

基于遥感的邳州市土地利用变化监测及分析

施颖霖

(江苏师范大学, 江苏省徐州市, 221116; 1297888710@qq.com)

摘 要: 本研究旨在通过遥感技术监测和分析徐州下辖县级市邳州市的土地利用变化。研究基于 Landsat 遥感数据, 选取 2014 年和 2021 年两个时相的土地影像, 进行分类和动态变化分析。研究结果显示, 2014 年至 2021 年间, 邳州市建设用地面积显著增加, 水体和耕地面积也有所增长, 而林地/草地和未利用地面积减少。土地利用变化的驱动力分析表明, 自然因素如气温变化和人文因素如社会经济发展是主要影响因素。研究不仅提高了对土地利用变化监测的准确性, 也为城市规划和生态环境保护提供了科学依据。

关键词: 遥感; 邳州; 监督分类; 土地利用变化; ENVI

引言

遥感图像作为现代遥感技术的主要产品, 随着现代卫星技术的快速发展, 它逐渐成为科学研究、资源管理、环境监测等领域不可或缺的数据来源, 但由于遥感图像在采集和传输过程中可能受到各种干扰, 降噪与增强处理可以帮助减少图像中的噪声, 提高图像质量; 几何校正可以减小由于卫星轨道变化、地球曲率等原因出现的几何畸变, 使图像更符合真实地表的几何形状.....此外, 随着人工智能技术的发展, 机器学习算法在遥感图像处理中的应用越来越广泛, 提高了土地利用变化监测的自动化水平和准确性。因此, 遥感图像处理技术对于监测地表变化至关重要。

土地利用变化是某种土地利用类型经过一段时间后由于自然或人为原因改变为其他土地利用类型, 并影响整个城市的生态环境、经济发展、居民生活质量[1]。关注城市利用变化可以由此准确、快速分析出生态质量变化状况, 还有利于政府进行科学合理的区域发展规划, 以促进社会经济和生态环境的可持续发展[2]。

本研究基于 Landsat 遥感数据获取徐州下辖的县级市邳州的两个时相土地影像, 在对土地利用分类的基础上, 对其动态变化进行分析, 以期了解邳州的土地资源利用及经济发展状况。

1 研究区概况

徐州市(图 1)处于 116°22'E~118°40'E, 33°43'N~34°58'N 之间, 位于华北平原东南部。地形以平原为主, 平原面积占全市面积的 90%, 地势平坦, 海拔较低, 总地势由西北向东南降低。徐州市属于温带季风气候, 雨热同期, 四季分明, 夏无酷暑, 冬无严寒, 年均温在 14℃, 降水量在 800 至 930 毫米。徐州以黄河故道为分水岭, 境内河流纵横交错, 湖泊、沼泽、水库星罗棋布, 京杭大运河横贯南北, 形成了“九河绕城、七湖润彭”的水系格局。

徐州下辖 5 个区、3 个县, 代管 2 个县级市, 有泉山区、鼓楼区、云龙区、贾汪区、铜山区、睢宁县、沛县、丰县以及邳州市和新沂市。截至 2023 年底, 市内常住人口 902.00 万人, 新型城镇化建设步伐加快, 城镇化率在 67.6%, 比上年提高了 0.8 个百分点。2023 年, 徐州的地区生产总值(GDP) 8900.44 亿元, 增长 7.1%, 经济呈现出稳步回升的良好态势。

本次研究选取徐州市下辖县级市——邳州市, 处于东经 117°35'50"~118°10'40", 北纬 34°07'~34°40'48"之间, 东邻新沂、西接徐州铜山、贾汪区, 南为睢宁县、宿豫区, 北为山东省, 气候极其适宜人类居住, 交通

发达，腹地河流如织，区域内面积达 2088 平方千米。邳州市地势西北高，东南低，全境有平原洼地、坡地、山地、水域 4 种地形，为淮河流域，沂、沭、泗水系，按流向归宿分为中运河、沂河、邳洪河三大水系[3]。

得益于其地理位置，邳州是一个历史悠久、文化灿烂的城市，古时曾是东夷文化的封地，后又是楚国等古代国家的封地。自近代以来，邳州也是中国革命的重要地区之一，有着光荣的革命历史。邳州于近几年经济得到了快速发展，形成了以制造业、电子信息、新材料等为主导的产业结构，农业与旅游业方面也得到了快速提升，是一个社会和谐稳定，治安状况良好，充满活力与历史底蕴的城市。

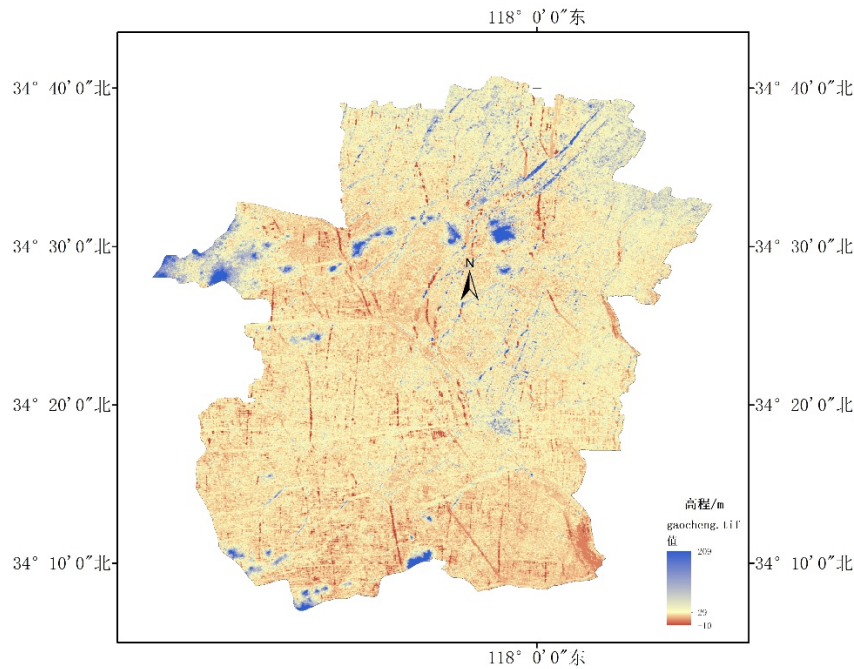


图 1 邳州市概况图

2 遥感图像处理与信息获取

2.1 数据来源

影像来自于地理空间数据云网站中提供的 Landsat 8 OLI_TIRS 卫星数字产品，包括 2014 年和 2021 年两个时相，条带号为 121，行编号为 36 的包含徐州市行政区的遥感影像数据（图 2），其中时间间隔约为 6 年，均为 12 月份冬季时相，该时相为旱季，少云雾干扰，且遥感影像信息丰富，耕地、林地与建设用地颜色差别较大，易于分辨，解译效果最佳；邳州高程数据由美国航天飞机雷达地形测绘任务（Shuttle Radar Topography Mission, SRTM）提供[4]；邳州市行政区 Shapefile 文件由阿里云数据平台和 Maoshaper 共同提供获得。

