

芜湖市土地利用/覆盖变化的遥感分析*

白洪伟¹, 吴满意², 葛艳¹

(1. 宿州学院 安徽省煤矿勘探工程技术研究中心, 安徽 宿州 234000;

2. 国家测绘地理信息局第一地形测量队, 陕西 西安 710054)

【摘要】以安徽省芜湖市四区(镜湖区、弋江区、鸠江区、三山区)为研究区,利用1994年Landsat-5的TM影像、2006年和2014年Landsat-7的ETM+影像解译结果,获取芜湖市四区三期土地利用/覆盖分类图,并基于ENVI图像分析和数理统计方法对芜湖市四区1994—2014年土地利用/覆盖变化做定量分析研究,分析各土地利用类型间的相互转化关系,探讨各类面积发生变化的主要原因。

【关键词】芜湖市;土地利用/覆盖变化;遥感分析

【中图分类号】P237;F301.2 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)04-0074-04

土地利用/覆盖变化是研究地球变化的重要内容,是在不同时间和空间尺度上由自然和社会系统相互作用引起的一种复杂变化^[1-2]。人类活动深刻地干预并改变着自然地理环境,这种作用的主要表现形式是土地利用,而其直接表征是土地利用/覆盖状况的改变^[3]。随着遥感影像的发展以及高分辨率遥感影像的广泛应用,遥感技术已经成为研究土地利用覆盖/变化的重要手段^[4]。过去研究土地利用/覆盖主要以各种统计数据为基础,数据本身的局限性使得土地动态变化的空间特征分析不能得到有效的开展。国内学者利用遥感技术对土地利用/覆盖这类课题的研究主要集中在大城市、经济发展较为快速的地区以及中国西部等生态环境较为脆弱的地区,对经济发展缓慢的小城市使用遥感技术进行此类研究的相对较少。近年来,利用芜湖市土地相关统计数据进行过土地利用变化分析以及土地利用与生态环境的协调研究。但没有研究芜湖市近期的土地利用/覆盖变化情况。本文利用1994年Landsat-5的TM影像解译结果、2006年和2014年Landsat-7的ETM+影像解译结果,获取芜湖市四区三期土地利用/覆盖分类图,并基于ENVI空间分析和数理统计方法对芜湖市四区1994—2014年土地利用/覆盖变化做定量研究分析。

1 研究方法

1.1 数据的收集与预处理

1.1.1 数据的收集

本次研究将中国科学院地理科学与资源研究所提供的三期遥感卫星Landsat TM/ETM+影像作为信息源,具体包括成像时间为1994年7月6日的Landsat-5 TM影像,2006年9月31日和2014年7月

21日两景Landsat-7 ETM+影像,研究区内影像天气状况均为无云且空间分辨率均为30 m。利用ENVI遥感图像处理软件得到以马鞍山市为研究区的土地利用分类结果图和面积变化统计分析表。辅以马鞍山市2006年行政区划Landsat-5影像数据,从而提取芜湖市四区矢量边界。

1.1.2 数据的预处理

首先将下载的分波段单独存储的各时期TM/ETM+影像数据进行波段的叠合。其次对遥感影像进行几何纠正。在纠正前,利用ENVI遥感图像处理软件将3景卫星影像的投影和坐标统一为UTM,Zone 50 North,WGS-84。即以2014年的芜湖市四区影像为基准图像,将2006、1994年影像作为配准影像。首先在基准影像上满幅均匀选取特征明显的控制点,然后在配准图像上找与其对应的同名点,控制点共选取20个,两次配准操作分别进行。位置的校正和灰度重采样方法分别选取二次多项式和双线性内插法,最终得出最小均方差误差RMS分别为0.256和0.412,均满足纠正要求的1个像元内。最后进行影像的裁剪,使用ENVI遥感图像处理软件利用纠正后的2006年芜湖市四区行政区划影像数据建立矢量文件,依次对3期配准后影像进行掩膜得到裁剪后的研究区影像数据。

1.2 影像的分类

1.2.1 分类体系的建立

为了有效反映各地类相互转换的具体情况,基于现有条件,结合三景影像的实际解译能力和土地利用特征,将马鞍山市土地利用/覆盖分为:耕地、林业用地、建设用地、水域和其它用地5个类别。

