

济南市城市绿色空间时空变化特征及其生态效应

夏雪宁

广州大学地理科学与遥感学院, 广东 广州

收稿日期: 2023年2月23日; 录用日期: 2023年4月12日; 发布日期: 2023年4月20日

摘要

绿色空间是生态系统必不可少的部分, 能够有效控制城市无序蔓延, 维持区域生态平衡, 在低碳城市和人居环境建设中具有重要的利用价值。因此, 研究城市绿色空间布局对合理规划城市、改善生态环境具有重要意义。基于此, 本文以济南市为研究对象, 对TM、ETM和OLI遥感影像数据进行监督分类处理, 分析2002到2015年济南市城市绿色空间的时空变化及其生态效应。结果表明, 2002~2015年间, 济南市城市绿色空间面积呈减少趋势, 减少了224.42 km², 其中林灌草地减少最多, 减少了130 km²; 土地利用类型变化较大的区域是商河县和济阳区; 绿色空间降低的潜在影响是城区空气质量状况的下降, 数据初步表明, 济南市年平均气温和环境可吸入颗粒物均呈上升趋势, 与绿色空间的降低呈现一定的同步性。

关键词

绿色空间, 时空变化, 监督分类, 济南市

The Spatial-Temporal Variation Characteristics and Ecological Effects of Urban Green Space in Jinan

Xuening Xia

School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Received: Feb. 23rd, 2023; accepted: Apr. 12th, 2023; published: Apr. 20th, 2023

Abstract

Green space is an essential part of the ecosystem. It can effectively control the disorderly sprawl of cities and maintain regional ecological balance. It has important utilization value in the construc-

tion of low-carbon cities and human settlements. Therefore, it is of great significance to study the layout of urban green space to rationally plan the city and improve the ecological environment. Based on this, taking Jinan as the research object, the TM, ETM and OLI remote sensing image data are supervised and classified to analyze the changes and ecological effects of urban green space in Jinan from 2002 to 2015 in this paper. The results show that from 2002 to 2015, in general, the green space in Jinan showed a decreasing trend, a total of 224.42 km², and the forest shrubs had the largest reduction, a total of 130 km²; the land use type changed greatly in Shanghe County and Jiyang District; the potential impact of the reduction of green space is the reduction of air quality in urban areas. The data preliminarily show that the annual mean temperature and environmental respirable particulate matter in Jinan are both increasing, showing a certain synchronization with the reduction of green space.

Keywords

Green Space, Spatial-Temporal Variation, Supervised Classification, Jinan

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化的发展,城市建设用地不断增加,占用了大量的绿色空间,影响了生态系统的平衡,致使生物多样性逐年减少,对人们的生活环境造成了负面影响[1]。城市绿色空间能够缓解生态环境压力[2],对城市生态环境有支撑和调节等作用[3],能有效地将城市各种要素有机结合起来,促进城市的健康发展[4]。特别是在社会危机时期(比如 COVID-19),城市绿色空间的积极影响会被放大,能够缓解人们长期焦虑的心态[5],是人类生存和发展的生态基础[6]。

当前对于城市绿色空间的研究是多方面的,包括城市绿色空间的概念、绿色空间信息提取方法、绿色空间生态效应等方向。城市绿色空间一词由城市开放空间转变而来[7],不同学科领域对其的定义不同。在景观建筑学中,城市绿色空间可以是城市区域中一切植被,这个环境不仅包括人居环境,还包括各种生物的生存环境[8];在地理学中,城市绿色空间应当包括河流、水域、农田、林地以及荒野等绿地[9];在生态学中,城市绿色空间包括城市园林、森林以及三维绿色空间等绿色空间网络[10]。综合以上学者对于城市绿色空间的相关概念界定,本文所研究的城市绿色空间包括城市范围内所有植被覆盖的区域,包括人工绿色空间和自然绿色空间。

在绿色空间信息提取方面,各种方法已经较为成熟,同时随着机器学习的发展,深度学习的各种模型也应用于土地信息的提取[11]。李莹莹等使用最大似然监督分类法进行土地分类,并用混淆矩阵进行精度评价,实验表明,土地分类的结果较好,实现了对上海市城镇绿色空间的数量结构演变、植被覆盖度演变和植被结构演变的综合分析评价[12];李镇等以陕北为研究区,使用 QuickBird 影像对该地区的土地切沟形态参数的精确度进行研究,采用目视解译对实验结果进行分析,结果表明,在草本覆盖的区域中,目视解译精度更高[13];林先成等借助空间分辨率较高的影像,使用面向对象方法,借助地物的纹理等特征,使得在数据源不变的情况下,参考信息更多,提取精度更高[14];彭慧等使用深度学习的方法,通过相同对象拥有类似的形状和纹理等特征的原理,自动识别不同的学习对象,从而实现面向高分辨率遥感影像的土地利用信息自动分类,实验表明,Deeplab 模型边界信息损失相对较少,分类精度更高[15]。

在绿色空间的生态效应研究方面,陈莉等借助 CITYGREEN 模型,研究绿地系统的生态服务功能,证明了城市绿地能够吸收有害污染物,阻止污染物在城区内扩散,从而缓解热岛效应[16];朱春阳等利用小尺度定量测定的方法,研究带状绿地结构变化对温湿效应的影响,表明郁闭度增加到 67%时,降温增湿效应显著且居于稳定[17];Schuch 等认为,城市绿色空间对于洪水排泄管理具有重要作用[18];Lafortzza 等通过研究发现,城市绿色空间能够提升人类幸福值[19];徐建波等通过遥感定量反演的的方法,综合评价了城市绿色空间的服务功能[20]。综上所述,城市绿色空间与生态环境息息相关,是城市发展中不可忽视的部分,在未来的城市规划中值得对其进行研究。

除了上述研究,对于绿色空间的研究还包括生态城市建设方面,不同研究者根据不同地区的地形地貌、环境问题与城市发展特性进行了研究,表明绿色空间因地制宜的规划对城市发展的必要性。张雅祺根据邯郸市城市发展的进程,分析了邯郸市生态城市建设的必要性和成效,提出了推动生态城市建设的七方面措施[21];周秀分析了温泉镇山地生态城镇规划的合理性,总结了生态指标如何影响生态城镇的规划设计[22];刘竹雅以成都市为例,从自然、经济、社会三方面对生态城市建设实践进行分析,并从方案、制度方面提出了生态城市建设的建议[23];裴子懿以长江中下游九个城市为例,对不同城市绿色空间格局要素与 PM2.5 浓度进行量化分析,总结出消减城市 PM2.5 浓度的绿色空间格局优化策略[24]。

