徐州市区的土地利用变化及其生态环境效应

王家慧，梁 亮，黄 婷，罗 翔，林 卉
（江苏师范大学 地理测绘与城乡规划学院，江苏 徐州 221116）

摘 要：[目的] 研究徐州市区的土地利用变化及其生态环境效应，为土地的合理规划以及区域经济与生态环境的平衡提供理论支持和参考依据。[方法] 以土地利用转移矩阵和叠加分析为工具，分析徐州市中心城区的土地利用类型的动态变化特征和空间格局演变规律，并通过 NDVI 和区域生态环境质量指数分析土地利用变化的生态环境效应。[结果] 基于多源遥感数据的分类回归树（CART）分类结果，其 Kappa 系数均大于 0.90；整个研究区耕地面积大幅减少，建筑用地迅速增加。郊区较多土地类型转变为建筑用地，在 2004—2016 年期间，研究区 NDVI 低值区域逐步扩大，但生态环境质量先由 0.323 增加为 0.360，后下降至 0.320。[结论] 2004—2016 年徐州城市扩张导致耕地大面积较少，景观破碎化加剧，但城市建设过程中绿地面积增加，整体生态环境质量稍有提升。建议进一步加强徐州城区景观格局的合理规划，降低城市化进程给生态环境带来的负面影响。

关键词：土地利用变化；生态环境效应；区域生态环境质量；徐州市区
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)06-0113-08 **中图分类号**：S157.1，P467

文献参数：王家慧，梁亮，黄婷，等. 徐州市区的土地利用变化及其生态环境效应[J]. 水土保持通报，2018，38(6)：113-120. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.20181105.001. Wang Jiahui，Liang Liang，Huang Ting，et al. Land use change and ecological effects in downtown Xuzhou City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2018，38(6)：113-120.

Land Use Change and Ecological Effects in Downtown Xuzhou City

WANG Jiahui，LIANG Liang，HUANG Ting，LUO Xiang，LIN Hui
（*School of Geography Geomatics and Planning，Jiangsu Normal University，Xuzhou，Jiangsu* 221116，*China*）

Abstract：[Objective] The land use change and ecological environment effect in Xuzhou City were studied in order to provide theoretical support and reference basis for rational land planning and balance of regional economy and ecological environment. [Methods] The dynamic changes of land use types and spatial pattern evolution of land use in downtown Xuzhou City were investigated based on the analysis of land use transfer matrix and overlay. The ecological environmental effects of land-use changes were analyzed using NDVI and regional ecological environmental quality index. [Results] The Kappa coefficient of multi-source remote sensing data was higher than 0.90 based on results of classification and regression tree (CART). The area of cultivated land was greatly reduced，and construction land was increasing rapidly. Much suburb area has been converted into building land. During the period of 2004—2016，the low value zone of NDVI in Xuzhou City gradually expanded，but the ecological environment quality increased from 0.323 to 0.360，and then decreased to 0.320. [Conclusion] From 2004 to 2016，the urban expansion of Xuzhou City resulted in less farmland and intensified landscape fragmentation，but the acreage of greenbelt increased during the urban construction process and the overall ecological environment quality improved slightly. It is suggested to further strengthen the reasonable planning of urban landscape pattern and reduce the negative impact of urbanization on the ecological environment.

Keywords：**LUCC；ecological environmental effect；regional ecological environment quality；Downtown Xuzhou City**

收稿日期：2018-05-14 **修回日期**：2018-07-11
资助项目：江苏省自然科学基金项目“多源遥感数据支持下的城市植被碳汇估算方法研究”(BK20181474)；遥感科学国家重点实验室开放基金(OFSLRSS201804)；江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX17_1572；KYCX18_2157)；江苏高校优势学科建设项目(PAPD)
第一作者：王家慧(1994—)，女(汉族)，江苏省徐州市人，硕士研究生，研究方向为环境遥感。E-mail：1178296929@qq.com。
通讯作者：梁亮(1981—)，男(汉族)，湖南省涟源市人，博士，副教授，主要从农业遥感和环境遥感方面的研究。E-mail：liangliang198119@163.com。

在近年来的年度全球风险调查中,环境风险日益突出,环境类的5种风险均高于平均水平[1]。世界人口的持续增长以及城市化进程的加速,进一步激化了人地矛盾,土地利用类型的变化将是未来人类社会面临最大的挑战之一[2]。土地利用类型的变化往往会直接或间接地产生各种生态环境问题[3]。由土地利用类型的变化导致的环境变化成为学术界最为关心的热点问题[4]。

国内外诸多学者在土地利用类型变化对生态环境的影响上做了大量研究。吴海珍等[5]采用多期Landsat影像,运用地理信息系统(geographic information system, GIS)方法提取隔年的多伦县土地利用动态变化数据,并通过中国陆地生态系统的服务价值测算方法测算了多伦县土地利用变化引起的生态系统服务价值变化;Du和Huang[6]基于1995—2014年遥感影像对杭州土地利用变化的生态环境效应进行研究;Navneet K等[7]结合土壤和水评估工具分析印度Kharun流域上游区域土地利用变化与水资源之间的响应关系。

目前国内外学术研究重要集中于生态敏感脆弱区或经济发达区域,对空间异质性和复杂性较高的中心城区尤其是矿产资源型城市中心城区的土地利用变化及其生态环境效应研究较少。徐州市作为我国华北重要的煤炭基地,随着不可再生资源的开采和生态环境的破坏,不得不面临城市转型的问题。

