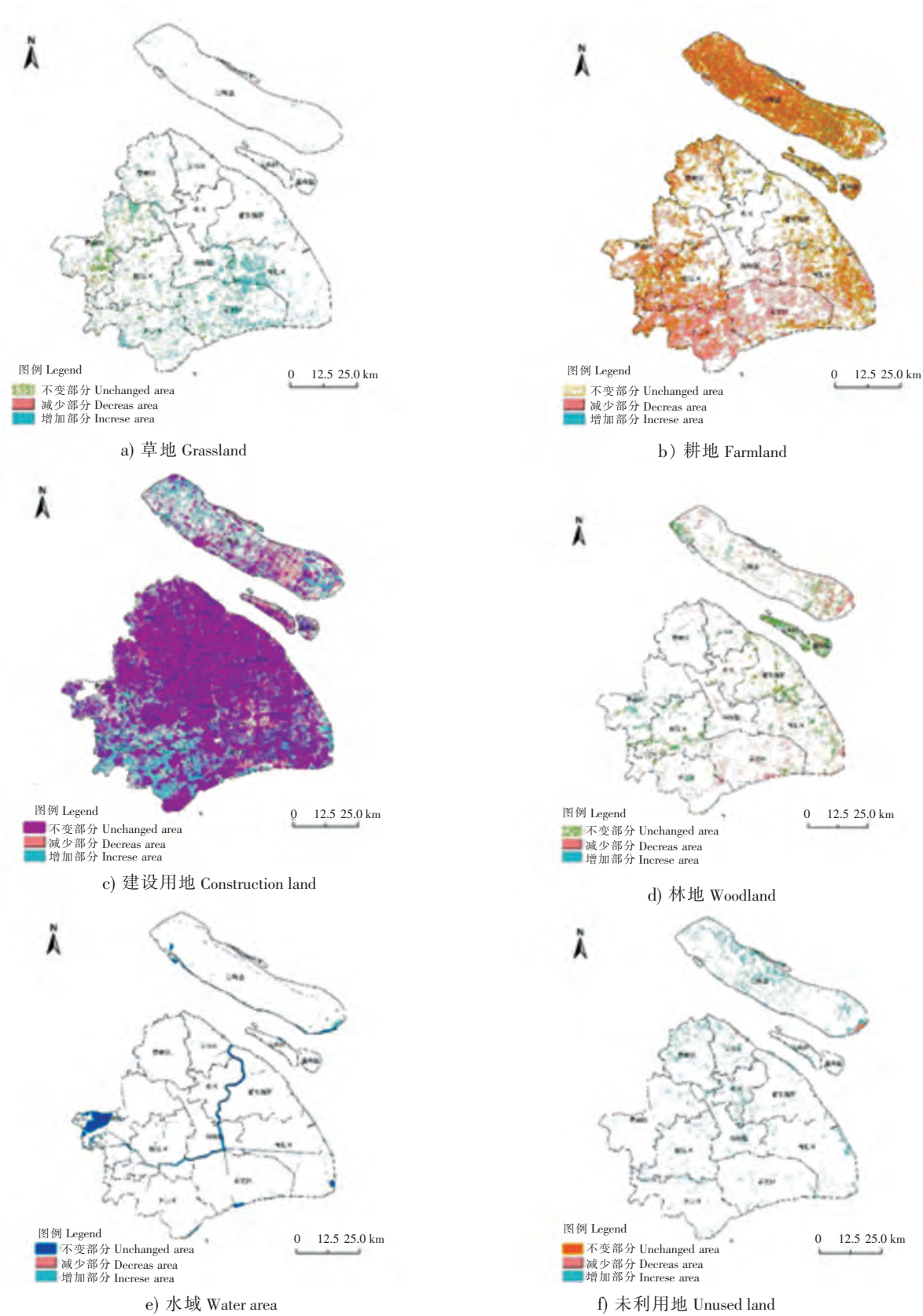


图 6 2006—2015 年上海市主要土地覆被类型的变化
Fig.6 Changes of main land use in Shanghai from 2006 to 2015

从草地变化来看，浦东新区、崇明县和中心城区的草地面积增幅不大，其他行政区均明显增加，且集中于闵行区及奉贤区一带，青浦区西北部的草地覆被有减少的迹象。

从耕地变化来看，新增耕地主要集中于崇明县，少数新增耕地分布于浦东新区及青浦区，其他郊区耕地都呈现出减少的态势，说明上海市对农业发展的依赖性和重视性降低。

从林地变化来看，2006 年林地主要集中分布于崇明县、奉贤区和浦东新区的边缘地带；2015 年，崇明县的林地面积较 2006 年略微下降；林地在城区、浦东新区和闵行区也呈现减少趋势；新增的林地集中分布于上海西部的青浦区和松江区。