收稿日期:2015-09-01

*基金项目:宿州学院安徽省煤矿勘探工程技术研究中心开放课题资助(2013YKF04)。

作者简介:白洪伟(1987-),男,安徽宿州人,助教,硕士,研究方向:测绘与3S技术。

1.2.2 分类方法的选择

分类后专题图的正确分类程度(也称可信度)的检核是对影像进行分析的重要环节,目前评定分类精度通常使用混淆矩阵,利用混淆矩阵进行定量分析的主要参数有:

(1)总分类精度及 Kappa 系数

$$P_C = \sum_{k=1}^m P_{kk} / N \quad K = \frac{N \sum_{i=1}^m P_{ii} - \sum_{i=1}^m (P_{pi} \times P_{ii})}{N^2 - \sum_{i=1}^m (P_{pi} \times P_{ii})} \quad \{1\}$$

式中 P_C 为总分类精度, m 为分类类别数, N 为样本总数, P_{kk} 为第 K 类的判别样本数。 K 为 Kappa 系数, N 为样本总数, P_{pi} 为某一类所在列总数, P_{ii} 为某一类所在行总数。

在相同训练样本下,采用监督分类中的其中四种分类方法(平行六面体法、最小距离法、马氏距离法、最大似然法、神经网络)分别提取土地利用/覆盖变化信息,分类精度经统计分析如表1所示。因神经网络分类效果相对更好,故监督分类采用此方法。

表1 分类精度比较

| 方法 | 1994年 | | 2006年 | | 2014年 | |
|-------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | 总精度/ % | Kappa 系数 | 总精度/ % | Kappa 系数 | 总精度/ % | Kappa 系数 |
| 平面六面体 | 80.83 | 0.75 | 80.36 | 0.74 | 91.80 | 0.90 |
| 最小距离 | 90.26 | 0.88 | 85.22 | 0.81 | 90.31 | 0.88 |
| 马氏距离 | 92.12 | 0.90 | 97.44 | 0.97 | 97.40 | 0.97 |
| 最大似然法 | 99.20 | 0.98 | 98.86 | 0.98 | 99.02 | 0.99 |
| 神经网络 | 99.28 | 0.99 | 99.61 | 0.99 | 99.30 | 0.99 |

1.3 结果图像的生成

使用 ENVI5.0 软件对 R、G、B 依次赋短波红外波段(Band5)、近红外波段(Band4)、红色波段(Band3)值打开影像,选取代表耕地、林业用地、建设用地、水域和其它用地五种土地利用/覆盖的训练样本,并建立两套感兴趣区,一套使用最大似然法进行监督分类,另一套运用 Compute ROI Separability 工具对感兴趣区进行评价。处理结果如图1所示。

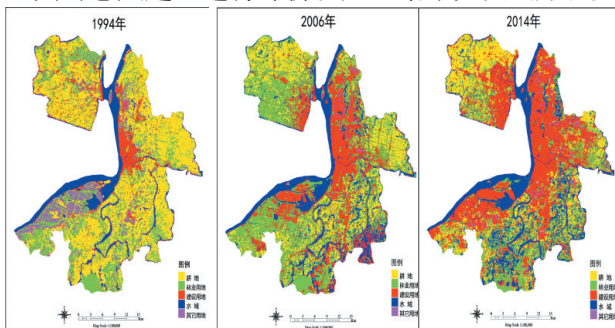


图1 土地利用/覆盖分类图

2 结果分析

2.1 地类面积变化分析

对3个时相的分类结果进行统计,得出芜湖市

四区 1994、2006、2014 年 3 个时期土地利用/覆盖面积变化结果(如表 2、3 所示)。研究表明:研究区内土地面积共计约 1 110.03 km²,建设用地和林业用地是近 20 年来芜湖市四区土地利用/覆盖的主要类型。

1994—2006 年,芜湖市四区林业用地面积从 270.71 km² 增加到 400.52 km²,增幅达 47.95%;水域面积也以 47.54% 的增幅从 123.55 km² 增加到 182.28 km²;除耕地、林业用地、建设用地、水域以外的其它用地从 67.05 km² 减少到 12.8 km²,减幅达 -80.91%,为面积变化最大的土地利用类型(见表 2、3)。

2006—2014 年,芜湖市四区耕地面积变化 -13.87 km²,变化幅度达 -5.97%;林业用地面积从 400.52 km² 减少到 220.82 km²,变化幅度达 -44.87%;水域、建设用地与其它用地面积各增加 27.67 km²、155.73 km² 及 10.17 km²。