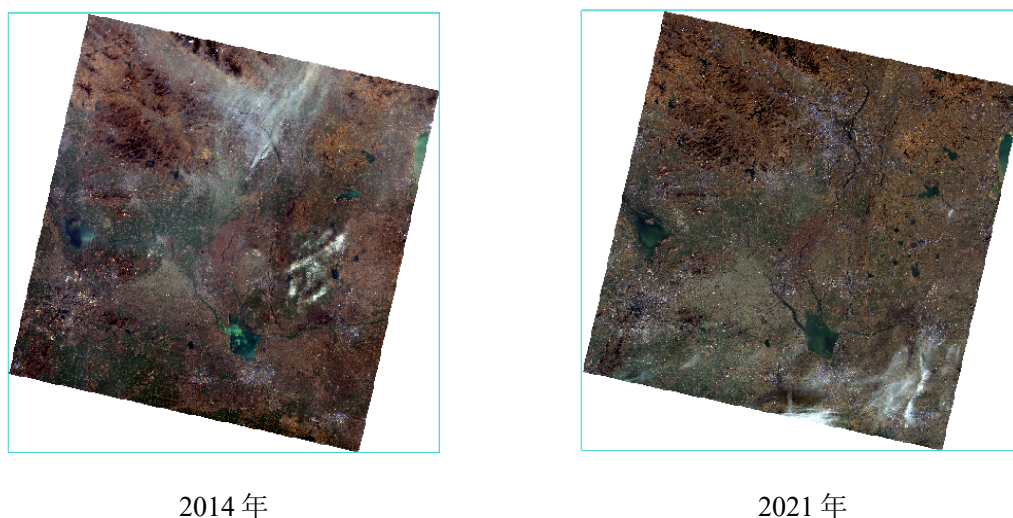


图 2 原始图像

2.2 数据预处理

由于受到大气条件、太阳高度、地形起伏等因素影响，遥感卫星获取的影像一般会与物体实际反射率存在一定的差异，需要利用 ENVI 软件进行预处理。其中预处理的步骤包括辐射校正、几何校正以及大气校正，以去除数据中的噪声和误差，确保图像的精确性。本次实验将会采取波段组合、几何校正、图像裁剪，辅之线性拉伸以提高图像质量，去除干扰，突出图像中的关键特征，便利后续的特征提取与识别。

2.2.1 波段组合

根据我们本次的实验目的以及对各波段合成效果的目视分析，选择将两个时相的遥感图像采取 7、6、4（SWIR2、SWIR1、Red）的假彩色合成（图 3）。这种波段组合尤其适用于城市监测，短波红外波（SWIR1 和 SWIR2）相较于波长较短的波段效果更明亮，能更好地显示城市结构和建筑物。

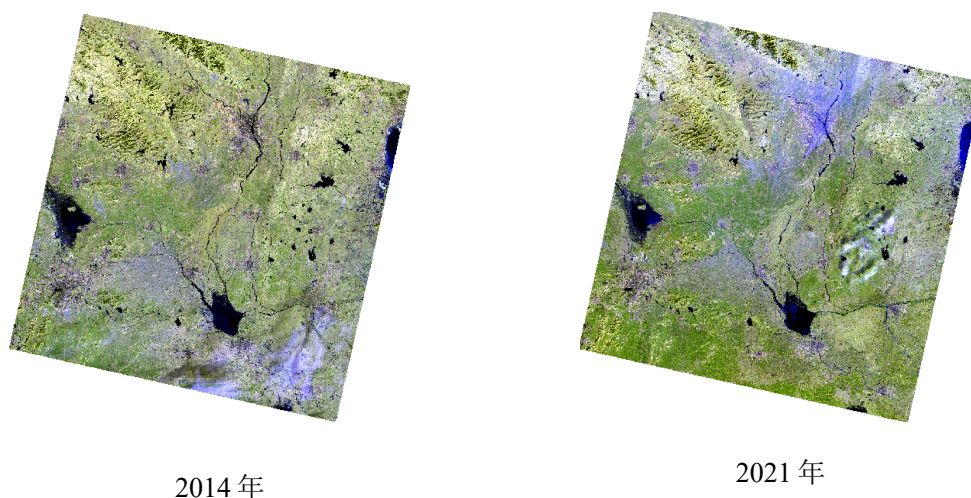


图 3 SWIR2、SWIR1、Red 波段合成图

2.2.2 图像规则裁剪

图像裁剪是从原始图像中截取包含研究区的感兴趣区域（Region Of Interest, ROI），缩小研究范围，提高研究精度。由于本研究选取邳州市行政区域作为研究区域，在图像预处理步骤首先使用规则裁剪为矩形形状（图4），以便进行后续监督分类。由于先前已经经过几何校正，因此在裁剪过程中需要准确设置好坐标，确保不同时相的遥感影像的裁剪范围是一致的，保证实验的准确性。