近年来,徐州正由矿产资源城市逐步转向生态旅游城市,同时,徐州市处在城市化快速发展阶段,中心城区土地利用变更频繁。因此,本研究基于遥感数据,分析土地利用/覆盖的动态变化特征,并通过景观指数、归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)和区域生态环境质量指数,评价近年来徐州市生态转型工作进展,为土地的合理规划以及区域经济与生态环境的平衡提供理论支持和参考依据。

1 研究区概况

徐州(东经116°22′—118°40′,北纬33°43′—34°58′)地处苏鲁豫皖交界处,是淮海经济区中心城市和"一带一路"重要节点城市,全国重要的综合性交通枢纽,同时也是中国重要的煤炭产地和电力基地。地形以平原为主,平均海拔约在30～50 m之间,气候为温带季风气候,年均温约为14 ℃,年均降水量为800～900 mm,植被以人工侧柏为主,覆盖全市大部分山地丘陵[8]。

徐州地区矿产有煤、铁、钛、石灰石、大理石等30多种,其中以煤为主,产量最高,大规模开采已经长达130 a多,为全省提供了大量的煤。然而,自20世纪90年代以来,煤炭储量随着开采日益萎缩,资源枯竭,城市中采煤塌陷地以及工矿废弃地增多,城市环境恶化。

近年来,徐州市进入转型期,改善城市景观和生态环境,针对采煤塌陷地和工矿废弃地进行复垦,将其面积置换化为城市建设用地指标,此外,对难以复垦的塌陷地纳入绿地规划系统,进行生态环境修复,将其转变为湿地生态系统,如贾汪潘安湖,九里区的九里湖等。

2 数据与方法

2.1 数据及处理

本文选用2004—2016年(以3 a为间隔)的5期Landsat遥感影像、天地图徐州电子地图及行政区划图,运用ENVI软件对遥感影像进行预处理,并计算获取NDVI[9]和迭代自组织(iterative self-organizing data analysis techniques algorithm, ISODATA)[10]分类数据。

本研究参考1∶10万制图比例尺的土地利用分类系统,根据土地的资源属性和利用方式,将研究区分为耕地、林地、草地、水体、建筑用地以及未利用地6个土地类型[11-12]。此外,根据王秀兰[13]、李晓文[14]等的相关研究成果,对一级土地利用类型所具有的生态环境质量指数进行模糊赋值(表1)。

表1 土地利用生态环境指数

一级类型	耕地	林地	草地	水体	建筑用地	未利用地
区域生态质量指数	0.25	0.95	0.75	0.65	0.2	0.1

2.2 分类方法及精度评价

分类回归树(classification and regression tree, CART)是通过对测试变量和目标变量构成的训练数据集的循环二分形成二叉树形式的决策树结构[15]。由于可利用多源数据,该方法具有分类精度高、简单高效的优点,从而被广泛使用[16]。因此,本研究利用Landsat TM/OLI的多光谱波段,辅之以NDVI数据和ISODATA分类数据,通过CART算法对研究区遥感影像分类,然后参照历年天地图徐州的航拍影像对分类结果图像进行局部修改,并采用总体精度和Kappa系数对分类结果进行精度评定。

2.3　土地利用类型动态变化分析

土地利用转移矩阵是用于定量描述系统分析中的系统状态与状态转移[14],可以详细地描述各土地利用类型变化的数量、去向以及来源,因此,根据其能够准确了解不同土地利用类型的时空结构演变过程。本文基于不同时期的土地利用类型图,在 ArcGIS 中通过空间叠加运算,计算出不同时间段内土地类型的转移矩阵。

2.4　生态环境评价指标

城市作为人类最主要的生活聚集地,对其生态环境进行评价,有利于提高城市可持续发展能力和生态宜居能力和完善城市生态环境保护体系。本文利用景观格局指数、NDVI 和区域生态环境质量指数等指标,对徐州市中心城区生态环境质量进行评价和分析。

景观格局指数。景观格局指数可以直观地反映出景观的空间布局和结构组成,被广泛应用于景观格局的分析中。对研究区景观指数的分析可以揭示区域景观格局变化的时空分布特征。本文选用景观斑块特征指数、景观异质性指数与景观空间关系指数 3 类指标对徐州是中心城区景观变化进行分析[18]。其中斑块特征指数包括斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、边缘密度(ED)以及景观形状指数(LSI),景观异质性指数包括蔓延度(CONTAG)以及散布与并列指数(IJI),景观空间关系指数包括分离指数(SPLIT)、香农多样性指数(SHDI)和聚合度(AI)指数。

NDVI 指数。NDVI 可用来表征研究区植被覆盖率与生长状态。为降低和消除云、大气与太阳高度角等因素的影响,本文选择云量小于 10%的 Landsat 遥感影像,利用最大值合成法(max value composites, MVC)计算当年的 NDVI,然后利用斜率趋势分析算法计算研究区域 2004—2016 年 NDVI 的变化趋势。

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \tag{1}$$

式中:NIR——近红外波段; R——红光波段。

$$Slope=\frac{n\times\sum_{i=1}^{R}i\times NPP_i-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{R}NPP_i}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^2-(\sum_{i=1}^{n}i)^2} \tag{2}$$

式中:i——2004—2016 年的序列号; n——时间序列的长度; NPP_i——第 i 年的 NPP 值。当 Slope>0 时,表明在该研究时间段 NPP 值上升;当 Slope<0 时,表明 NPP 值下降。