建设用地变化方面，中心城区、浦东新区、闵行区、宝山区和嘉定区的建设用地变化幅度较小；崇明县建设用地增长的同时，其东南部建设用地有部分也转化为了耕地；其他行政区的建设用地也表现出不断增长的趋势。

新增的未利用地主要集中于崇明县，崇明县东南部的少量未利用地被加以改造成林地。其他行政区的未利用地也都呈现增长趋势，可能是为下一步的土地改造做准备。

2.2 驱动力分析

土地覆被利用类型的改变主要受自然地理、人类社会经济及土地覆被管理等因素的影响。在针对土地类型变动的驱动力作用研究中，较为主流和有效的定量分析方法为主成分分析法^[16]。主成分分析通过降维，将若干个参数转化为少数几个综合参数，可简单变量，使结果更科学有效^[17]。从 2006 年至 2015 年的土地覆被利用变动来看，耕地是其中变化最为明显的土地类型，所以本研究将以耕地为例，结合《上海统计年鉴》数据，对耕地变动的驱动因子进行定量分析研究。

经过综合考量，本研究利用 SPSS 22.0 软件将 2006—2015 年的数据作为样本，再从影响耕地利用变化的社会经济因子中选取了 15 个指标。首先对耕地及 15 个社会经济因子进行相关分析，结果见表 7，其中居民消费水平、房屋竣工的面积大小、第一产业产值比例和地方财政收入与支出都与耕地面积存在较为显著的相关关系，需使用主成分分析进一步探究。

表 7 耕地面积与 15 个社会经济因子相关分析表
Tab. 7 Correlation analysis between farmland area and other indexes

序号 No.	驱动力因子 Index	相关系数 Correlation coefficient	序号 No.	驱动力因子 Index	相关系数 Correlation coefficient
1	耕地面积 Farmland area	1.000	9	户籍人口期望寿命 Life expectancy of registered population	-0.498
2	征收拆迁户数 Number of household removed	0.457	10	户籍人口 Household registration population	-0.664
3	人口自然增长率 Natural population growth rate	-0.418	11	非农人口比例 Proportion of non-agricultural population	-0.350
4	农业总产值 Agricultural GDP	-0.312	12	房屋竣工面积 Area of buildings completed	-0.805
5	绿地覆盖率 Green coverage rate	-0.548	13	第一产业产值比例 Proportion of primary industry output	0.841
6	科技成果 Achievements in science and technology	-0.278	14	地区生产总值 Regional GDP	-0.715
7	居民消费水平 Consumption level of residents	-0.763	15	地方财政支出 Regional fiscal revenue	-0.854
8	建筑业总产值 Construction GDP	-0.660	16	地方财政收入 Regional fiscal expenditure	-0.863

由表 8 知，变量相关系数矩阵有两个特征值明显比 1 大，即 11.413 及 2.492，与之对应的第一、第二主成分的贡献率分别为 71.329% 和 15.577%，还有一个特征值略大于 1，即 1.003，贡献率为 6.268%。三个比 1 大的特征值所属的主成分累计贡献率达到了 93.173%，故利用前三个主成分可囊括绝大部分的有效信息^[18]。

表 8 耕地面积驱动力因子的主成分特征值和贡献率

Tab. 8 Principal component eigenvalue and contribution rate of farmland area driving factor

主成分 Principal component	起始特征值 Starting eigenvalue			主成分 Principal component	起始特征值 Starting eigenvalue		
	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%		特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	11.413	71.329	71.329	9	2.766×10^{-16}	1.729×10^{-15}	100
2	2.492	15.577	86.905	10	2.578×10^{-16}	1.611×10^{-15}	100
3	1.003	6.268	93.173	11	1.781×10^{-16}	1.113×10^{-15}	100
4	0.518	3.241	96.414	12	-1.048×10^{-17}	-6.550×10^{-17}	100
5	0.340	2.123	98.537	13	-2.534×10^{-16}	-1.584×10^{-15}	100
6	0.130	0.814	99.351	14	-3.033×10^{-16}	-1.895×10^{-15}	100
7	0.104	0.649	100	15	-3.783×10^{-16}	-2.364×10^{-15}	100
8	5.07×10^{-16}	3.169×10^{-15}	100				

由表 9 知，全市居民消费水平、户籍人口和建筑业总产值与第一主成分的正相关关系最大；第二主成分主要与人口自然增长率存在正相关关系。由此表明，耕地面积的变化与近年来上海市居民生活水平的逐步提高、人口的不断攀升，以及建筑业的快速发展有很大的关系，这些因素是引起耕地面积变动的主要驱动力因子。