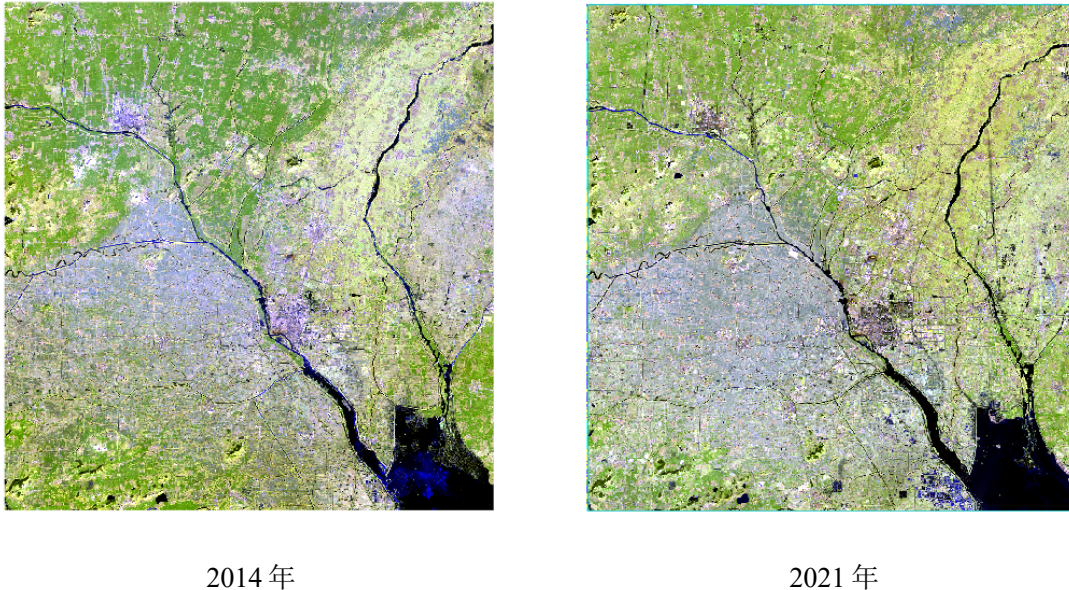


图4 邳州市遥感图像规则裁剪图

2.2.3 几何校正

几何校正是指在遥感图像处理中，针对地球曲率、地球自转、大气折光等因素导致的原始图像上地物的几何位置、形状、尺寸、方位等特征与参照图像的表达形式不一致产生的变形进行校正的过程。本研究为保证实验结果的准确性，以2014年冬季邳州市遥感影像为参考图像，选取地面控制点使用1次多项式最近邻法对2021年冬季邳州市遥感图像进行配准，使校正后的2021年图像能与2014年的遥感图像地理参考系对齐，便于后期的土地利用类型变化分析（图5）。其中，本研究选取地面控制点共10个（图6），主要分布在河流分叉处（Base X: 253.40 Y: 496.40; Wrap X: 249.42 Y: 492.50）、道路交叉处（Base X: 1026.50 Y: 552.40; Wrap X: 1022.33 Y: 550.42）、建设用地轮廓处（Base X: 1822.50 Y: 505.50; Wrap X: 1818.58 Y: 502.50）、河流弯曲处（Base X: 132.50 Y: 1202.70; Wrap X: 125.50 Y: 1218.99）、另一处城市轮廓处（Base X: 1055.30 Y: 1184.50; Wrap X: 1048.44 Y: 1200.65）、湖泊边缘处（Base X: 30.10 Y: 1893.50; Wrap X: 20.14 Y: 1929.54）、河道边缘处（Base X: 825.50 Y: 1738.50; Wrap X: 816.27 Y: 1770.44）、大湖出口处（Base X: 1729.67 Y: 1785.33; Wrap X: 1720.31 Y: 1819.99）、河流边缘处（Base X: 970.00 Y: 220.00; Wrap X: 967.24 Y: 208.47）以及建筑物轮廓处（Base X: 1799.00 Y: 1229.00; Wrap X: 1792.01 Y: 1246.74）。

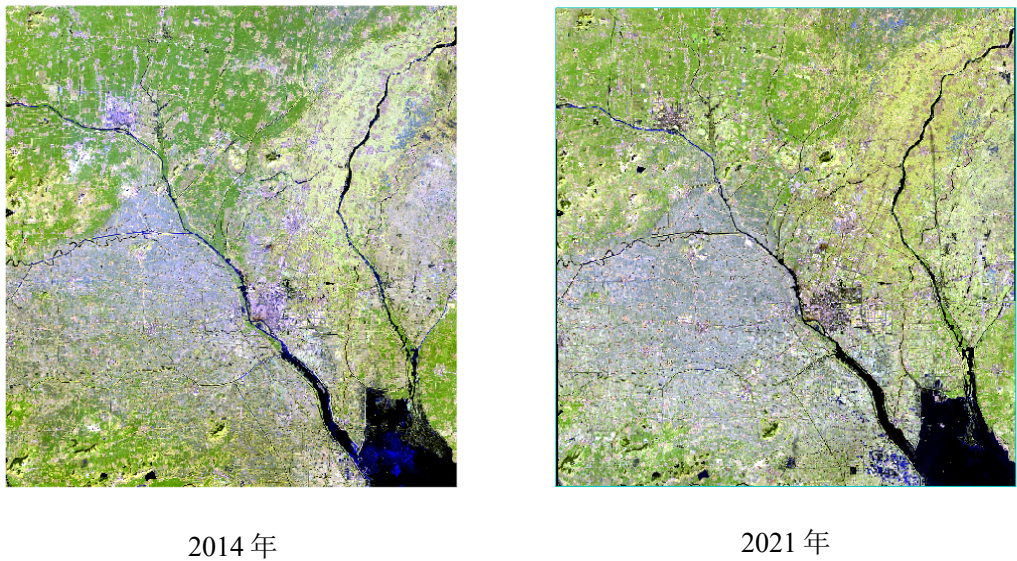


图 5 含邳州市研究区几何校正图

	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	253.40	496.40	249.42	492.50	249.4193	492.5000	-0.0007	-0.0000	0.0007
#2+	1026.50	552.40	1022.33	550.42	1022.3300	550.4205	-0.0000	0.0005	0.0005
#3+	1822.50	505.50	1818.58	502.50	1818.5799	502.5007	-0.0001	0.0007	0.0007
#4+	132.50	1202.70	125.50	1218.99	125.4993	1218.9902	-0.0007	0.0002	0.0008
#5+	30.17	1894.50	20.21	1930.57	20.2104	1930.5708	0.0004	0.0008	0.0009
#6+	825.50	1738.50	816.27	1770.44	816.2686	1770.4368	-0.0014	-0.0032	0.0035
#7+	1055.30	1184.50	1048.44	1200.65	1048.4432	1200.6525	0.0032	0.0025	0.0040
#8+	1729.67	1785.33	1720.31	1818.99	1720.3111	1818.9917	0.0011	0.0017	0.0020
#9+	970.00	220.00	967.24	208.47	967.2406	208.4689	0.0006	-0.0011	0.0012
#10+	1799.00	1229.00	1792.01	1246.74	1792.0077	1246.7379	-0.0023	-0.0021	0.0031

图 6 几何校正控制点选取列表

2.2.4 校正后裁剪

经过上述波段合成、图像大范围裁剪以及几何校正等一系列预处理步骤之后，本研究根据实验目的，将含邳州市的研究区进行了裁剪处理，经过校正过程后两幅影像的左上角与右下角左边坐标以及像元大小能够严格保持一致（图 7、图 8、图 9），2014 年左上角坐标为（34°42′13.47″N，117°33′15.67″E）、右下角坐标为（34°6′42.02″N，118°14′54.29″E）；2021 年左上角坐标为（34°42′13.52″N，117°33′4.43″E）、右下角坐标为（34°6′32.62″N，118°15′5.32″E），各坐标大致一致，保证了两张图片中研究区的范围、尺寸保持相同，确保后续图像裁剪、监督分类等操作的精确实施。

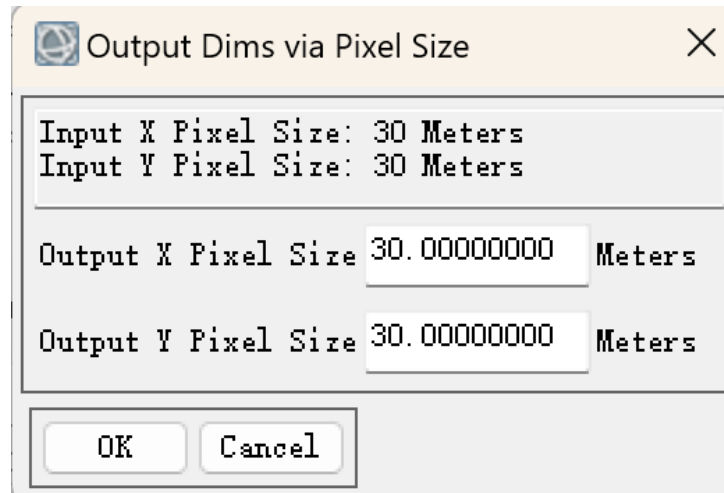
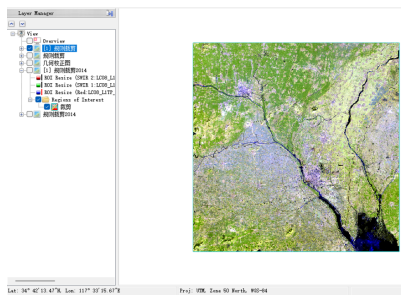
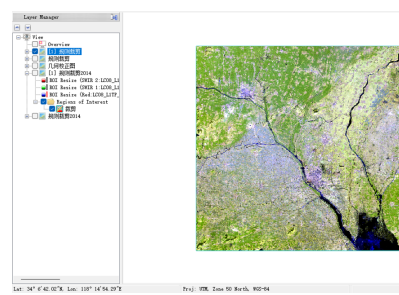