区域生态环境质量指数(EV)。区域生态环境质量指数结合区域内各种土地类型的面积比例和其所具有的生态环境质量,定量化地描述某一区域内土地利用变化的生态环境效应,总体评价区域内生态环境质量状况,其变化可以反映区域生态环境质量的变化[18]。其计算公式为:

$$EV=\sum_{i=1}^{N}LU_i\times C_i/TA \tag{3}$$

式中:LU_i,C_i——该区域内 t 时间第 i 中土地类型的面积和生态环境质量指数; TA——该区域总面积; N——土地利用类型的数量。

区域土地利用变化类型生态贡献率(LEI)。区域土地利用变化类型生态贡献率用于表征由土地利用变化造成的区域生态环境质量的变化,可以较好的衡量区域生态质量对土地类型转变的响应状况[3]。其计算公式为:

$$LEI=(LEI_{i+1}-LE_i)LA/TA \tag{4}$$

式中:LE_{i+1},LE_i——某种土地利用变化类型所反映的变化初期和末期土地利用类型所具有的生态环境质量指数; LA——该变化类型的面积; TA——该区域总面积。

3　结果与分析

3.1　分类结果

本文采用 CART 分类方法对徐州 2004—2016 年的 5 期遥感影像进行分类,其分类结果如附图 1 所示。由附图 1 可以看出,在空间分布上,建筑用地以研究区西部的云龙湖为中心,分布于云龙湖南、北、东 3 个方向;耕地主要分布在建筑用地的外侧,分布较为集中,然而随着建筑用地的增加,耕地分布趋于破碎化;林地主要沿西南—东北方向的山体分布;水体以湖泊水库及河流为主,湖泊和水库主要分布在研究区的西部、西北部以及东南部,主干河流从西北到东南贯穿整个研究区;草地主要分布于城市公园绿地、高尔夫球场,分布过于零散,且面积较小;未利用地主要分布在山体和建筑用地附近

2004—2016 年徐州市中心城区每年分类总体精度均在 90%以上,且 Kappa 系数均大于 0.90(表 2),这说明 CART 决策树分类方法精度较高,分类结果具有较高的可靠性,可用于土地利用类型动态变化监测。

表 2　徐州市中心城区分类精度评价

项　目	2004 年	2007 年	2010 年	2013 年	2016 年
总体精度/%	96.19	97.83	96.99	95.51	97.17
Kappa 系数	0.952 3	0.971 9	0.961 4	0.939 7	0.968 3

3.2 土地利用类型时空变化分析

研究区2004—2016年建筑用地和草地面积大幅度增加，耕地和林地面积与之相反，面积大幅度减少，未利用地面积有小幅度减少。在研究时间段内，建筑用地共增加99.70 km^2，增加速率较大，尤其是在2010年以后，研究区中部偏南和东南部区域建筑用地迅速增加。

由表3可知，在2004年之后，建筑用地增加的面积主要来源于耕地。2004—207年，耕地转变为建筑用地的净面积为41.52 km^2，2007年之后，耕地转变为建筑用地幅度减小，而在2013—2016年，转变幅度增大。从2004—2016年期间，耕地面积共减少101.69 km^2，主要转出方向为建筑用到、未利用地以及林地，整体变化动态度从2004—2007年的－8%降至2013—2016年的－2%，虽然这表明耕地减少趋势有一定减缓，但是仍然不可忽视。林地的主要转出方向为耕地和建筑用地，在2010—2013年，由于徐州着力打造“山水林田湖草”一体化的生态空间，林地增加33.51 km^2，动态度为24%，然而在2013—2016年，随着耕地保护政策的落实以及城市扩张，耕地降低趋势减缓而林地大幅度降低。2004—2016年林地转变为耕地整体呈增加趋势，但是由于各用地类型之间的相互转变，林地净减少0.19 km^2。未利用地主要转入方向为耕地和建筑用地，而主要转出方向为建筑用地，在2004—2016年，每个时期未利用地转变为建筑用地约占总转出面积的平均百分比约为60%。总体而言，徐州市中心城区近年来建筑用地扩张显著，不仅表现在大量占用近郊的耕地，还表现在远郊地区，以城镇为节点，逐步扩大城镇范围，致使耕地面积进一步减小；由于城市建设是一个长期过程，在该过程中城市景观在遭受破坏后，在规划建设完成后，景观会有一定的恢复，因此未利用地和草地城市建设过程中具有较大变化。2004—2016年徐州市中心城区景观格局指数变化情况如图1所示。