基于此,本文以济南市为研究对象,基于 Landsat 的 2002~2015 年的遥感影像数据,对济南市城市绿色空间的时空变化及其生态效应进行分析,了解 2002 到 2015 年间济南市城市绿色空间的时空变化特征,为分析济南市城市发展进程、合理规划城市用地、改善生态环境提供研究基础和数据支持。

2. 研究方法 with 数据

2.1. 研究区域

2.1.1. 自然、社会和经济概况

本文的研究区域为行政区划改变前的济南市(图 1),是山东省的政、经、科、教中心[25]。济南市三面环山,黄河横贯济南市北部,泰山邻接济南市南部,地势北低南高,高差达 500 m [26]。

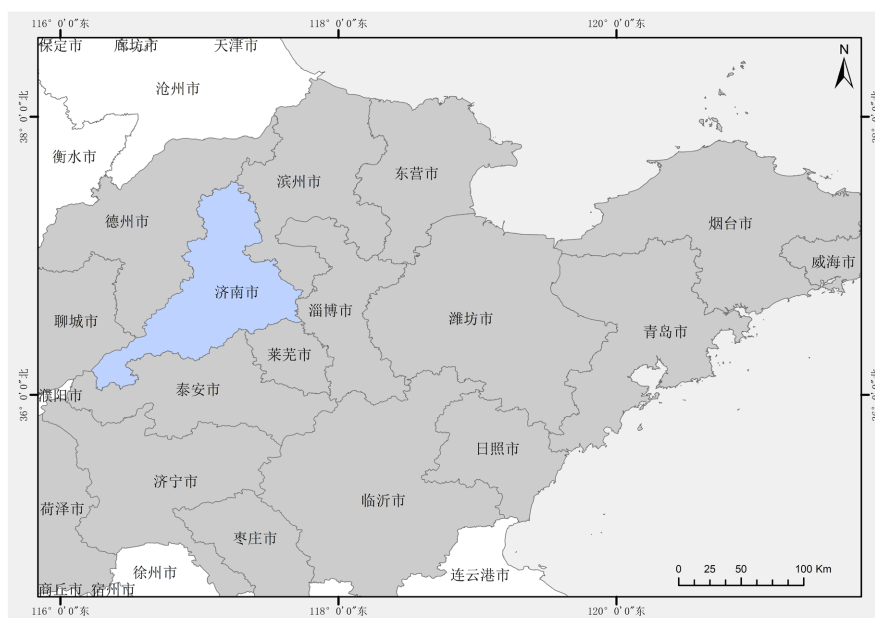


Figure 1. Geographic location of Jinan

图 1. 济南市地理位置图

济南市境内河流较多,天然泉水资源丰富,地形多为山地、丘陵和平原,树木以乔木和灌木为主,北部有辉长岩、闪长岩等岩浆岩,中部及北部地区有新世界第四级松散沉积物[27]。济南市是温带季风气候,年平均气温 13.5℃~15.5℃。截止 2019 年,济南市全市总面积 10,244 km²,城镇化率达到 71.21%。2019 年济南市地区生产总值(GDP) 9443.4 亿元,比上年增长 7.0%,其中第一产业增长 1.3%,第二产业增长 7.8%,第三产业增长 7.0%。

2.1.2. 城市化进程

济南市由于国家政策,城市发展迅速,城区规模从 2003 年的 200 km²,到 2019 年变为 760.6 km²,城市建设用地不断增多。城镇化率在 2000 年为 44.43%,到 2016 年已达 69.46%。孙小丽[28]根据城市化率指标将济南城市化发展时期分为 1949~1980 年缓慢期和 1980~2013 年快速期。李晓斌[29]根据诺瑟姆的城市化 S 型曲线,将济南城市化发展阶段分为 2003~2008 年的中后期减速阶段和 2009~2017 年的后期成熟阶段。

因此,对济南市城市绿色空间时空变化及其生态效应的研究,对于改善生态环境具有重要的理论和实践意义,同时也为相似城市的规划发展提供了参考案例。

2.1.3. 数据来源

在进行多时相遥感影像的土地覆盖变化监测中,遥感影像的选择至关重要[30],首先,应尽可能的选择同一季节的遥感影像[31];其次,遥感影像的时间间隔应适合当地的土地覆被变化情况。根据 Lunetta 等的研究发现,城市化较高地区,时间间隔过短易出现伪变化,时间间隔过长易遗失变化[32]。故本文选择覆盖济南市的 2002 年到 2015 年每年 10 月的 Landsat 遥感影像数据,但是由于 Landsat 影像数据不全,故无法保证每年的遥感影像都是 10 月份,故尽可能的选择接近 10 月的遥感影像。

遥感影像数据来源于地理空间数据云公开数据(<http://www.gscloud.cn/>),详细信息见表 1。2002、2009、2015 年济南市气象数据以及济南市经济、人口状况来源于济南市统计局公开数据(<http://jntj.jinan.gov.cn/>),2017 年全国市级边界矢量图、2017 年全国县级边界矢量图来源于山东地理信息公共服务平台共享数据(<http://shandong.tianditu.gov.cn/>)。由于济南市的行政区划在 2002 年到 2015 年间发生过多次变化,故本文决定采用获取到的 2017 年的行政区划作为本文的研究区域。

Table 1. Remote sensing data sources

表 1. 遥感数据源

数据源	轨道号	成像时间
Landsat ETM	122/035、122/034	2002/10/06
Landsat TM	122/035、122/034	2003/10/17
Landsat TM	122/035、122/034	2004/10/03
Landsat TM	122/035、122/034	2005/10/30
Landsat ETM	122/035、122/034	2006/11/02
Landsat ETM	122/035、122/034	2007/10/20
Landsat TM	122/035、122/034	2008/06/08
Landsat TM	122/035、122/034	2009/10/17
Landsat ETM	122/035、122/034	2010/11/29
Landsat ETM	122/035、122/034	2011/07/11

Continued

Landsat ETM	122/035、122/034	2012/10/01
Landsat ETM	122/035、122/034	2013/10/04
Landsat ETM	122/035、122/034	2014/10/07
Landsat OLI	122/035、122/034	2015/10/02

2.2. 数据处理与分析

借助 ENVI 5.3 软件对多时相遥感影像数据进行数据预处理、监督分类，最后利用 ENVI 5.3 自带的统计工具统计各类土地利用类型的面积；借助 ArcGIS 10.2 软件制作 2002 到 2015 年土地利用图和 2002~2015 年济南市土地利用变化图，提取济南县市级行政区划图；借助 Excel 软件分析绿色空间变化情况和不同时期绿色空间动态变化度，制作年平均气温、空气质量状况图表。