图7 像元大小设置图

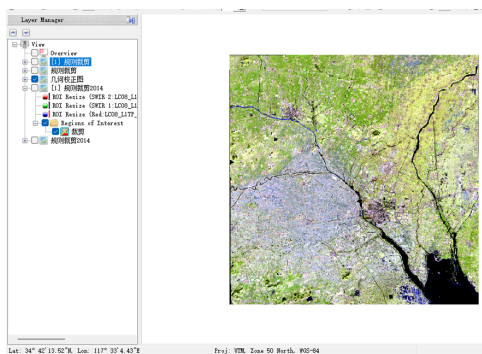


2014 年 含左上角坐标图

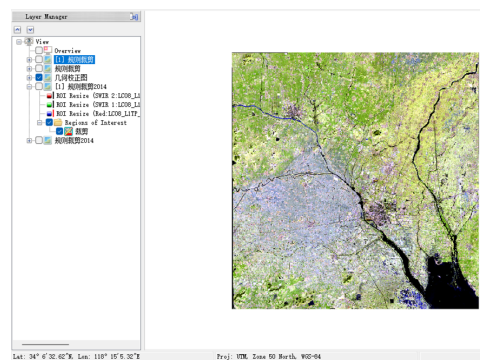


2014 年 含右下角坐标图

图8 含邳州市研究区校正后裁剪带图像坐标图



2021 年 含左上角坐标图



2021 年 含右下角坐标图

图9 含邳州市研究区校正后裁剪图

2.3 土地利用信息提取及监测

2.3.1 监督分类

监督分类的关键是训练样本和训练场地的选择，其质量决定分类的效果。根据选择的样本，进行样本提纯技术，从而使样本更加纯净，提高分类精度[5]。

参考《土地利用类型现状分类》以及邳州市的土地覆被现状，本研究从两个时相的邳州市遥感图像中共选取了 5 种土地利用/覆盖类型，包括建筑用地、水体、耕地、林地/草地、未利用地。其中，建设用地指邳州市域内建造建筑物、构筑物的土地，包括居民区、住宅、交通要道、商业用地等，在邳州土地利用类型中呈现沿河分布、分散分布的特征；耕地为邳州市域内的旱地，12 月份时以冬小麦为主，由于耕地受人类活动干扰较大，分布规整，以矩形形态为主；林地/草地是邳州市域内树木郁闭度 $\geq 20\%$ 的天然或林地，由于邳州以银杏树数量占主导地位，冬季时银杏树发黄，因此遥感图像中林地/草地也呈现出发黄状态，主要分布在低山丘陵的侧柏林、水体附近以及城市绿化带处；未利用地指目前尚未得到利用的土地，即农用地和建设用地以外的土地；水体指未列入农用地、建设用地的其他水域地，其它土地类型大多依河而建。不同土地类型分别选取 300 个以上样本点，样本数据分为训练样本和验证样本，随后使用 ENVI 分类模板中的支持向量机（Support Vector Machine Classification, SVM）执行分类（图 10）。

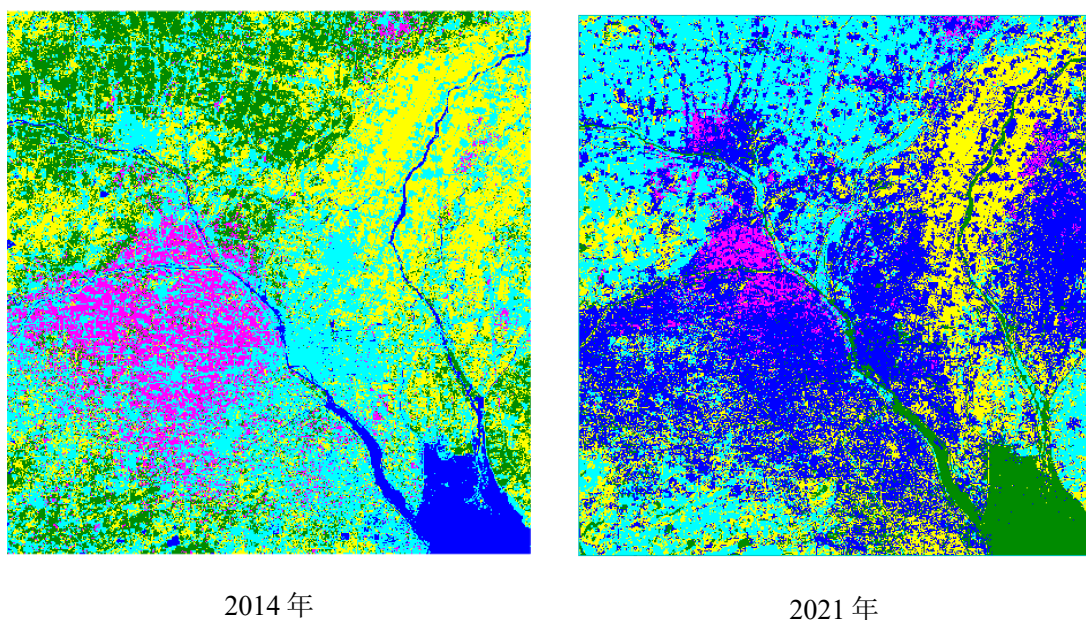


图 10 邳州市研究区土地利用类型监督分类图

2.3.2 分类后处理

分类后处理是指在遥感影像的监督分类完成后，对分类结果进行优化和改善的过程。这一步可以通过充分训练样本已知的类别归属信息与分类得到的类别概率估计之间的差异，并依据这种差异的空间结构信息，将其内插至全局，弥补分类器对样本信息挖掘的不足[6]。本研究采取 Majority 和 Minority 分析功能、ENVI Classic 人一机交互方式，手动局部编辑错分区域，对分类结果图进行修正和碎斑处理，最终得到两个年份较为精准的土地利用分类图（图 11）。其中，碎斑处理是遥感分类结果中会有一些面积很小的碎图斑，出于制图综合或者其他目的有时需要对这些碎图斑进行处理，而 Majority 和 Minority 分析便是采取类似于卷积滤波将较大类别的虚假像元归到该类中，用变换核中占主要或者次要地位（像元数最多或者最少）的像元类别代替中心像元的类别；人一机交互方式分类结果修正则是指为确保分类结果的精度，人工修正图中错分、漏分的土地利用类型，保证结果能够真实反映邳州的实际土地利用状况。

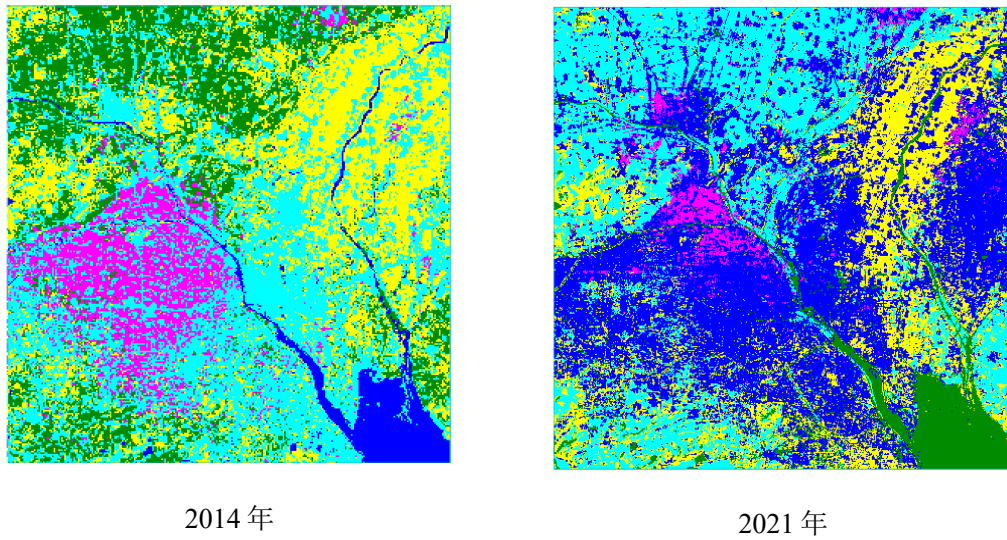


图 11 含邳州市研究区土地利用类型监督分类后处理图

2.3.3 图像不规则裁剪

完成监督分类以及分类后处理，本研究在先前规则裁剪的基础上，利用徐州市行政边界矢量图，仍旧在遥感图像处理软件 ENVI 软件中对遥感图像进行掩膜处理，得到以邳州市行政区域的各时相遥感影像图，图 12。