表3 徐州市中心城区2004－2016年土地利用转移矩阵 km^2

时间	土地类型	土地面积						合计
		耕地	水体	林地	草地	建筑用地	未利用地	
2004—2007年	耕地	235.52	1.90	15.27	0.64	6.64	1.90	261.87
	水体	3.04	25.93	2.94	0.21	2.25	0.10	34.48
	林地	22.22	3.25	23.82	0.05	1.50	0.90	51.73
	草地	14.91	0.16	0.92	0.40	0.70	0.55	17.63
	建筑用地	48.16	3.37	6.11	0.11	111.64	8.73	178.10
	未利用地	16.62	0.69	1.37	0.04	8.78	2.80	30.30
	2004年合计	340.46	35.30	50.43	1.45	131.50	14.99	574.12
2007—2010年	耕地	196.10	1.44	18.23	8.94	22.43	9.63	256.78
	水体	3.94	26.81	3.59	0.29	6.17	0.64	41.44
	林地	13.72	3.20	21.92	0.79	5.83	1.32	46.77
	草地	6.97	0.13	0.98	1.58	1.96	0.97	12.58
	建筑用地	32.07	2.48	4.96	4.04	133.00	14.55	191.10
	未利用地	9.07	0.42	2.06	2.00	8.72	3.20	25.46
	2007年合计	261.87	34.48	51.73	17.63	178.10	30.30	574.12
2010—2013年	耕地	175.46	4.01	9.78	6.81	50.35	9.26	255.68
	水体	2.17	26.47	3.71	0.05	1.94	0.15	34.50
	林地	34.55	4.08	28.28	1.22	10.06	2.08	80.28
	草地	3.71	0.12	0.31	0.86	0.44	0.31	5.75
	建筑用地	39.13	6.65	4.55	3.50	126.67	12.87	193.38
	未利用地	1.76	0.11	0.13	0.14	1.63	0.79	4.55
	2010年合计	256.78	41.44	46.77	12.58	191.10	25.46	574.12
2013—2016年	耕地	176.85	1.47	30.62	4.55	23.86	1.43	238.77
	水体	1.10	26.17	2.22	0.05	2.40	0.01	31.95
	林地	11.89	3.24	34.09	0.17	1.97	0.03	51.39
	草地	7.00	0.11	0.95	0.50	1.14	0.10	9.80
	建筑用地	53.74	3.06	11.76	0.38	159.75	2.51	231.20
	未利用地	5.10	0.44	0.64	0.10	4.25	0.47	11.01
	2013年合计	255.68	34.50	80.28	5.75	193.38	4.55	574.12