2.3. 技术路线

本研究的技术路线图如图 2 所示，首先对遥感影像数据和行政区划图进行预处理，得到用于图像解译的最终影像；其次，使用监督分类的方法得到济南市 2002 到 2015 年的土地利用图，对土地利用图进行变化分析；再次，通过统计不同地块的变化情况，对济南市土地利用变化进行动态监测；最后，将济南市绿色空间的变化与空气质量状况和年平均气温相结合，分析绿色空间与生态效应的关系。

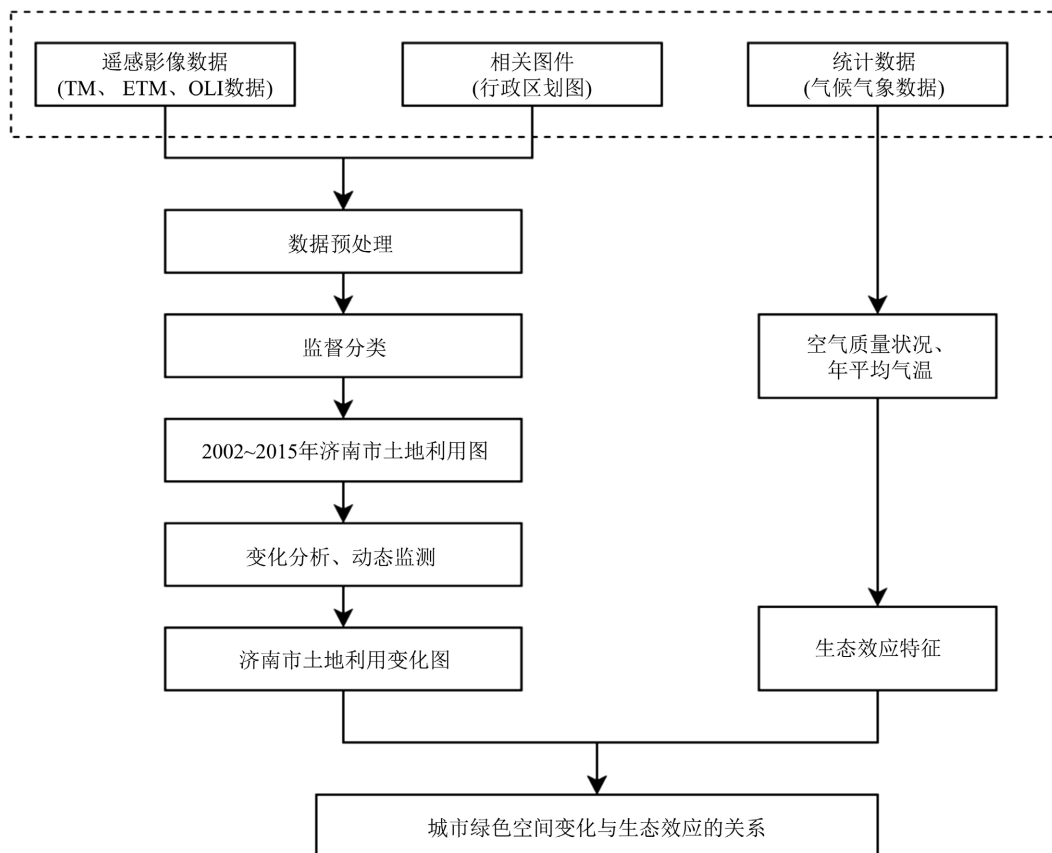


Figure 2. Technology roadmap
图 2. 技术路线图

3. 绿色空间组成结构与时空化特征

3.1. 绿色空间信息提取

3.1.1. 数据预处理

本研究对所用遥感数据(TM/ETM/OLI)的预处理过程如下:

1) 条带补充: 由于 2003 年 Landsat7 的机载扫描行校正器出现故障, 此后获得的影像都存在条带丢失的现象, 而本文的部分数据为故障数据, 故需要对存在问题的数据进行条带补充工作, 本文使用 ENVI 5.3 中的扩展插件“Landsat_gapfill”对故障数据进行补充。

2) 镶嵌: 将覆盖济南市的两景遥感影像(122/033、122/034) (表 1), 借助 ENVI 5.3 的 Seamless Mosaic 工具进行镶嵌。

3) 几何校正: 基准图为 2015 年的 Landsat8_OLI 遥感影像, 然后在 2002 到 2014 年的遥感影像中选择控制点进行配准。

4) 裁剪: 利用 2017 年全国市级边界矢量图, 使用 ArcGIS 10.2 提取济南市矢量边界图, 借助 ENVI 5.3 的不规则裁剪工具对遥感影像进行裁剪。

5) 辐射定标: 本文使用 ENVI 5.3 的通用辐射定标工具 Radiometric Calibration, 定标后波谱曲线数值主要集中在 0~10 之间。

6) 大气校正: 本文利用 FLAASH 工具进行大气校正处理。FLAASH 工具基于像元进行校正, 不仅可以校正由于漫反射引起的邻域效应, 而且可以进行卷云和不透明云层的分类图, 且参数设置简便, 校正时间相对较短。

3.1.2. 图像解译

1) 建立土地利用类型分类体系

本文参照研究区实际情况、《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)、《城市绿地分类标准》(CJJ/T 85-2017)和遥感数据的空间分辨率, 在土地利用类型分类体系中设置绿色空间和非绿色空间两个一级分类 (表 2), 水体、林灌草地、农田、建设用地和其他用地五个二级分类。

Table 2. Classification system of land use types

表 2. 土地利用类型分类体系

一级分类	二级分类	内容
绿色空间	水体	包括天然以及人工湖泊、河流、水库等区域
	林灌草地	包括具有植被覆盖的区域, 如草地、林地、灌木等, 主要为公园绿地、防护绿地等
非绿色空间	农田	包括耕地、水田、菜地等
	建设用地	包括各种已建成地、交通设施用地、工矿、城市居民点等各种建设用地
	其他用地	包括裸地、裸岩、未利用土地等

2) 执行分类




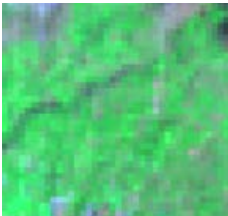
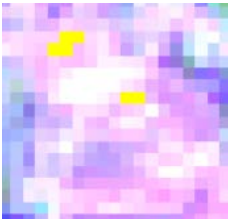
定义训练样本。利用 ENVI 5.3 的 ROI TOOL 工具, 借助高分辨率的谷歌卫星地图通过目视解译来定义训练样本, 遥感影像不同的波段组合方式可以使不同地物呈现不一样的色彩特征, 以得到不同的彩色