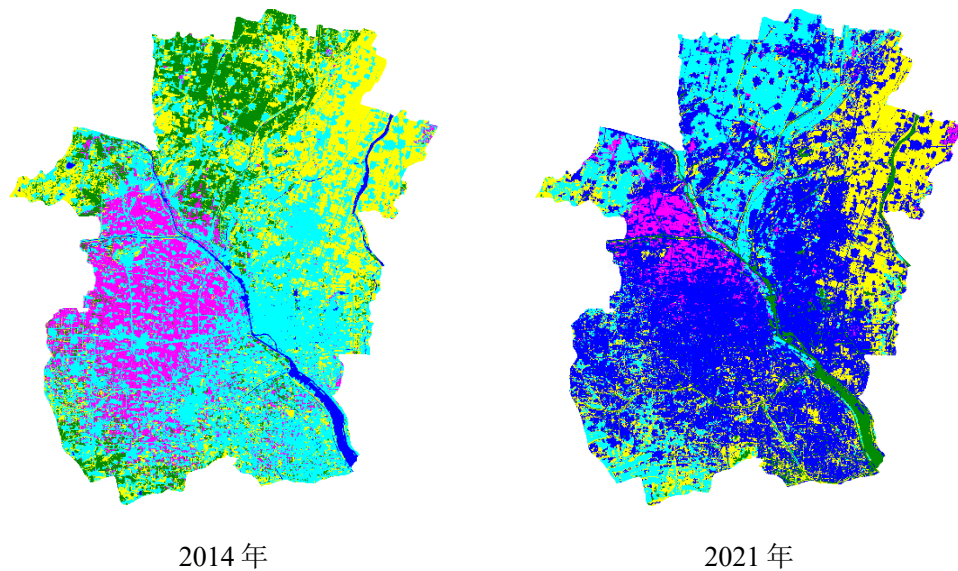


图 12 邳州市土地利用类型各时相监督分类图

2.3.4 精度评价

分类后需对分类结果进行精度评价，是一个对遥感影像分类结果的准确性进行量化分析的过程，通过比较遥感训练样本与验证样本的地面样本数据，来评估分类的准确度，是遥感处理的重要一环。常用的精度评

价有两种方法，分别是混淆矩阵和 ROC 曲线。本研究选取的为混淆矩阵，一种表示误差的标准形式，通过 Kappa 系数估测分类精度，结果图 13，图 14。

Confusion Matrix: C:\Users\Lenovo\Desktop\论文数据\2-19\输出\2014分类后处理
Overall Accuracy = (2535/2753) 94.1913%
Kappa Coefficient = 0.9256

Class	Ground Truth (Pixels)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0	0	0	0	0
未利用地	289	0	0	214	0
耕地	0	1156	0	0	0
林地/草地	0	0	676	0	0
建设用地	0	0	0	695	0
水体	0	0	0	0	719
Total	292	1156	677	909	719

Class	Ground Truth (Pixels)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0	0	0	0	0
未利用地	583	0	0	0	0
耕地	1156	1156	0	0	0
林地/草地	676	0	676	0	0
建设用地	699	0	0	699	0
水体	719	0	0	0	719
Total	3753				

Class	Ground Truth (Percent)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	98.67	0.00	0.00	23.54	0.00
耕地	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
林地/草地	0.00	0.00	99.85	0.00	0.00
建设用地	1.03	0.00	0.15	76.46	0.00
水体	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	13.40	0.00	0.00	0.00	0.00
耕地	30.80	100.00	0.00	0.00	0.00
林地/草地	18.01	0.00	100.00	0.00	0.00
建设用地	18.63	0.00	0.00	100.00	0.00
水体	19.16	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00				

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
未利用地	42.54	1.00	214/500	3/292
耕地	0.00	0.00	0/1156	0/1156
林地/草地	0.00	0.15	0/676	1/777
建设用地	0.17	23.54	4/699	214/909
水体	0.00	0.00	0/719	0/719

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
未利用地	98.67	57.46	289/292	239/583
耕地	100.00	100.00	1156/1156	1156/1156
林地/草地	99.85	100.00	676/677	676/676
建设用地	76.46	59.43	695/909	615/699
水体	100.00	100.00	719/719	719/719

图 13 2014 年遥感影像混淆矩阵表

文件
Confusion Matrix: C:\Users\Lenovo\Desktop\论文数据\2-19\输出\2021年度处理
Overall Accuracy = (1893/1913) 98.7914%
Kappa Coefficient = 0.9940

Class	Ground Truth (Pixels)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0	0	0	0	0
未利用地	73	0	0	0	0
建设用地	4	334	4	0	1
林地/草地	0	0	389	10	0
耕地	0	0	0	430	2
水体	0	0	0	0	646
Total	79	334	393	440	649

Class	Ground Truth (Pixels)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0	0	0	0	0
未利用地	73	0	0	0	0
建设用地	345	0	0	0	0
林地/草地	393	0	393	0	0
耕地	440	0	0	440	0
水体	646	0	0	0	646
Total	1555				

Class	Ground Truth (Percent)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	92.41	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	7.44	100.00	0.00	0.00	0.15
林地/草地	0.00	0.00	96.70	2.23	0.00
耕地	0.00	0.00	0.00	97.77	0.31
水体	0.00	0.00	0.00	0.00	99.54
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)	耕地	林地/草地	建设用地	水体
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	10.13	0.00	0.00	100.00	0.00
林地/草地	20.97	0.00	100.00	0.00	0.00
耕地	23.12	0.00	0.00	0.00	0.00
水体	23.86	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00				

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
未利用地	0.00	0.00	0/73	0/73
建设用地	3.19	0.00	11/345	0/334
林地/草地	2.51	1.02	10/393	4/393
耕地	0.45	2.23	2/440	10/440
水体	0.00	0.46	0/646	3/646

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
未利用地	92.41	100.00	73/79	73/73
建设用地	96.41	100.00	334/334	334/345
林地/草地	96.70	97.49	389/393	389/393
耕地	97.77	99.55	430/440	430/440
水体	99.54	100.00	646/649	646/646

图 14 2021 年遥感影像混淆矩阵表

2.3.5 分类后比较

为了分析土地利用类型的变化趋向，获得研究 2014—2021 年间各土地利用类型之间的变化量尤为重要。本次研究根据两个时相的监督分类后处理图使用分类后比较法以及专题变化检测 workflow 工具，最终得到土地