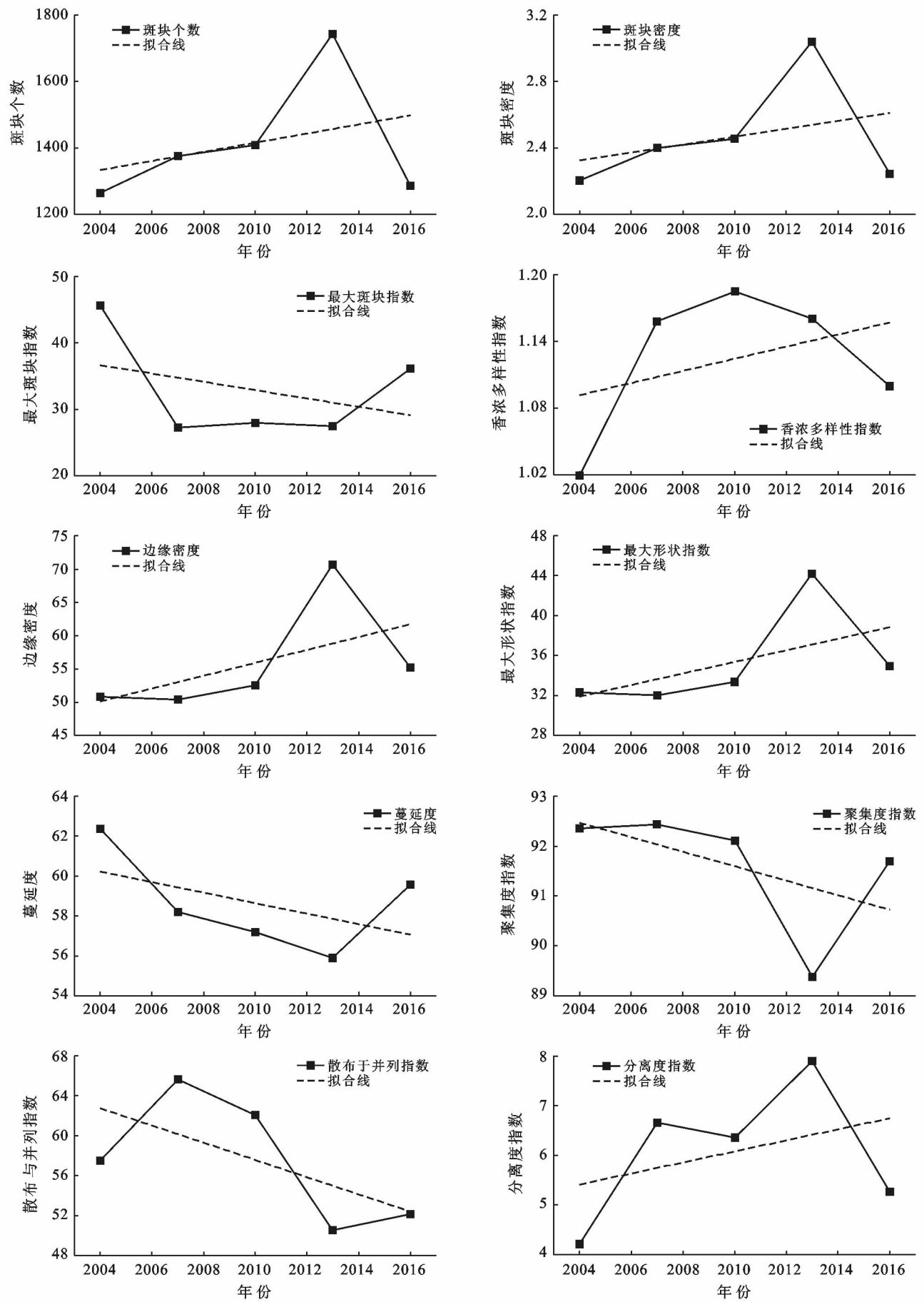


图 1　徐州市中心城区 2004—2016 年景观格局指数变化趋势

3.3 徐州市中心城区生态环境效应评价

3.3.1 景观格局变化 由图 1 可以看出，其中景观特征指数主要反映景观形状、破碎化程度与优势度等特征，由图 1 可知，2004—2016 年徐州中心城区 NP，PD，ED 和 LSI 均呈现上升趋势，表明该区域景观异质性增强、破碎化程度加剧，而 LPI 的呈现波动性上升表明景观破碎化降低，这与 PD，NP，ED 所表现出的研究区景观破碎化加剧相反，通过计算斑块水平上各类型的 LPI 发现，林地、草地等类型的 LPI 均逐渐减小，耕地的 LPI 迅速减小而建筑用地的 LPI 则迅猛增加，因此，在景观水平上，研究区 LPI 总体呈现上升趋势。景观异质性指数反映景观异质性，也是破碎化研究的核心问题[21-22]，SHDI 和 LSI 的均逐步增加，表明景观丰富度增加，斑块形状趋于复杂化，景观面积比重趋于均匀化，景观破碎化有所增加。景观空间关系指数反映了景观各要素的空间关系，在一定程度上也反映出景观的破碎化程度，从图 1 可以看出，CONTAG，IJI 和 AI 等指数表现出的下降趋势，均表明研究区景观要素的团聚程度降低，小斑块增多，景观之间的较为离散，缺乏连通性，破碎化程度增强。

3.3.2 NDVI 时空变化特征 在空间分布上，由图 2 可知，徐州市 NDVI 基本呈环状分布，以研究区西部的云龙湖为中心，由内向外 NDVI 值逐渐增大。研究区中西部大部分地区的 NDVI 值均小于 0.4，主要是该区域为徐州主城区，商业用地和居民用地过于集中，城市绿化用地受到一定的限制，因而绿地较少。在研究区的东部、南部以及西北部，大部分为耕地，以及农村居民点，建筑用地较为零散，因而 NDVI 值大于 0.4，大量耕地部分的 NDVI 值大于 0.6。

在时间变化上，由图 2 可知，2004—2016 年研究区 NDVI 值较小的区域以主城区为中心，向四周扩散，尤其在主城区的东北方向和东南方向，其 NDVI 有非常明显的降低。在东南和东北方向上，徐州市新城区和高铁站在建设过程中不可避免地占用植被区域，对植被进行破坏，NDVI 值有所降低。在研究区中部偏南区域建筑面积逐步增加，进一步导致该区域植被减少，NDVI 降低。相较于 2007，2010 年的 NDVI 的中值区域扩大，高值区域急剧减少。

2003 年起，徐州市政府对山体及周边环境进行整体改善修复，城区绿地增加，对比 2004—2013 年的 NDVI 空间分布图，NDVI 上升，主城区 NDVI 较低值区域逐渐缩小，然而到 2016 年，随着城区建筑用地范围和密度的增大，NDVI 较低值区域进一步扩大，NDVI 均值下降。