图像, 可以根据色彩特征, 借助高分辨率的地图影像来人工判别地物的类型。以 2015 年 Landsat8_OLI 影像为例, 具体解译判读标志见表 3。

本文设置每种类别的训练样本标记数量均不少于 350 个像元, 且均匀分布于整幅图像。利用 compute ROI separability 工具进行样本可分离性计算, 直到样本的可分离性符合分类的要求, 结果表明, 遥感影像的可分离性均大于 1.83, 可以进行分类。

Table 3. OLI image interpretation marks of each land type in the study area

表 3. 研究区内各土地类型的 OLI 影像判读标志

波段组合	类型	判读标志	图像特征
5, 6, 4 (R, G, B)	水体	主要有河流、湖泊、水库, 呈深度不同的蓝色	
7, 6, 4 (R, G, B)	城市建设用地	呈现为深紫色	
6, 5, 2 (R, G, B)	农田	农田呈现为高亮的绿色, 休耕地为弱墨绿色	
7, 5, 3 (R, G, B)	林灌草地	植被呈现为不同深度的绿色	
6, 5, 2 (R, G, B)	其他	包括裸地、岩石等, 主要分布在山体或建成区附近, 呈现为品红色	

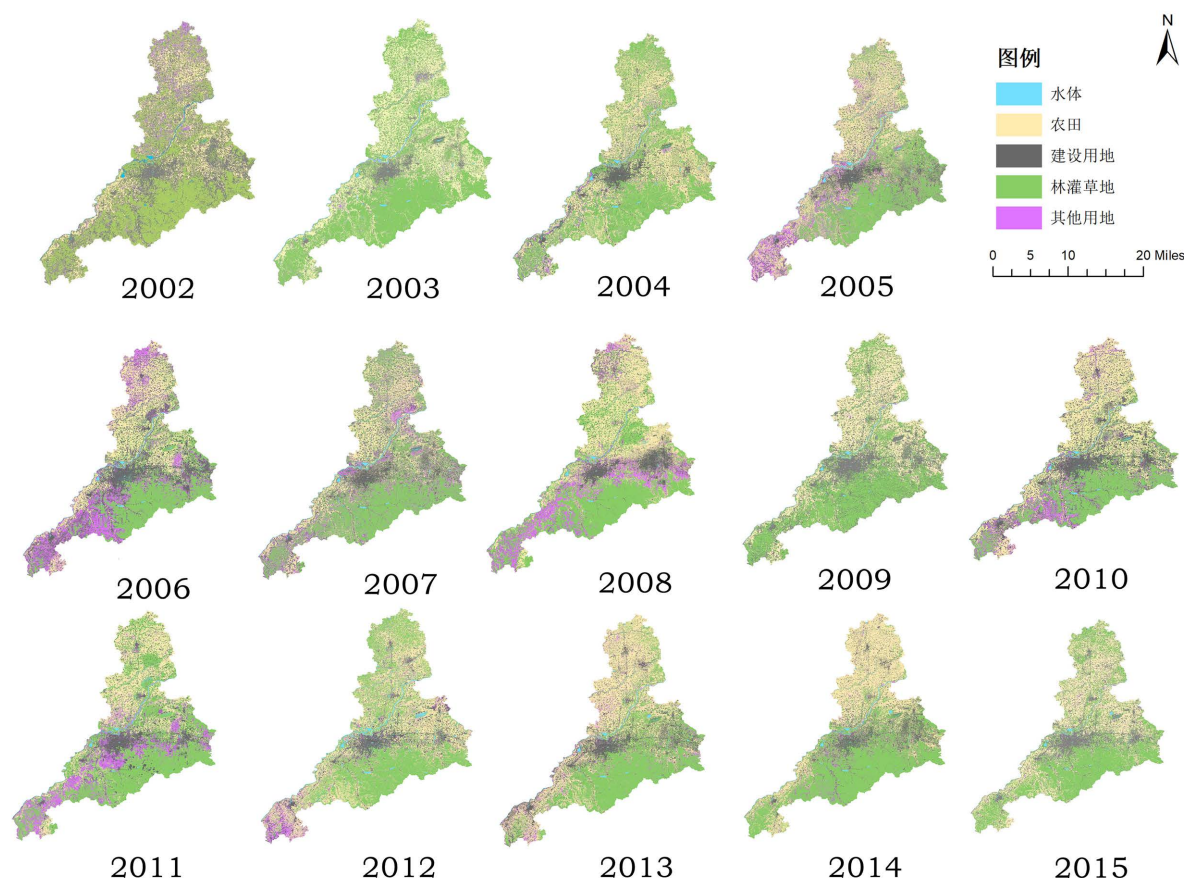


Figure 3. Land use map of Jinan from 2002 to 2015
图 3. 2002~2015 年济南市土地利用图

本文使用监督分类中的最大似然法，该方法根据计算得到属于每一类地物的像元值概率，使用概率密度函数对未定义的像元进行分类，判定其属于哪一类别的概率最大，从而完成分类，分类结果见图 3。图中蓝色代表水体，黄色代表农田，灰色代表建设用地，绿色代表林灌草地，紫色代表其他用地。

3.1.3. 评价分类结果

本文使用 ENVI 5.3 的混淆矩阵工具判断分类结果是否符合地物实际情况。2002 到 2015 年的分类精度评价结果中以 2002、2009、2015 年的精度为最高。

由表 4 可以看出，在 2002 年分类数据中，漏分误差和错分误差最大的是其他用地，漏分误差和错分误差最小的是水体。原因是其他用地中以裸地为主，而裸地的反射率较高，在图像上多呈白色或者品红色，易与建设用地和黄河附近的农田相混淆，所以漏分和错分的情况比较严重。总体精度为 80.01%，Kappa 系数为 0.72。

由表 5 可以看出，在 2009 年分类数据中，错分误差和漏分误差最大的是其他用地，错分误差和漏分误差最小的是水体。水体的可识别性较好，且黄河的水在真实颜色下成黄色，解译效果最好。总体精度为 80.21%，Kappa 系数为 0.73。

由表 6 可以看出，在 2015 年分类数据中，错分误差和漏分误差最大的是建设用地，错分误差和漏分误差最小的是水体。总体精度为 80.87%，Kappa 系数为 0.75。从分类精度评价结果中可以发现，解译的精度与解译者对地物类别的判别密切相关，受解译者判断地物程度准确性的影响较大。