总的来说,1994—2014 年近 20 年间,芜湖市四区建设用地从 120.09 km² 增加到 437.7 km²,增幅达 264.48%,为面积变化幅度最大的土地类型;水域面积则以 69.93% 的增幅从 123.55 km² 增加到 209.95 km²;耕地面积面积变化了 -310.04 km²,变化增幅为 -58.65%;林业用地面积变化了 -49.89 km²,变化增幅为 -18.43%;建设用地面积变化了 -49.89 km²,变化增幅为 -18.43%。

表2 土地利用/覆盖类型面积及比例

| 土地类型 | 1994年 | | 2006年 | | 2014年 | |
|------|--------------------|------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | 面积/km ² | 比例/% | 面积/km ² | 比例/% | 面积/km ² | 比例/% |
| 耕地 | 528.63 | 47.6 | 232.46 | 20.94 | 218.59 | 19.69 |
| 林业用地 | 270.71 | 24.4 | 400.52 | 36.08 | 220.82 | 19.89 |
| 建设用地 | 120.09 | 10.8 | 281.97 | 25.40 | 437.7 | 39.43 |
| 水域 | 123.55 | 11.1 | 182.28 | 16.42 | 209.95 | 18.91 |
| 其它用地 | 67.05 | 6.0 | 12.8 | 1.15 | 22.97 | 2.07 |

表3 土地利用/覆盖面积变化

| 土地类型 | 1994—2006年 | | 2006—2014年 | | 1994—2014年 | |
|------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | 面积变化/ km ² | 变化幅度/ % | 面积变化/ km ² | 变化幅度/ % | 面积变化/ km ² | 变化幅度/ % |
| 耕地 | -296.17 | -56.03 | -13.87 | -5.97 | -310.04 | -58.65 |
| 林业用地 | 129.81 | 47.95 | 179.7 | -44.87 | -49.89 | -18.43 |
| 建设用地 | 161.88 | 134.80 | 155.73 | 55.23 | 317.61 | 264.48 |
| 水域 | 58.73 | 47.54 | 27.67 | 15.18 | 86.4 | 69.93 |
| 其它用地 | -54.25 | -80.91 | 10.17 | 79.45 | -44.08 | -65.74 |

2.2 土地利用动态变化分析

2.2.1 土地利用转移矩阵

转移矩阵可以有效地表达 2 个时期不同类型土

地之间的相互转换关系^[5]。其数学模型为

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

转移矩阵中 A_{ij} 表示 n 时期第 i 种土地利用/覆盖类型转变成 $n+1$ 时期第 j 种土地利用/覆盖类型的面积或面积比例。 B_{ij} 表示 $n+1$ 时期第 j 种土地利用类型中由 n 时期第 i 种土地利用类型转变而来的面积或面积比例。

采用该数学模型,得到 1994—2006 年、2006—2014 年 2 个时段地类面积转移矩阵,如表 4、5 所示,以及面积百分率转移矩阵如表 6、7 所示。

表 4 1994—2006 年土地利用面积转移矩阵 km²

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 | 1994 年合计 |
|----------|--------|--------|--------|--------|------|----------|
| 耕地 | 162.09 | 215.69 | 93.12 | 52.07 | 5.66 | 528.63 |
| 林业用地 | 61.78 | 124.05 | 69.77 | 11.92 | 3.19 | 270.71 |
| 建设用地 | 5.01 | 26.99 | 75.99 | 10.19 | 1.91 | 120.09 |
| 水域 | 0.4 | 7.27 | 8.85 | 106.63 | 0.4 | 123.55 |
| 其它用地 | 3.18 | 26.52 | 34.24 | 1.47 | 1.64 | 67.05 |
| 2006 年合计 | 232.46 | 400.52 | 281.97 | 182.28 | 12.8 | - |

表 5 2006—2014 年土地利用面积转移矩阵 km²

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 | 2006 年合计 |
|----------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|
| 耕地 | 101.22 | 56.88 | 55.94 | 14.7 | 3.72 | 232.46 |
| 林业用地 | 96.55 | 119.51 | 139.59 | 37.35 | 7.52 | 400.52 |
| 建设用地 | 14.25 | 26.85 | 214.36 | 17.8 | 8.71 | 281.97 |
| 水域 | 6.28 | 16.91 | 18.97 | 139.64 | 0.48 | 182.28 |
| 其它用地 | 0.29 | 0.67 | 8.84 | 0.46 | 2.54 | 12.8 |
| 2014 年合计 | 218.59 | 220.82 | 437.7 | 209.95 | 22.97 | - |