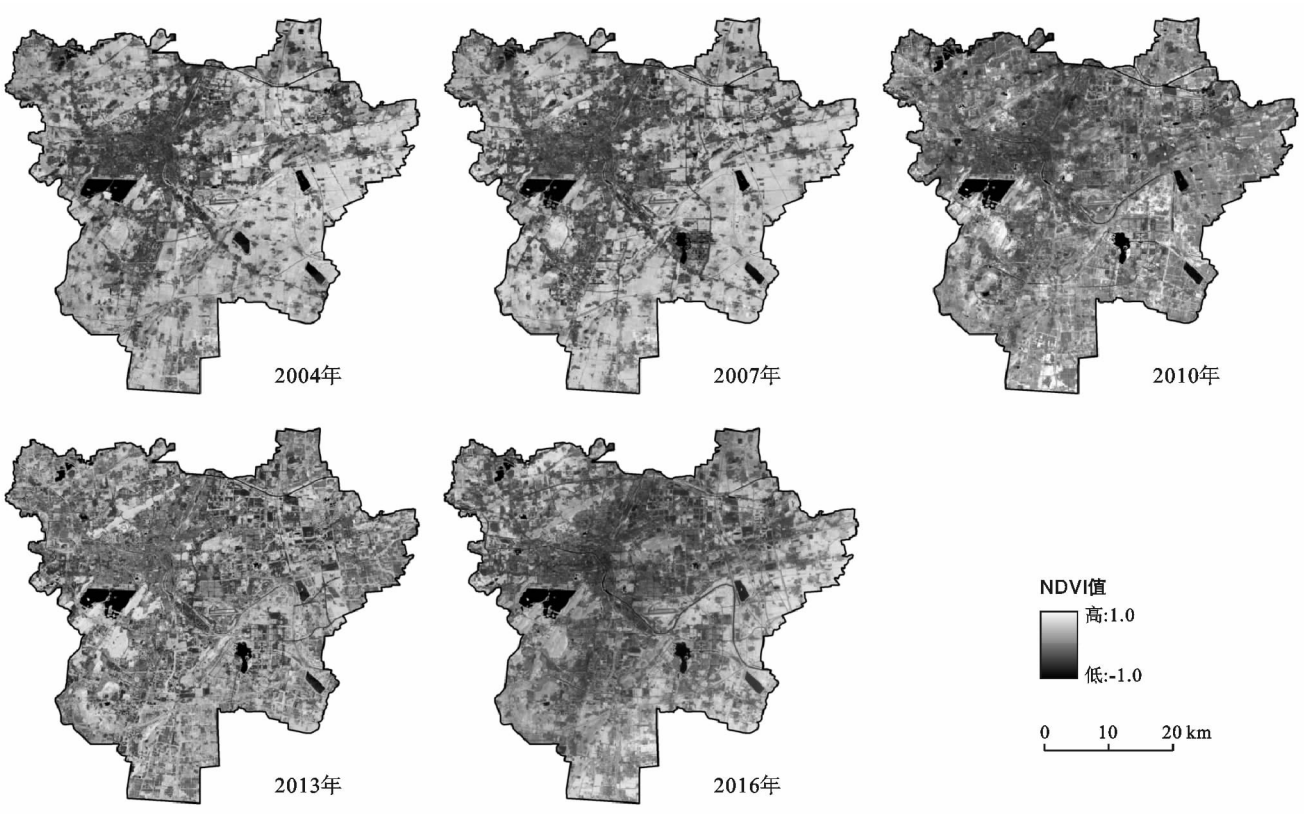


图 2 2004－2016 年徐州市中心城区 NDVI 分布

2004—2016 年徐州市中心城区 NDVI 空间变化趋势如图 3 所示。研究区东部地区的 NDVI 表现出显著下降趋势,结合土地利用变化图(附图 1)可知,其原因在于该区域大量耕地转变为建筑用地,植被覆盖度大幅度减小。研究区的西北角和东南角、最南端以及西南部山体 NDVI 显著增加,其原因在于近年来徐州市加强生态园林城市建设,使得该区域绿化用地与林地面积有所增加;研究区中部偏西区域主要是建筑用地,且城市建筑物密集,景观类型在近 13 a 间基本未发生变化,且该区域植被较少,NDVI 普遍较低,因此变化不显著。

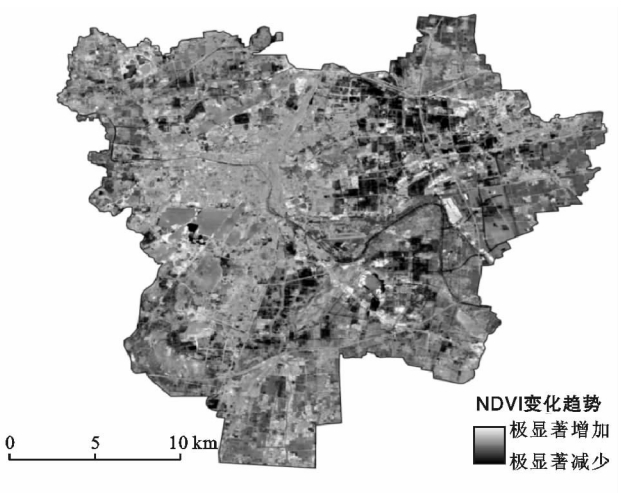


图 3　徐州市中心城区 2004－2016 年 NDVI 空间变化趋势

3.3.3　区域生态环境质量变化特征　根据公式(3),利用土地利用转移矩阵、生态环境质量指数等计算徐州不同时期间的区域生态环境质量指数(图 4)。

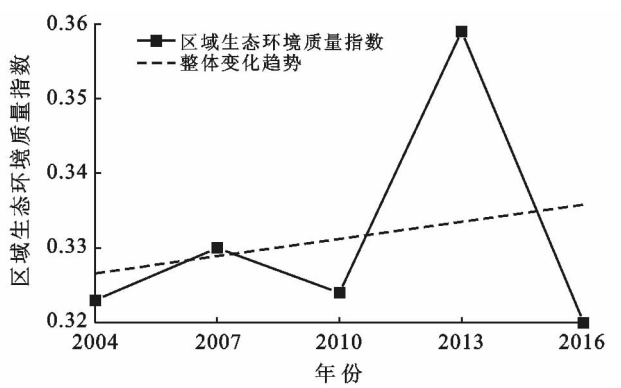


图 4　徐州市中心城区生态环境质量指数变化趋势图

由图 4 可知,生态环境是恶化与好转并存的,但是总体是呈现好转趋势。从转移矩阵和土地类型生态质量指数可以看出,城市扩张使得水体、林地、耕地和草地转变为建筑用地以及在城市建设过程中将部分用地类型转变为未利用地,使得生态环境质量降低;此外,土地开垦将部分林地转变为耕地、未利用地和建筑用地使得生态环境进一步恶化。生态环境好转的主要驱动因子是未利用地的开垦,未利用地的生态环境质量指数最小,将未利用地转变为建筑用地、耕地、林地等促使生态环境质量上升。2004—2013 年,徐州生态环境质量指数上升,原因在于徐州市积极打造生态园林城市,增加对城市公园绿地的建设,并采取一定的措施保护林地,使得研究区内林地和草地面积增加。2013—2016 年,徐州的生态环境质量出现较大幅度的下降,主要由于轨道交通、高架桥以及居民小区的建设占用大量的林地和耕地。此外,越来越多的生态酒店、美景别墅选择建在山体附近,导致建筑用地急剧增加,山体周边的林地大幅度减少,破坏了原有生态系统的整体性,从而导致整体生态功能下降。从整体来看,2004—2016 年,虽然城市扩张占用大量的耕地和林地,但是徐州市在生态环境改善方面取得一定的成果,使得生态环境质量呈现微弱上升的趋势。