Table 4. Accuracy evaluation results of land use classification in Jinan in 2002**表 4.** 2002 年济南市土地利用分类精度评价结果

	水体	农田	建设用地	林灌草地	其他用地	Total	Error C (%)
水体	1998	66	200	42	35	2341	14.65%
农田	69	505	20	46	17	657	23.14%
建设用地	222	23	820	21	21	1107	25.93%
林灌草地	21	53	18	499	15	606	17.66%
其他用地	43	22	49	17	261	392	33.42%
Total	2353	669	1107	625	349	5103	
Error O (%)	15.09%	24.51%	25.93%	20.16%	25.21%		

注: Error C = 错分误差; Error O = 漏分误差。总体精度 = 80.01%, Kappa = 0.72。

Table 5. Accuracy evaluation results of land use classification in Jinan in 2009**表 5.** 2009 年济南市土地利用分类精度评价结果

	水体	农田	建设用地	林、灌、草地	其他用地	Total	Error C (%)
水体	1067	33	76	35	30	1241	14.02%
农田	37	351	41	15	10	454	22.69%
建设用地	67	41	520	22	17	667	22.04%
林、灌、草地	31	21	17	267	20	356	25.00%
其他用地	23	19	16	15	170	243	30.04%
Total	1225	465	670	354	247	2961	
Error O (%)	12.90%	24.52%	22.39%	24.58%	31.17%		

注: Error C = 错分误差; Error O = 漏分误差。总体精度 = 80.21%, Kappa = 0.73。

Table 6. Accuracy evaluation results of land use classification in Jinan in 2015**表 6.** 2015 年济南市土地利用分类精度评价结果

	水体	农田	建设用地	林灌草地	其他用地	Total	Error C (%)
水体	1067	21	67	33	35	1223	12.76%
农田	19	330	18	25	26	418	21.05%
建设用地	77	22	367	27	60	553	33.63%
林灌草地	32	31	20	567	24	674	15.88%
其他用地	42	26	18	39	467	592	21.11%
Total	1237	430	490	691	612	3460	
Error O (%)	13.74%	23.26%	25.10%	17.95%	23.69%		

注: Error C = 错分误差; Error O = 漏分误差。总体精度 = 80.87%, Kappa = 0.75。

3.2. 绿色空间时空变化分析

3.2.1. 总体特征

由图 3 和统计结果可知, 2002 年到 2015 年济南市城市绿色空间面积呈下降趋势, 裸地起初呈上升趋势, 后又逐渐减少, 建设用地则一直呈现增长趋势, 这是由于 2000 年起步阶段, 济南市城市建设进程加剧, 大量土地被开发用于城市经济发展, 所以其他用地的面积呈上升趋势, 同时也有开拓农田用于建设的现象, 随着开发商的建设, 建设用地逐渐取代其他用地, 所以其他用地的面积又逐渐减少。由于生态环境的恶化, 政府出台政策, 社会和大众意识到环境的重要性, 农田和绿地被侵占的现象减少, 所以农田又有了上升的趋势。

根据土地利用的变化情况, 以及 2002、2009 和 2015 年的分类精度, 将济南市土地利用变化情况分为 2002 到 2009 年和 2009 到 2015 年两个阶段。

根据数据统计, 绿色空间下降了 224.42 km², 变化幅度为-2.81%, 2002 年到 2009 年变化幅度明显高于 2009 年到 2015 年。由表 7 可见, 水体在 2002 年的面积为 527.3 km², 2015 年为 432.88 km², 比例由 6.60%变为 5.42%, 变化幅度为-1.18%, 是变化幅度最小的土地利用类型; 林灌草地在 2002 年的面积为 1730.53 km², 2015 年为 1600.53 km², 比例由 21.65%变为 20.03%, 变化幅度为-1.63%, 仅比水体的变化幅度高 0.45%; 农田在 2002 年的面积为 4091.10 km², 2015 年为 3817.07 km², 比例由 51.19%变为 47.76%, 变化幅度为-3.43%, 值得注意的是, 2002~2009 年农田面积在减少, 而 2009~2015 年农田的面积则在增加, 这与政府的政策和社会大众的环保意识加强密切相关; 建设用地扩大迅速, 从 2002 年的 1027.91 km²到 2015 年变为 1693.39 km², 比例从 12.86%增长到 21.19%, 变化幅度为 8.33%, 是变化幅度最大的土地利用类型; 其他用地由 2002 年占总面积的 7.70%变为 2015 年占总面积的 5.61%, 变化幅度为 2.09%。除了农田, 其他土地利用类型在 2002~2009 年的变化幅度明显高于 2009~2015 年, 一方面是因为 2002~2009 年时间跨度较大, 一方面也是因为近些年来国家对于生态城市建设的重视, 人民对于生态环境质量的重视。

Table 7. Land use change in Jinan from 2002 to 2015

表 7. 2002~2015 年济南市土地利用变化情况

时间(年)	类型	水体	农田	建设用地	林灌草地	其他用地	非绿色空间	绿色空间
2002	面积(km ²)	527.30	4091.10	1027.91	1730.53	615.32	5734.33	2257.83
	百分比(%)	6.60	51.19	12.86	21.65	7.70	71.75	28.25
2009	面积(km ²)	426.20	3806.32	1592.59	1679.41	487.65	5886.56	2105.61
	百分比(%)	5.33	47.63	19.93	21.01	6.10	73.65	26.35
2015	面积(km ²)	432.88	3817.07	1693.39	1600.53	448.33	5958.79	2033.41
	百分比(%)	5.42	47.76	21.19	20.03	5.61	74.56	25.44
变化幅度	2002~2015 年变化幅度(%)	-1.18	-3.43	8.33	-1.63	-2.09	2.81	-2.81