表 6 1994—2006 年土地利用面积百分率转移矩阵 %

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 耕地 A、B | 30.66 | 40.80 | 17.62 | 9.85 | 1.07 |
| | 69.73 | 26.58 | 2.16 | 0.17 | 1.37 |
| 林业用地 A、B | 22.82 | 45.82 | 25.77 | 4.40 | 1.18 |
| | 53.85 | 30.97 | 6.74 | 1.82 | 6.62 |
| 建设用地 A、B | 4.17 | 22.47 | 63.28 | 8.49 | 1.59 |
| | 33.02 | 24.74 | 26.95 | 3.14 | 12.14 |
| 水域 A、B | 0.32 | 5.88 | 7.16 | 86.31 | 0.32 |
| | 28.57 | 6.54 | 5.59 | 58.50 | 0.81 |
| 其它用地 A、B | 4.74 | 39.55 | 51.07 | 2.19 | 2.45 |
| | 44.22 | 24.92 | 14.92 | 3.13 | 12.81 |

A_{ij} 行表示 1994 年第 i 种土地利用类型转变为 2006 年第 j 种土地利用类型的面积比例; B_{ij} 行表示 2006 年第 j 种土地利用类型中由 1994 年的第 i 种土地利用类型转变而来的面积比例。

由表 3、6 可分析得出芜湖市四区 1994—2006 年地类转移变化情况:林业用地面积增加了 129.81

km²,增加的用地面积主要由 53.85%的耕地、6.74%的建设用地转化而来;建设用地面积增加了 161.88 km²,增加的用地面积大多由耕地、林业用地和其他用地转换而来,转换百分比为 33.02%、24.74%和 12.14%。以此类推,可以从表 3 和表 6 中得出耕地、水域和其他用地的变化情况。

表 7 2006—2014 年土地利用面积百分率转移矩阵 %

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 耕地 A、B | 43.54 | 24.47 | 24.06 | 6.32 | 1.60 |
| | 46.31 | 44.17 | 6.52 | 2.87 | 0.13 |
| 林业用地 A、B | 24.11 | 29.84 | 34.85 | 9.33 | 1.88 |
| | 25.76 | 54.12 | 12.16 | 7.66 | 0.30 |
| 建设用地 A、B | 5.05 | 9.52 | 76.02 | 6.31 | 3.09 |
| | 12.78 | 31.89 | 48.97 | 4.33 | 2.02 |
| 水域 A、B | 3.45 | 9.28 | 10.41 | 76.61 | 0.26 |
| | 7.00 | 17.79 | 8.48 | 66.51 | 0.22 |
| 其它用地 A、B | 2.27 | 5.23 | 69.06 | 3.59 | 19.84 |
| | 16.20 | 32.74 | 37.92 | 2.09 | 11.06 |

A_{ij} 行表示 2006 年第 i 种土地利用类型转变为 2014 年第 j 种土地利用类型的面积比例; B_{ij} 行表示 2014 年第 j 种土地利用类型中由 2006 年的第 i 种土地利用类型转变而来的面积比例。

由表 3、7 可以分析得出芜湖市四区 2006—2014 年地类转移变化情况:建设用地面积有所增加,其面积变化最大,增加的面积主要由耕地、林业用地组成,转换百分比为 12.78%、31.89%;林业用地减少了 -179.7 km²,减少的面积主要转移为建设用地和耕地,转移百分比依次为 34.85%和 24.11%。以此类推,可以从表 3 和表 7 中看出耕地、水域和其他用地的变化情况。

2.2 单一土地利用动态度

将某研究区域一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化的定量反映称为单一土地利用动态度,其数学表达式为:

$$K = \frac{u_b - u_a}{u_a} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (3)$$

式中: K 为某一土地利用类型在研究时间段内的动态度; u_a 、 u_b 则分别表示该研究时段的初期及末期的数量; t 为研究时段长。

根据公式(3)可计算整理得出 1994—2006 年、2006—2014 年、1994—2014 年芜湖市四区单一土地利用动态度,如表 8 ~ 10 所示。

2.3 综合土地利用动态度

将某研究区域综合土地利用变化的速度的定量反映称为综合土地利用动态度,其数学表达式为:

$$LC = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right] \times \frac{1}{t} \times 100 \% \quad (4)$$