为进一步分析土地利用变化与区域生态质量的关系,本文基于土地利用转移矩阵,计算导致区域生态环境改善及恶化的土地类型变化生态质量贡献率,其结果如表 4 所示。由表 4 可知,在 2004—2016 年期间,促使徐州市中心城区区域生态质量好转的土地类型变化为退耕还林、退耕还草,导致生态质量恶化的土地类型变化主要为耕地转变为建筑用地和未利用地,林地转变为耕地和建筑用地,以及草地转变为耕地。由此可以看出,2004—2016 年,耕地、建筑用地、林地以及未利用地之间的相互转化是徐州市中心城区生态环境质量变化的主要原因,其中,徐州市中心城区生态质量降低的主要原因是快速城市化导致的建筑用地大规模的扩张,占用较多的耕地和林地,而导致生态环境恶化的主要原因为毁林造田。虽然生态环境质量改善的面积高于生态环境质量恶化的面积,但是由于生态环境质量改善的土地具有较高的生态环境质量指数,因此,整体上,徐州市中心城区整体生态环境微弱的上升趋势。

4　结 论

(1) 基于多源遥感数据,采用 CART 分类方法对 2004—2016 年徐州市中心城区进行分类,其总体精度均高于 90%,且 Kappa 系数均大于 0.9。

(2) 2004—2016 年,研究区整体土地利用变化呈现耕地持续减少、建筑用地面积成倍增长,草地和未利用地波动性增加。建筑用地通过占用郊区耕地、林地等向东部扩张,城市重心逐步向东南方向转移。

表 4 2004—2016 年徐州市中心城市土地类型变化生态贡献率

土地利用变化类型	导致生态环境改善贡献率				土地利用变化类型	导致生态环境恶化贡献率			
	2004—2007 年	2007—2010 年	2010—2013 年	2013—2016 年		2004—2007 年	2007—2010 年	2010—2013 年	2013—2016 年
耕转水	0.002 1	0.002 7	0.001 5	0.000 8	耕转建	0.004 2	0.002 8	0.003 4	0.004 7
耕转林	0.027 1	0.016 7	0.042 1	0.014 5	耕转未	0.004 3	0.002 4	0.000 5	0.001 3
耕转草	0.013 0	0.006 1	0.003 2	0.006 1	水转耕	0.001 3	0.001 0	0.002 8	0.001 0
水转林	0.001 7	0.001 7	0.002 1	0.001 7	水转建	0.002 6	0.001 9	0.005 2	0.002 4
水转草	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	水转未	0.000 7	0.000 4	0.000 1	0.000 4
草转林	0.000 0	0.000 3	0.000 4	0.000 1	林转耕	0.018 6	0.022 2	0.011 9	0.037 3
建转耕	0.000 6	0.002 0	0.004 4	0.002 1	林转水	0.001 5	0.001 9	0.001 9	0.001 2
建转水	0.001 8	0.004 8	0.001 5	0.001 9	林转草	0.000 3	0.000 3	0.000 1	0.000 3
建转林	0.002 0	0.007 6	0.013 1	0.002 6	林转建	0.008 0	0.006 5	0.005 9	0.015 4
建转草	0.000 7	0.001 9	0.000 4	0.001 1	林转未	0.002 0	0.003 0	0.000 2	0.000 9
未转耕	0.000 5	0.002 5	0.002 4	0.000 4	草转耕	0.000 6	0.007 8	0.005 9	0.004 0
未转水	0.000 1	0.000 6	0.000 1	0.000 0	草转水	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.000 0
未转林	0.001 3	0.002 0	0.003 1	0.000 0	草转建	0.000 1	0.003 9	0.003 4	0.000 4
未转草	0.000 6	0.001 1	0.000 4	0.000 1	草转未	0.000 0	0.002 3	0.000 2	0.000 1
未转建	0.001 5	0.002 5	0.002 2	0.000 4	建转未	0.001 5	0.001 5	0.000 3	0.000 7
合 计	0.053 0	0.052 5	0.076 9	0.031 8	合 计	0.045 7	0.058 0	0.041 8	0.070 1

(3) 近 13 a,徐州市中心城区景观各要素之间团聚程度降低,小斑块增多,缺乏连通性,破碎化加剧。

(4) 2004—2016 年,徐州市中心城区 NDVI 低值区域逐步扩大,总体生态环境质量在一定程度上维持着相对稳定,总体呈现出微弱上升趋势。

(5) 由于郊区城镇化,在 2004—2016 年建筑用地面积持续增加,耕地面积则逐步减少,草地和林地的增加,主要是由于近年来徐州政府加强生态环境建设,增加城市绿地面积,对生态修复,使得城市生态环境得到一定的改善,但是景观格局破碎化程度加剧,不利用城市生态环境的改善。此外,随着城市化的不断发展,耕地不断转变化建筑用地是城市区域生态环境质量的最大威胁,因此,在城市发展过程中,合理规划城市景观,注重景观之间的连通性,并对城市进行合理的功能分区,提高城市生态环境质量。

(6) 城市相较于其他生态系统,具有高空间异质性,本文所用数据的空间分辨率不能较好的对城市中绿化带、小型绿地的分类,在更深入地研究中,需要更高分辨率的数据和更详细的指标进一步对城市生态环境质量和景观格局进行分析,从而准确评价城市生态环境,为资源城市转型的规划设计提供科学指导和理论依据。

[参 考 文 献]

[1] WEF. The Global Risks Report[R]. 201813th Edition, the World Economic Forum, 2018.