利用类型转移矩阵（图 15）以及 2014—2021 年间土地利用类型变化监测图（图 16），以供后续土地利用变化的动态监测。

		Initial State							
Final State	Unclassified	未利用地	耕地	林地/草地	建设用地	水体	Row Total	Class Total	
	68519700.00	13128300.00	12567600.00	28154700.00	92700.00	122463000.00	122463000.00	122463000.00	0.00
	69946200.00	705035700.00	232958700.00	117604800.00	1512000.00	1127057400.00	1127057400.00	1127057400.00	
	30603600.00	58835700.00	516862800.00	283122000.00	3601800.00	893025900.00	893025900.00	893025900.00	
	256242600.00	78043500.00	358646400.00	1168371900.00	5539500.00	1866843900.00	1866843900.00	1866843900.00	
	1863900.00	12307500.00	14440500.00	120862800.00	207510300.00	356985000.00	356985000.00	356985000.00	
	Class Total	427176000.00	867350700.00	1135476000.00	1718116200.00	218256300.00			
	Class Changes	358656300.00	162315000.00	618613200.00	549744300.00	10746000.00			
	Image Difference	-304713000.00	259706700.00	-242450100.00	148727700.00	138728700.00			

图 15 邳州市 2014—2021 年内土地利用类型转移矩阵

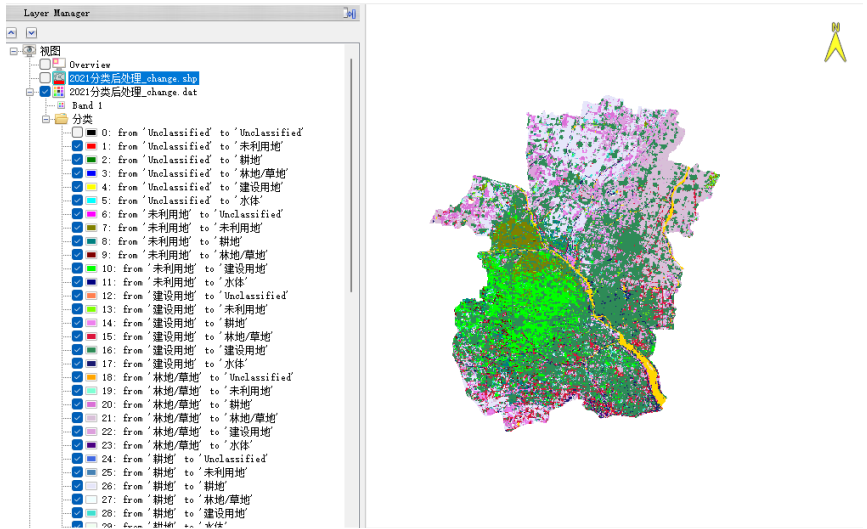


图 16 2014—2021 年土地利用类型变化监测图

3 结果分析

3.1 土地利用信息提取结果——土地利用类型混淆矩阵分析

本研究大部分土地利用类型分正确，但仍存在无法被准确分类的地物或识别有误，存在错分和误分的情况，如建设用地和未利用地极易混淆。为了验证分类的精度性，本研究进行了精度验证，表 1 为分类精度评价结果。其中总体精度指误差矩阵中正确的样本总数与所有样本总数的比值，Kappa 系数则是一种用于评估分类一致性的统计测量工具。

根据表 1 发现，2014 年的遥感影像图总体精度为 94.19%，Kappa 系数为 0.9256；2021 年的遥感影像图总体精度为 98.79%，Kappa 系数为 0.9840。因此各时相土地利用精度较高，均在 90%以上，Kappa 也均在 0.92 以上，整体精度和 Kappa 系数均满足要求。

表 1 2014 年与 2021 年各期影像分类精度

年份	总体精度	Kappa 系数
2014 年	94.19%	0.9256
2021 年	98.79%	0.9840

分类样本与结合样本计算出研究区土地利用类型分类混淆矩阵（表 2，表 3）。其中，用户精度指类别的正确像元总数占实际被分到该类像元的总数比例，制图精度指某类别的正确像元占该类总参考像元的比例。

读表 2，表 3 可以发现：

（一）2014 年遥感影像图分析：

- （1）水体：错分误差为 0.00%，漏分误差为 0.46%，用户精度为 100.00%，制图精度为 99.54%，分类的精度较高。
- （2）未利用地：错分误差为 0.00%，漏分误差为 7.59%，用户精度为 100.00%，制图精度为 92.41%，分类的精度效果较好，但漏分的误差较大于水体。
- （3）耕地：错分误差为 0.45%，漏分误差为 2.23%，用户精度为 99.55%，制图精度为 97.77%，分类的精度较好。
- （4）林地/草地：错分误差为 2.51%，漏分误差为 2.51%，用户精度为 97.49%，制图精度为 98.98%，分类的精度较低，有一定的误差。
- （5）建设用地：错分误差为 3.19%，漏分误差为 0.00%，用户精度为 96.81%，制图精度为 100.00%，分类的精度较高。

（二）2021 年遥感影像图分析：

- （1）水体：错分误差为 0.00%，漏分误差为 0.00%，用户精度为 100.00%，制图精度为 100.00%，分类的精度极高，误差小。
- （2）未利用地：错分误差为 42.54%，漏分误差为 1.03%，用户精度为 57.46%，制图精度为 98.97%，分类的精度效果较差，错分为建设用地的概率比较大。
- （3）耕地：错分误差为 0.00%，漏分误差为 0.00%，用户精度为 100.00%，制图精度为 100.00%，分类的精度较好。
- （4）林地/草地：错分误差为 0.00%，漏分误差为 0.00%，用户精度为 100.00%，制图精度为 99.85%，分类的精度较好。
- （5）建设用地：错分误差为 0.57%，漏分误差为 23.54%，用户精度为 99.43%，制图精度为 76.46%，分类的精度较低，被漏分的概率比较大。

分析得到，2014 年建设用地和水体的分类效果较好，生产者精度即制图精度分别为 100.00%和 99.51%，说明其分类基本正确；相比较之下，未利用地的制图精度仅为 92.41%，说明其被混淆为建设用地的概率较大；而耕地和林地/草地的制图精度分别为 97.77%和 98.98%，分类精度也较高，被错分的比较少。

2021 年的数据中，耕地和水体的分类效果最好，制图精度为 100.00%，说明在本次研究中并未与其他土地利用类型混淆，而建设用地的分类效果较差，制图精度仅有 76.46%，比较容易与其他地物混淆，其中部分未利用地会被错分为建设用地；未利用地和林地/草地的分类较好，分别为 98.97%和 99.85%，说明其他土地利用类型较少被错分为未利用地和林地/草地。

表 2 2014 年土地利用类型分类混淆矩阵

土地利 用类型	像元个数						用户 精度 /%	错分 误差 /%
	未利用地	耕地	林地/草地	建设用地	水体	合计		
未利用地	73	0	0	0	0	73	100.00	0.00
耕地	0	438	0	0	2	440	99.55	0.45
林地/草地	0	10	389	0	0	399	97.49	2.51
建设用地	6	0	4	334	1	345	96.81	3.19
水体	0	0	0	0	646	646	100.00	0.00
合计	73	440	399	345	646	1903		
制图精度/%	92.41	97.77	98.98	100.00	99.54			
漏分误差/%	7.59	2.23	1.02	0.00	0.46			