3.2.2. 时空变化特征

本文利用 ArcGIS 10.2 软件提取济南县市级行政区划图, 制作 2002~2015 年的济南市土地利用变化图(图 4~6)。

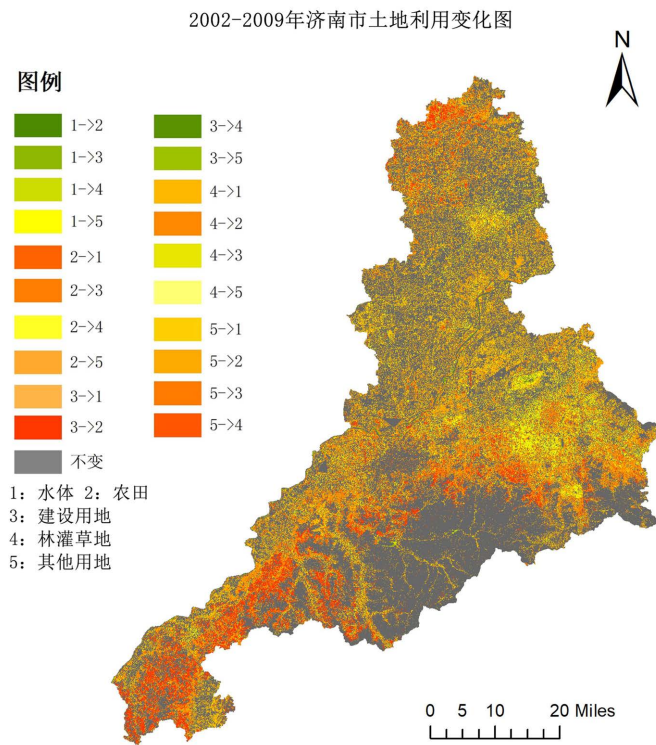


Figure 4. The change of land use map in Jinan from 2002 to 2009
图 4. 2002~2009 年济南市土地利用变化图

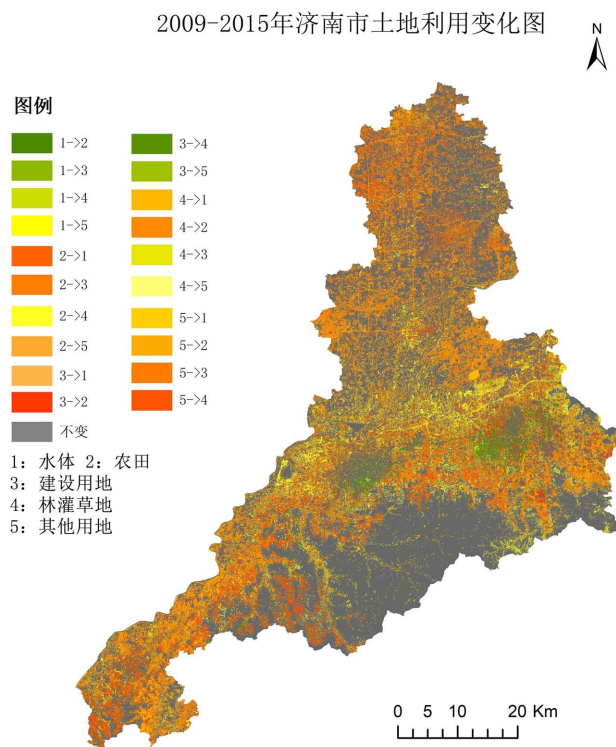


Figure 5. The change of land use map in Jinan from 2009 to 2015
图 5. 2009~2015 年济南市土地利用变化图

2002-2015年济南市土地利用变化图

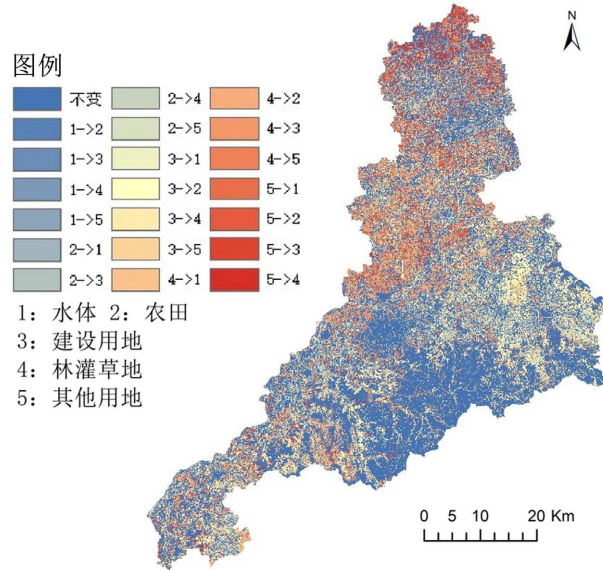


Figure 6. The change of land use map in Jinan from 2002 to 2015
图 6. 2002~2015 年济南市土地利用变化图

可以发现，未发生变化的绿色空间中占比最大的是林灌草地，未发生变化的非绿色空间中建设用地占比最大；水体发生变化的面积较小，发生变化的绿色空间以林灌草地转变为农田最多，值得注意的是，有不少建设用地、裸地也转变成了农田。

对比可看出，在空间上，济南市绿色空间变化最大的区域是商河县、济阳区和平阴县，变化最小的地区是历城区和历下区。分析原因是由于，历城区的地形以山地为主，所以城市建设对其的影响没有其他区域大，而历下区由于是城市中心，开发较早，已经比较发达，因为近些年对其进行的建设并没有改变其原有的土地类型，商河县和济阳区属于经济发展相对落后区域，随着济南市的城市化建设、经济发展，开发商受政府政策和发展时机的影响，开始选择这几个区域进行开发建设，因而土地利用变化较大。

利用单一类型动态变化度可以分析济南市 2002~2015 年每种土地利用类型的面积变化情况[33]，其公式为：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a * T} * 100\% \quad (1)$$

式中： U_a 、 U_b 为 2002 年和 2015 年某种土地利用类型的面积， T 为间隔时段。本文的间隔时段为 13 年，故动态变化度可以称作年均变化度。

Table 8. Dynamic change degree of green space in different periods of Jinan
表 8. 济南市不同时期绿色空间动态变化度

分类	2002~2009	2009~2015	2002~2015
水体(%)	-2.74	0.26	-1.38
农田(%)	-0.99	0.05	-0.52
林灌草地(%)	-0.42	-0.78	-0.58
建设用地(%)	-0.99	1.05	4.98

由表 8 可知,在整个研究时间段内,年均变化度最高的是建设用地,为 4.98%,年均变化度最低的是农田,为-0.52%;在 2002~2009 年,林灌草地的年均变化度最低,为-0.42%,水体的年均变化度最高,为-2.74%;在 2009~2015 年,建设用地的年均变化度最高,为 1.05%,农田的年均变化度最低,为 0.05%。

4. 绿色空间时空变化的生态效应

基于上述研究发现,济南市在 2002~2015 年间绿色空间总体上面积减少,尤其是林灌草地面积减少,在空间上,商河县和济阳区的绿色空间结构变化最大,历城区变化最小。