[2] 陈广生,田汉勤. 土地利用/覆盖变化对陆地生态系统碳循环的影响[J]. 植物生态学报,2007,31(2):189-204.

[3] 张杨,刘艳芳,顾渐萍,等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. 地理科学,2011,31(10):1280-1285.

[4] 李晓文,方精云,朴世龙. 近 10 年来长江下游土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理学报,2003,58(5):659-667.

[5] 吴海珍,阿如旱,郭田保,等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理科学,2011,31(1):110-116.

[6] Du Xuejun, Huan Zhonghua. Ecological and environmental effects of land use change in rapid urbanization: The case of Hangzhou, China[J]. Ecological Indicators, 2017,81:243-251.

[7] Kumar N, Bernhard T, Jvrgen K, et al. Impact of land-use change on the water resources of the upper kharun catchment, Chhattisgarh, India[J]. Regional Environmental Change, 2017,17(8):2373-2385.

[8] 葛厚尚. 徐州地区维管植物资源调查及主要森林植被类型研究[D]. 江苏 南京:南京农业大学,2013.

[9] 陈晓玲,赵红梅,田礼乔,等. 环境遥感模型与应用[M]. 湖北 武汉:武汉大学出版社,2008.

[10] 孙家抦. 遥感原理与应用[M]. 湖北 武汉:武汉大学出版社,2013.

[11] 孟瑶瑶,薛丽芳. 南四湖流域土地利用及其景观格局变化分析[J]. 水土保持研究,2017,24(3):246-252.

[12] 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):33-35.

(下转第 126 页)

分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
[6] 陈小红,段争虎,谭明亮,等. 沙漠化逆转录过程中土壤颗粒分形维数的变化特征:以宁夏盐池县为例[J]. 干旱区研究,2010,27(2):297-302.
[7] 刘志强,高吉喜,田美荣,等. 生态修复区植物群落土壤粒径的分维特征[J]. 生态学杂志,2017,36(2):303-308.
[8] 王德,傅伯杰,陈利顶,等. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析:以黄土丘陵沟壑区为例[J]. 生态学报,2007,27(7):3081-3089.
[9] 杨婷,景航,姚旭,等. 黄土丘陵不同土地利用方式下土壤颗粒组成及其分形维数特征[J]. 水土保持研究,2016,23(3):1-5.
[10] 刘霞,姚孝友,张光灿,等. 沂蒙山林区不同植物群落下土壤颗粒分形与孔隙结构特征[J]. 林业科学,2011,47(8):31-37.
[11] 贾晓红,李新荣,李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征[J]. 地理研究,2007,26(3):518-525.
[12] 王富,贾志军,董智,等. 不同生态修复措施下水库水源涵养区土壤粒径分布的分形特征[J]. 水土保持学报,2009,23(5):113-117.
[13] 杨阳,段海侠. 排土场不同土地利用类型土壤的分形特征[J]. 中国水土保持科学,2013,11(6):98-104.
[14] 余健,房莉,李涵韬,等. 采煤塌陷地及其复垦土壤颗粒分布与分形特征[J]. 中国矿业大学学报,2014,43(6):1095-1101.
[15] 黄晓娜,李新举,刘宁,等. 煤矿塌陷区不同复垦年限土壤颗粒组成分形特征[J]. 煤炭学报,2014,39(6):1140-1146.
[16] 聂树人. 陕西自然地理[M]. 陕西 西安:陕西人民出版社,1981:266-273.
[17] 徐崟尧,孙虎,崔徐甲,等. 陕西大柳塔煤矿复垦地植被群落与土壤因子的关系[J]. 地球与环境,2018,46(1):82-88.
[18] 王国梁,周生路,赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J]. 土壤学报,2005,42(4):545-550.
[19] 杨金玲,李德成,张甘霖,等. 土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比[J]. 土壤学报,2008,45(3):413-419.
[20] 杨根生,陈渭南,刘阳宣,等. 晋陕蒙三角地带能源基地开发中的土地沙漠化问题[J]. 干旱区资源与环境,1988,2(1):46-56.
[21] Su Yongzhong, Zhao Halin, Zhao Wenzhi, et al. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification[J]. Geoderma, 2004,122(1):43-49.
[22] 石占飞,王力,王建国. 陕北神木矿区土壤颗粒体积分形特征及意义[J]. 干旱区研究,2011,28(3):394-400.

(上接第 120 页)

[13] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1):81-87.
[14] 李晓文,方创琳,黄金川,等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J]. 第四纪研究,2003,23(3):280-290.
[15] Leo B, Jerome F, Charles J S, et al. Classification and regression trees[M]. Florida: CRC Press, 1984.
[16] 刘勇洪,牛铮,王长耀. 基于 MODIS 数据的决策树分类方法研究与应用[J]. 遥感学报,2005,9(4):405-412.
[17] 胡文敏,赵京,何介南,等. 近 15 年来环洞庭湖区土地利用变化及其景观效应[J]. 中南林业科技大学学报,2017(12):91-97.
[18] 崔佳,臧淑英. 哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J]. 地理研究,2013,32(5):848-856.
[19] 陈刚. 四川盆周山地土地利用/覆盖景观空间格局演替研究[D]. 四川 成都:成都理工大学,2011.
[20] 张娜. 景观生态学[M]. 北京:科学出版社,2014.
[21] 刘铁冬,许大为. 景观生态学案例分析:河流景观格局与生态脆弱性评价[M]. 北京:科学出版社,2015.