表 3 2021 年土地利用类型分类混淆矩阵

土地利用类型	像元个数						用户精度 /%	错分误差 /%
	未利用地	耕地	林地/草地	建设用地	水体	合计		
未利用地	289	0	0	214	0	503	57.46	42.54
耕地	0	1156	0	0	0	1156	100.00	0.00
林地/草地	0	0	676	0	0	676	100.00	0.00
建设用地	0	0	1	695	0	699	99.43	0.57
水体	3	0	0	0	719	719	100.00	0.00
合计	292	1156	0	0	719	3753		
制图精度/%	98.97	100.00	99.85	76.46	100.00			
漏分误差/%	1.03	0.00	0.15	23.54	0.00			

图 17 为利用 Arcgis 工具结合 ENVI 软件制作的 2014 年 12 月和 2021 年 12 月邳州市土地利用图。可以看到研究区土地利用分布呈现出明显的空间分布规律，建设用地沿水体分布，呈现出集中地、连片的分布特点，随着时间的推移，建设用地的面积也逐渐扩大；水体的分布相对稳定由西南向东北延伸；林地/草地分布广泛，散乱分布在水体周围以及研究区东北部，一些地形较为或不适合耕作的地区；未建设用地比重比较小，在研究区中零散分布，主要位于开发成本较高或生态较为脆弱的地区。

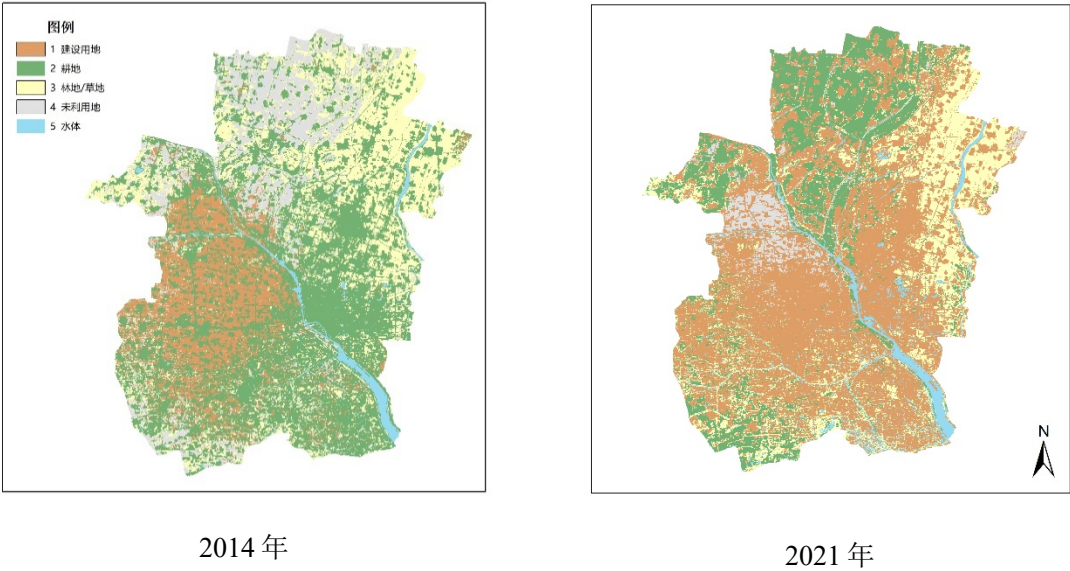


图 17 研究区各时相土地利用遥感分类图

3.2 土地利用变化动态分析——土地利用类型转移矩阵分析

3.2.1 土地利用面积变化

表 4 为 2014 年和 2021 年两期土地利用类型面积比例及其变化，方法如下：利用 ENVI 软件统计每个土地利用类型的像元个数以及每个像元的面积，通过计算公式像元个数*像元面积即可得到各土地利用类型的面积及其占比。由表 1 不难看出，研究区的土地利用类型以建设用地为主，2014 年建设用地占比为 38.73%、2021 年建设用地占比为 42.69%，八年之间发生了较大的变化，增加了近 3.96%。水体和耕地在八年间均发生了一定的比例增加，水体由 2014 年的 5.07%增长到 2021 年的 8.18%，耕地由 2014 年的 19.69%增长到 2021 年

的 25.89%。林地/草地和未利用地在 2014—2021 年间均发生了占比的降低，林地/草地在 2014—2021 年间由 26.66%降低到了 20.45%，降低了仅 6.5%，在 5 个土地利用类型中占比最小的未利用地在 2014—2021 年间由 9.84%降低到 2.81%，降低占比极大，近 7.03%。

表 4 2014 年和 2021 年两期土地利用类型解译数据

2014 年 2021 年	未利用地	耕地	林地/草地	建设用地	水体	2014 年合计
未利用地	68.5197	13.1283	12.5676	28.1547	0.0927	122.46
耕地	69.9462	705.0357	232.9587	117.6048	1.512	1127.06
林地/草地	30.6036	58.8357	516.8628	283.122	3.6018	893.03
建设用地	256.2426	78.0435	358.6464	1168.3719	5.5395	1866.84
水体	1.8639	12.3075	14.4405	120.8628	207.5103	356.99
2021 年合计	427.176	867.3507	1135.476	1718.1162	218.2863	4366.38

3.2.2 土地利用空间变化

表 5 为 2014—2021 年某研究区土地利用转移矩阵。整体分析可以推断研究区的土地利用空间变化（见图 16）如下：

（1）未利用地分析：从 2014 到 2021 年，未利用地转出面积为 53.94 公顷，即 $68.52+13.13+12.57+28.15+0.09$ ，主要向建设用地转移，未利用地转为建设用地的比例达 52.19%，即 $28.15/(68.52+13.13+12.57+28.15+0.09)$ ；其次为耕地，转移率为 39.88%，即 $24.34/(68.52+13.13+12.57+28.15+0.09)$ ；转入面积 358.66 公顷，即 $69.95+30.60+256.24+1.86$ ，总体上看，转入面积大于转出面积。

（2）耕地分析：从 2014 到 2021 年，耕地转出面积为 422.02 公顷，即 $69.95+232.96+117.60+1.51$ ，主要向林地/草地转移，耕地转为林地/草地的比例达 55.20%即 $232.96/(69.95+232.96+117.60+1.51)$ ；其次为建设用地，转移率为 27.87%即 $117.60/(69.95+232.96+117.60+1.51)$ ；转入面积 162.32 公顷即 $13.13+58.84+78.04+12.31$ ，总体上看，转出面积大于转入面积。

（3）林地/草地分析：从 2014 到 2021 年，林地/草地转出面积为 376.16 公顷，即 $30.60+58.84+283.12+3.60$ ，主要向建设用地转移，林地/草地转为建设用地的比例达 75.27%即 $283.12/(30.60+58.84+283.12+3.60)$ ；其次为耕地，转移率为 15.64%即 $58.84/30.60+58.84+283.12+3.60$ ；转入面积 618.61 公顷即 $12.57+232.96+358.65+14.44$ ，总体上看，转入面积大于转出面积。