表 9 耕地覆被的驱动力因子载荷矩阵

Tab. 9 Driving forces loading matrix of farmland cover

变量 Variable	主成分 Principal component		
	第一主成分 First	第二主成分 Second	第三主成分 Third
户籍人口 Household registration population	0.990	0.081	-0.104
户籍人口期望寿命 Life expectancy of registered population	0.915	0.167	-0.119
人口自然增长率 Natural population growth rate	0.047	0.816	0.491
地区生产总值 Regional GDP	0.685	-0.559	0.128
第一产业产值比例 Proportion of primary industry output	-0.952	0.144	-0.019
非农人口比例 Proportion of non-agricultural population	0.885	0.336	-0.144
全市居民消费水平 Consumption level of residents	0.997	-0.053	0.006
地方财政收入 Regional financial revenue	0.969	-0.185	0.028
地方财政支出 Regional financial expenditure	0.975	-0.186	-0.015
农业总产值 Agricultural GDP	0.848	0.439	-0.205
征收拆迁户数 Number of household removed	-0.874	-0.345	-0.165
绿地覆盖率 Green coverage rate	0.904	0.211	-0.318
建筑业总产值 Construction GDP	0.983	0.053	-0.161
房屋竣工面积 Area of buildings completed	0.591	-0.619	0.483
科技成果 Achievements in science and technology	0.641	0.403	0.513

3 结论与展望

本文利用数理统计分析手段并结合 RS 及 GIS 技术，客观分析了上海市 2006—2015 年土地覆被类型变化的具体状况，分析了 6 种土地覆被类型变迁的数量、空间和幅度特征。同时使用 SPSS 22.0 软件探究了上海市耕地面积变动的主要驱动力，即为全市居民消费水平、户籍人口、建筑业总产值和人口自然增长率。从研究的结果来看，本文有助于上海市政府对土地覆被变化的思考，并提供了科学性建议，认为其关键在于提高土地利用效率。

利用遥感和图像分类技术对地物进行解译再作分析已成为地理学研究的一种主流方法,但由于多种因素的限制,尚存在不足,未来将会从以下几个方面开展后续研究:1)选取更高精度的遥感影像并尝试多种有效分类手段,提高分类精度质量;2)因经济驱动机制和人口驱动机制的极度复杂性,要着重围绕经济和人口对土地变迁的驱动机制开展探究。

[参 考 文 献]

- [1] 全斌. 土地利用与土地父辈变化学导论 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2010: 24-25.
- [2] GLP. Science plan and implementation strategy. IGBP report No. 53/IHDP report [R/OL] [2019-03-18]. <http://digital.library.unt.edu/ark:/6753/metadac12011>. 2019. 1.
- [3] 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.
- [4] 廉耀康, 王维邦, 张震域, 等. 黑河中下游土地覆被变化与驱动力分析 [J]. 人民黄河, 2018, 40(2): 57-62.
- [5] 熊杰, 曾源, 朱亮, 等. 近 25 年三峡库区土地覆被变化及驱动力分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(10): 2368-2378.
- [6] 徐志涛, 陈鹏飞, 周世健, 等. 白洋淀流域土地覆被变化及其生态服务价值评 [J]. 生态科学, 2018, 37(6): 83-90.
- [7] 杨旭, 刘志武, 武昊, 等. 长江上游及清江流域土地覆被变化分析 [J]. 人民长江, 2019, 50(2): 90-94.
- [8] 曹巍, 邵全琴, 刘纪远, 等. 北京地区土地利用/覆被及其变化对气温升温的影响分析 [J]. 气候与环境研究, 2013, 18(4): 451-460.
- [9] 任红鸽, 全斌, 王道平, 等. 长沙市 1990~2010 年土地覆被变化及其预测 [J]. 江西农业学报, 2017, 29(10): 93-99.
- [10] 史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 1994—2006 年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1468-1479.
- [11] 缪丽娟, 崔雪峰, 栾一博, 等. 北京上海近 20 a 城市化过程中土地利用变化异同点探析 [J]. 气象科学, 2011, 31(4): 398-404.
- [12] 李永浮, 姜乐洋, 朱冬奇, 等. 上海浦东土地利用变化时空特征和动因研究 [J]. 城镇化与集约用地, 2019, 7(2): 39-51.
- [13] 上海市人民政府. 上海市城市总体规划 (2017—2035 年) [EB/OL] [2019-03-20]. <http://www.shanghai.gov.cn/newsshanghai/xgkfj/2035002.pdf>.
- [14] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. 地理科学展, 1999, 18(1): 81-87.
- [15] 唐华俊, 吴斌, 杨鹏, 等. 土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 模型研究进展 [J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468.
- [16] 高崇辉, 张珺, 代俊峰. 基于 RS 和 GIS 的武汉土地利用变化驱动力分析 [J]. 国土和自然资源研究, 2003, 3(10): 31-32.
- [17] 李靖华, 郭耀煌. 主成分分析用于多指标评价的方法研究——主成分评价 [J]. 管理工程学报, 2002, 16(1): 39-43.
- [18] 白雪梅, 赵松山. 对主成分分析综合评价方法若干问题的探讨 [J]. 统计研究, 1995, 12(6): 47-51.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)