查阅文献发现,张梦瑶通过研究兰州新区的植被覆盖度变化产生的生态效应,发现随着植被覆盖度减少,该地区的热度上升,湿度下降,推测生态环境质量变好与植被覆盖度增高有莫大关系[34];张文强等以晋西南黄土高原区为研究对象,研究发现,该地区植被覆盖度和生态指数的变化趋势基本符合,生态环境质量受植被覆盖度的影响[35];李应鑫等以云南省九大高原湖泊流域为研究对象,研究发现,该地区植被指数与气温、降水等气候因子有一定的相关性[36];余欣璐等以上海市为例,研究发现,植被覆盖度影响土地滞留 PM2.5 的能力,当植被覆盖度增加时,其滞留能力提高,以林地的滞留能力为最强[37];李彤彤等对城市绿地影响空气中持久性有机污染物浓度水平进行讨论,指出城市植被对改善空气质量起着重要作用[38]。

4.1. 环境质量状况变化

大气污染和空气质量状况主要与汽车尾气等人为因素有关,但是基于上述文献可知,城市绿色空间的变化会对环境质量状况产生潜在影响,分析济南市相关的大气数据(图 7)发现,2002~2009 年济南市二氧化硫浓度年均值波动性大,二氧化氮、可吸入颗粒物(PM10)浓度年均值主要呈减少趋势。2009~2015 年,济南市二氧化氮、可吸入颗粒物(PM10)、二氧化硫浓度年均值均增加,且增长迅速,2013 年三者浓度均达到顶峰,2013 年到 2015 年三者均呈下降趋势。在时间序列上,其与济南市绿色空间面积减少、非绿色空间面积增大有一定的同步性,故绿色空间的降低对环境质量变化有一定的影响。

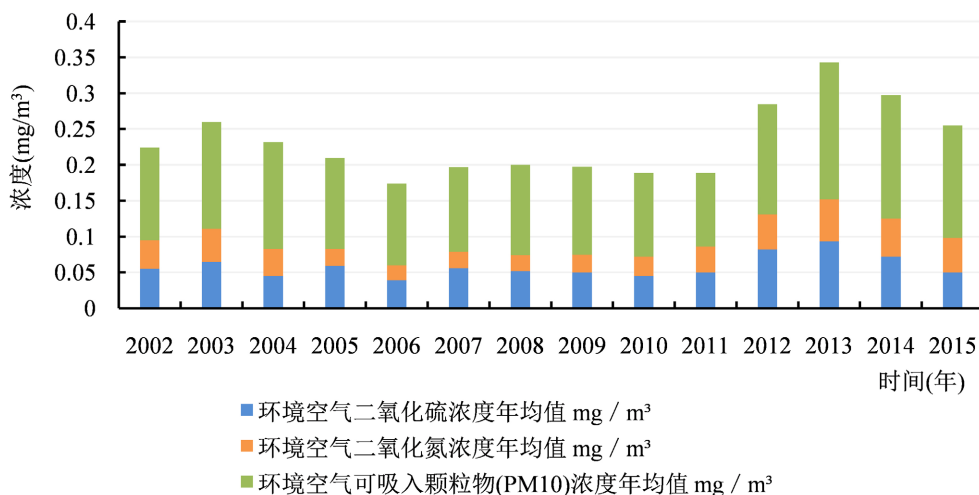


Figure 7. Change chart of environmental quality in Jinan from 2002 to 2015

图 7. 2002~2015 年济南市环境质量状况变化图

4.2. 年平均气温变化

由图 8 可知,2002~2006 年济南市年平均气温呈波动状态,2006~2011 年年平均气温下降迅速,

2011~2013 年年平均气温增长迅速, 于 2013 年到达峰值。气温变化主要与全球性气候变化有关, 但从时间序列上看其与绿色空间面积的减少有一定的同步性, 因此推测年平均气温的变化一定程度上受绿色空间变化的影响。

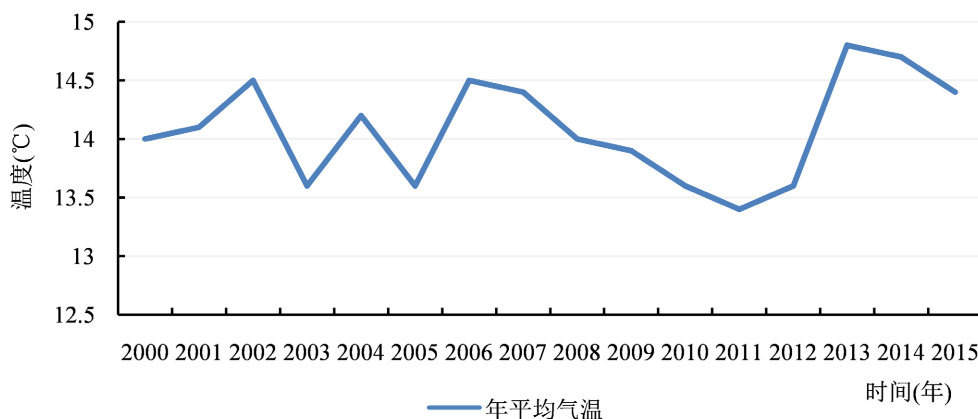


Figure 8. Annual mean temperature change in Jinan from 2000 to 2015

图 8. 2000~2015 年济南市年平均气温变化

5. 结论与讨论

济南市作为中国东部沿海经济大市和环渤海南翼中心城市, 是全省城市化进程较为迅速的地区, 生态环境难免受到一定的负面影响, 所以亟待优化现有的城市建设格局, 增强城市绿色空间生态效益, 提高人们的生活环境质量。本文以济南市城市绿色空间为研究对象, 融合 RS 和 GIS 技术, 量化城市绿色空间时空变化特征及其生态效应。研究结论如下:

1) 总体上, 济南市城市绿色空间面积呈下降趋势, 由 2002 年所占比重为 28.25% 到 2015 年占比重 25.44%, 其中林灌草地下降幅度最大, 水体的下降幅度最小, 而非绿色空间中建设用地的变化最大。2002~2009 年各类土地利用类型的变化幅度明显大于 2009~2015 年。

2) 通过对绿色空间时空变化进行分析, 未发生变化的土地利用类型以林灌草地为最多, 其次是建设用地, 发生变化的以林灌草地转变为农田居多, 值得注意的是, 也有建设用地转变为农田或者林灌草地的现象。

3) 通过对环境质量状况和年平均气温的统计分析, 2002~2011 年、2013~2015 年二氧化硫、可吸入颗粒物(PM10)和二氧化氮的浓度年均值均为减少状态, 而在 2011~2013 年均为增加状态, 且均在 2013 年达到峰值。年平均气温在 2006~2011 年减少迅速, 2011~2013 年增长迅速, 并于 2013 年达到峰值。观察两者与绿色空间变化的关系, 认为绿色空间的降低对二者有一定的影响。