（4）建设用地分析：从 2014 到 2021 年，建设用地转出面积为 698.47 公顷，即 $256.24+78.04+358.65+5.54$ ，主要向林地/草地转移，建设用地转为林地/草地的比例达 51.35%即 $358.65/(256.24+78.04+358.65+5.54)$ ；其次为未利用地，转移率为 28.77%即 $36.69/(256.24+78.04+358.65+5.54)$ ；转入面积 549.74 公顷，即 $28.15+117.60+283.12+120.86$ ），总体上看，转出面积大于转入面积。

（5）水体分析：从 2014 到 2021 年，水体转出面积为 149.47 公顷，即 $1.86+12.31+14.44+120.86$ ，主要向建设用地转移，水体转为建设用地的比例达 80.86%即 $120.86/(1.86+12.31+14.44+120.86+207.51)$ ；其次为林地/草地，转移率为 9.66%即 $14.44/(1.86+12.31+14.44+120.86+207.51)$ ；转入面积 10.75 公顷，即 $0.09+1.51+3.60+5.54$ ，总体上看，转出面积大于转入面积。

整体分析来看可以发现，邳州在 2014—2021 年间各类土地类型的连通性逐渐减弱，破碎化程度逐渐增大，耕地、水域、未利用地的形状趋于，离散度增加 [3]。

表 5 2014-2021 年某研究区土地利用转移矩阵（单位：hm²）

2014 年 2021 年	未利用地	耕地	林地/草地	建设用地	水体	2014 年合计
未利用地	68.5197	13.1283	12.5676	28.1547	0.0927	122.46
耕地	69.9462	705.0357	232.9587	117.6048	1.512	1127.06
林地/草地	30.6036	58.8357	516.8628	283.122	3.6018	893.03
建设用地	256.2426	78.0435	358.6464	1168.3719	5.5395	1866.84
水体	1.8639	12.3075	14.4405	120.8628	207.5103	356.99
2021 年合计	427.176	867.3507	1135.476	1718.1162	218.2863	4366.38

注：表中行表示 k 时期的 i 种土地利用类型，列表示 $k+1$ 时期的 j 种土地利用类型。

3.3 土地利用变化驱动力分析

土地利用变化主要影响因素包括自然和人文两大类。自然因素方面主要受气温因素影响，以 1 年为间隔对 2014-2021 年邳州市平均气温以及降水量进行统计（见图 18），可以发现在 8 年间，邳州地区的年平均气温在波动中逐渐上升，导致研究区林地/草地在生长关键期时受高温抑制，破坏光合作用和呼吸作用的平衡，面积逐渐缩减。

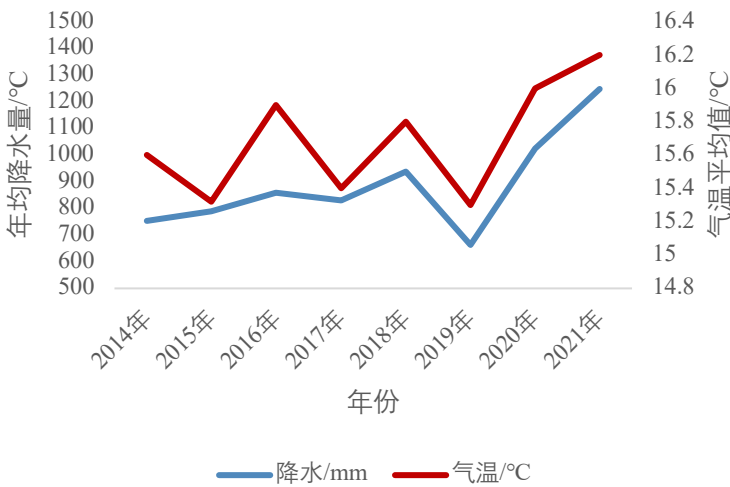


图 18 邳州市平均气温、降水量变化

人文因素则为邳州的社会经济部分，对邳州市 2014 年、2021 年部分社会经济指标进行统计（见表 6），在这 8 年期间，邳州市内总人口小幅增加，地区生产总值大幅提高，尤其以第二产业发展最为迅猛，可以看到工业、建筑业生产总值以及商品房销售面积均有所提高，快速城镇化推动邳州市大量的耕地、林地/草地、未利用地向建设用地转移，成为邳州市土地利用格局的主要驱动力。

表 6 2014 年、2021 年邳州市部分社会经济指标

指标	年份	
	2014 年	2021 年
年末总人口/万人	185.89	191.78
地区生产总值/万元	676.26	1108.22
第一产业/万元	100.28	165.03
第二产业/万元	294.78	444.84

表 6 续

工业/万元	205.03	385.75
建筑业/万元	107.30	181.07
第三产业/万元	245.90	385.75
商品房销售面积/万平方米	112.07	291.66

数据来源：2014 年邳州市统计年鉴、2021 年邳州市统计年鉴

4 总结

本研究基于遥感图像处理技术，对邳州市 2014 年至 2021 年的土地利用变化进行了监测和分析，发现在这 8 年间，建设用地的面积显著增加，而林地/草地和未利用地面积减少，水体和耕地面积有所增长，通过土地利用类型的动态监测发现，建设用地的增加主要来自于耕地、林地/草地和未利用地的转化，这主要由于社会经济的快速发展以及城镇化的快速建设。本研究不仅利用土地类型变化检测为邳州市的土地管理和城市规划提供了科学依据，帮助其实现社会经济和生态环境的可持续发展，还是一次极佳的地理教学情境素材。如今地理课程标准十分重视地理教学中地理信息技术的应用，对遥感图像的使用提出了全新要求[7]，遥感图像的使用在激发学生地理学习兴趣，加深学生地理印象以及形成深刻地理表象方面是极富有成效的，因此本节课可以作为高中地理必修二第二章第二节“城镇化”的教学遥感素材，通过邳州市 8 年间建设用地的大幅扩张帮助学生理解抽象的城镇化概念，掌握城镇化的发展变化过程，建立完整的知识体系。

本研究对于研究区的土地资源合理利用有一定的参考价值，但研究仍存在一定的局限性，遥感影响及个人解译存在一定的误差，造成分析结果的欠准确性，未来的研究需使用更多高分辨率的遥感影像以及地理信息技术，让地理造福邳州市人民乃至全人类。

参考文献

[1] 张洪森,角媛梅,徐秋娥,等. 滇池流域土地利用变化及其对水质影响研究综述[J]. 人民长江, 2023, 54(12): 65-73.DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2023.12.009.

[2] 胡子浩,杜崇,李瑞,等. 国内土地利用变化与生态安全可视化分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(04):140-142.

[3] 王东,王炼. 基于土地利用覆被变化的邳州市景观格局演化分析[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2021, 21(02): 13-18.DOI: 10.19712/j.cnki.jsjyxb.2021.02.004.

[4] 郭羽羽,胡召玲. 基于 GEE 的徐州市土地利用分类研究[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(01):17-21.

[5] 周兴东,于胜文,王志勇,等. 徐州市遥感图像土地利用分类方法研究[J]. 中国水土保持, 2007, (04): 57-58.DOI: 10.14123/j.cnki.swcc.2007.04.024.

[6] 姚娜,林宗坚,张景雄,等. 遥感影像分类后处理的地统计方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013,38(01):15-18.DOI:10.13203/j.whugis2013.01.017.

[7] 王天琦. 遥感图像在高中地理教学中的应用研究[D]. 聊城大学, 2023. DOI: 10.27214/d.cnki.glcslu.2023.000715.