式中: ΔLU_{i-j} 为第*n*类土地利用类型在某研究时段内转为非*n*类土地利用类型面积的绝对值, LU_i 为第*i*类土地利用类型在某研究时段内面积; t 为研究时段长度。当*t*以年为单位时, LC 即为该研究区土地利用类型的年变化率^[6-7]。

根据公式(4)可计算整理得出1994—2006年、2006—2014年、1994—2014年3个时间段芜湖市四区综合土地利用/覆盖类型动态变化表,如表8~10所示。

研究结果表明,1994—2006年年变化率最大的土地利用类型为建设用地,其数值为11.23%,其次为其他用地,数值为-6.74%,其他如表8所示。

2006—2014年其他用地为单一的土地利用动态最大的土地利用类型,数值为9.93%。其次为建设用地,其数值为6.90%。其他如表9所示。

总的来说,1994—2014年,建设用地是近20年来土地利用动态最大的土地利用类型,为13.22%。其次为水域,年变化率为3.50%。如表10所示,经计算,芜湖市四区1994—2006年、2006—2014年、1994—2014年间综合土地利用动态分别为2.40%、3.00%、1.63%。

注释及参考文献:

- [1]蒙古军,吴秀芹,李正国.黑河流域1988—2000年土地利用/覆盖变化研究[J].北京大学学报(自然科学版),2004,40(6):922-929.
- [2]冯洋,濮国梁.土地利用/覆盖链式遥感分类方法研究[J].遥感信息,2012,27(6):62-66.
- [3]李发珍,刘友兆.芜湖市四区土地利用与生态环境[J].国土与自然资源研究,2007(1):36-37.
- [4]周兴东,于胜文,赵长胜.徐州市土地利用/覆盖动态变化分析[J].测绘通报,2008(1):33-36.
- [5]胡光印,董治宝,王文丽,等.近30a玛曲县土地利用/覆盖变化监测[J].中国沙漠,2009,29(3):457-462.
- [6]杜培军.遥感原理与应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009(6):186.
- [7]邓聪,涂建军,王德惠,等.2003—2008年香港土地利用/覆盖变化监测与分析[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(1):112-117.

Remote Sensing Analysis of Land Use / Cover Change in Wuhu City

BAI Hong-wei¹, WU Man-yi², GE Yan¹

(1. Anhui Province Coal Mine Exploration Engineering Technology Research Center, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000; 2. The First Topographic Surveying Brigade of SBSM, Xi'an, ShanXi, 710054)

Abstract: As the research area of the four regions of Wuhu City in Anhui Province (Jinghu region, Yijiang region, Jiujiang region, Sanshan region), use of the 1994 Landsat-5 TM image, 2006 and 2014 Landsat-7 ETM + image solution results, aquired of Wuhu City, four regions land use / cover classification map, and based on envi image analysis and mathematical statistics method of Wuhu City, four region 1994-2014 land use / cover change to do quantitative analysis of various land use types between the mutual transformation relationship, to explore the main reason for the changes in various area. Research for the further development of the city planning and construction has a certain reference.

Key words: Wuhu city; land use / cover change; remote sensing analysis

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.04.021

表8 1994—2006年土地利用动态变化表 %

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|
| 单一土地利用动态度 | -4.67 | 4.00 | 11.23 | 3.96 | -6.74 |
| 综合土地利用动态度 | 2.40 | | | | |

表9 2006—2014年土地利用动态变化表 %

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|
| 单一土地利用动态度 | -0.75 | -5.61 | 6.90 | 1.90 | 9.93 |
| 综合土地利用动态度 | 3.00 | | | | |

表10 1994—2014年土地利用动态变化表 %

| 土地类型 | 耕地 | 林业用地 | 建设用地 | 水域 | 其它用地 |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|
| 单一土地利用动态度 | -2.93 | -0.92 | 13.22 | 3.50 | -3.29 |
| 综合土地利用动态度 | 1.63 | | | | |

3 结论

(1)从土地利用分类图可看出:芜湖市四区土地利用类型分布特点基本与地形特点相适应。

(2)1994—2014年近20年来,芜湖市四区土地利用类型中的建设用地和林业用地所占面积比相对较高。地类面积变化明显,发生变化的土地利用面积约占总面积的55.85%。

(3)1994—2014年间,土地利用/覆盖在数量和空间布局上都发生了明显变化。建设用地和水域面积有所增加,而耕地、林业用地和其它用地则减少。究其原因,芜湖市四区处于规划期,耕地、林业用地及其它用地得以大规模开发和利用。