通过对绿色空间与生态效应的初步研究, 发现环境空气质量状况与绿色空间息息相关, 在后续的城市规划中应合理估算城市绿色空间的辐射范围, 避免不合理蔓延。本文在土地分类时, 由于数据分辨率较低、分类方法依赖于解译者等原因, 分类的精度具有不确定性, 还有待提高, 后续进一步研究可以采用哨兵数据、高分影像数据等高分辨率数据, 并选择受人工干预较少的提取方法。同时, 本文仅初步分析了环境质量状况与年平均气温的变化, 后续应从热岛效应、PM2.5 浓度等具体方面研究绿色空间的生态效应。

参考文献

[1] 姚侠妹, 陈媛媛, 偶春, 等. 城市绿色空间时空演变及其生态效益研究——以合肥市区为例[J]. 长江流域资源与

- 环境, 2023, 32(1): 51-61.
- [2] 李莹莹. 城镇绿色空间时空演变及其生态环境效应研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [3] 刘雨. 城市地表热环境的影响因素与尺度效应研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2022.
- [4] Ugolini, F., Massetti, L., Calaza-Martínez, P., *et al.* (2022) Understanding the Benefits of Public Urban Green Space: How do Perceptions Vary between Professionals and Users? *Landscape and Urban Planning*, **228**, Article ID: 104575. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104575>
- [5] Ugolini, F., Massetti, L., Pearlmutter, D., *et al.* (2021) Usage of Urban Green Space and Related Feelings of Deprivation during the COVID-19 Lockdown: Lessons Learned from an Italian Case Study. *Land Use Policy*, **105**, Article ID: 105437. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105437>
- [6] 李启珍, 胡希军, 韦宝婧, 等. 长沙市绿色空间与城市扩张耦合关系研究[J]. 经济地理, 2022, 42(11): 87-94.
- [7] 余琪. 现代城市开放空间系统的建构[J]. 城市规划汇刊, 1998(6): 49-56.
- [8] Kabisch, N. and Haase, D. (2013) Green Spaces of European Cities Revisited for 1990-2006. *Landscape and Urban Planning*, **110**, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.017>
- [9] Bengston, D.N., Fletcher, J.O. and Nelson, K.C. (2004) Public Policies for Managing Urban Growth and Protecting Open Space: Policy Instruments and Lessons Learned in the United States. *Landscape and Urban Planning*, **69**, 271-286. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.007>
- [10] 鲁敏, 刘佳, 李亚男. 济南市生态园林绿地系统构建的途径与策略[J]. 山东建筑大学学报, 2008, 23(5): 377-380.
- [11] Srivastava, S., Vargas Muñoz, J.E., Lobry, S., *et al.* (2020) Fine-Grained Landuse Characterization Using Ground-Based Pictures: A Deep Learning Solution Based on Globally Available Data. *International Journal of Geographical Information Science*, **34**, 1117-1136. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1542698>
- [12] 李莹莹, 黄成林, 张玉. 快速城市化背景下上海绿色空间景观格局梯度及其多样性时空动态特征分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(7): 1115-1124.
- [13] 李镇, 张岩, 杨松, 等. QuickBird 影像目视解译法提取切沟形态参数的精度分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 179-186.
- [14] 林先成, 李永树. 面向对象的成都平原高分辨率遥感影像分类研究[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(3): 366-372.
- [15] 彭慧, 管佳, 闫保银. 基于 D-LinkNet 和 Deeplab 网络模型的土地利用信息自动化提取研究[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(24): 174-178.
- [16] 陈莉, 李佩武, 李贵才, 等. 应用 CITYGREEN 模型评估深圳市绿地净化空气与固碳释氧效益[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 272-282.
- [17] 朱春阳, 李树华, 纪鹏. 城市带状绿地结构类型与温湿效应的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1255-1260.
- [18] Schuch, G., Serrao-Neumann, S., Morgan, E., *et al.* (2017) Water in the City: Green Open Spaces, Land Use Planning and Flood Management—An Australian Case Study. *Land Use Policy*, **63**, 539-550. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.042>
- [19] Laforteza, R., Carrus, G., Sanesi, G., *et al.* (2009) Benefits and Well-Being Perceived by People Visiting Green Spaces in Periods of Heat Stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, **8**, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>
- [20] 徐剑波, 刘振华, 宋立生, 等. 基于遥感的广州市城市绿地生态服务功能评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2): 440-445.
- [21] 张雅祺. 邯郸生态城市建设研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2019.
- [22] 周秀. 基于景观都市主义的山地生态城镇规划研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- [23] 刘竹雅. 基于技术创新驱动的成都生态城市建设研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- [24] 裴子懿. 城区绿色空间格局与 PM_{2.5} 浓度相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2021.
- [25] 纪维宠. 全面二孩背景下我国城市托育服务问题研究——以济南市为例[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2021.
- [26] 赵彦军, 徐宗学, 赵刚, 等. 城市化对济南小清河流域产汇流的影响研究[J]. 水力发电学报, 2019, 38(10): 35-46.
- [27] 徐晶, 徐征和, 李伟, 等. 济南市 1970-2016 年降雨侵蚀力时空变化[J]. 山地学报, 2018, 36(3): 391-400.
- [28] 孙小丽. 济南市气候变化特征及城市化的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [29] 李晓斌. 城市化进程与饮用水安全耦合关系研究——以济南市为例[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2019.

-
- [30] 周斌, 杨柏林. 运用多时相直接分类法对土地利用进行遥感动态监测的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 263-268.
- [31] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2013: 23-26.
- [32] Lunetta, R.S., Johnson, D.M., Lyon, J.G., *et al.* (2004) Impacts of Imagery Temporal Frequency on Land-Cover Change Detection Monitoring. *Remote Sensing of Environment*, **89**, 444-454. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.022>
- [33] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533-540.
- [34] 张梦瑶. 兰州新区植被覆盖度变化及其生态效应评估[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州财经大学, 2019.
- [35] 张文强, 孙从建, 李新功. 晋西南黄土高原区植被覆盖度变化及其生态效应评估[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1748-1758.
- [36] 李应鑫, 李石华, 彭双云. 云南省九大高原湖泊流域 NDVI 时空演变及其与气候的响应关系[J]. 水土保持研究, 2020, 27(4): 192-200.
- [37] 余欣璐, 高吉喜, 张彪. 基于城市绿地滞尘模型的上海市绿色空间滞留 PM_{2.5} 功能评估[J]. 生态学报, 2020, 40(8): 2599-2608.
- [38] 李彤彤, 谢淑雅, 刘颖. 植物影响空气中持久性有机污染物的研究进展[J]. 环境化学, 2020, 39(4): 891-899.