

# 基于国产小卫星遥感数据的矿区土地覆盖 与景观格局变化研究

陈宇<sup>①</sup>, 陈绍杰<sup>②</sup>, 杜培军<sup>①</sup>, 薄海光<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国矿业大学 国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室, 徐州 221116;

<sup>②</sup> 龙岩学院资源工程学院, 龙岩 364012)

**摘要:**采用北京一号小卫星和环境与灾害监测预报小卫星遥感数据,对徐州西矿区 2008 年~2009 年土地利用/覆盖及景观格局变化进行分析。通过对 4 种分类方法的比较,选择精度最高的决策树分类图进行分析。试验表明:采矿活动导致徐州西矿区植被面积下降明显,大部分转为建筑用地;同时,矿区土地复垦使塌陷积水面积减少;区域景观破碎化程度有所下降,斑块的形状趋于规则化,景观多样性减小。评价变化检测精度,结果表明:国产小卫星遥感数据能有效地应用于矿区土地利用/覆盖及景观格局变化监测。

**关键词:**北京一号小卫星;环境与灾害监测预报小卫星;土地利用/覆盖变化;景观格局分析

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.017

中图分类号:TP79 文献标识码:A 文章编号:1000-3177(2012)120-0085-06

## Change Analysis of Land Cover and Landscape Pattern in Coal Mining Area Based on China Small Satellite Remote Sensing Data

CHEN Yu<sup>①</sup>, CHEN Shao-jie<sup>②</sup>, DU Pei-jun<sup>①</sup>, BO Hai-guang<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116;

<sup>②</sup> Key Laboratory for Land Environment and Disaster Monitoring of SBSM, Longyan 364012)

**Abstract:** In recent years, China has launched Beijing-1, HJ-1 micro-satellites and other satellites. Application fields of micro-satellite remote sensing data expand constantly. But applications in ecological environment monitoring of coal mining area are still few. In order to extend the application of micro-satellite remote sensing data in resource environment and disaster monitoring over coal mining area, the authors analyzed the LUCC and landscape pattern changes of the west mining area in Xuzhou City during 2008 and 2009. Through comparison of four classification results, the decision tree classification which has the highest accuracy is selected for further analysis. The results show that the agricultural land declined obviously due to the mining activities, most transformed to the construction land. Meanwhile, land reclamation in mining area reduced the area of subsidence water. The landscape fragmentation decreased and patch shape tended to regularization. At same time, landscape diversity decreased. The accuracy evaluation shows that the China micro-satellite remote sensing data can be used in monitoring of land use and land cover in coal mining area.

**Key words:** Beijing-1 micro-satellite; HJ-1 micro-satellite; land use/cover; landscape pattern analysis

收稿日期:2011-01-26 修订日期:2011-05-25

基金项目:国家自然科学基金(40871195)、江苏省“333 工程”科研项目(2009-32)、江苏省自然科学基金项目(BK2010182)和江苏省大学生实践创新训练计划(S200913)资助。

作者简介:陈宇(1988~),女,硕士研究生,从事资源环境遥感方向的研究。

通讯作者:杜培军

E-mail:dupjrs@gmail.com, dupjrs@126.com

## 1 引言

土地利用/覆盖变化是全球生态环境变化的重要组成部分和驱动因子之一<sup>[1]</sup>。土地利用/覆盖变化直接影响区域景观生态系统,景观生态系统研究是全球变化区域响应研究重要的切入点之一。在景观尺度上,研究景观结构与空间格局演变对区域生态系统功能的影响,一直是景观生态学研究热点问题之一<sup>[2]</sup>。

在煤矿区,煤炭的开采对生态环境造成很大的负面影响,如地下采煤造成的地面塌陷和积水坑,土地覆盖类型和景观格局都产生明显变化<sup>[3]</sup>。利用遥感影像数据对煤矿区进行土地利用/覆盖及景观格局变化研究具有十分重要的意义,研究结果可为恢复矿区的生态环境及土地利用规划提供指导,同时也可对矿区土地复垦规划及土地管理提供帮助。

目前,小卫星的发展已经得到各国的普遍重视,众多国家也积极地参与到小卫星的研制与发射中来,未来小卫星将成为遥感平台发展的重要方向,并具有“更小、更快、更好、更省”的趋势<sup>[4]</sup>。由我国研制的北京一号小卫星(BJ-1)和环境与灾害监测预报小卫星(HJ-1)分别于2005年10月27日和2008年9月6日成功发射,所获取的遥感数据已经在国土资源调查监测、灾害监测、城市管理建设和环境监测等方面表现了很好的应用价值<sup>[4,9~10]</sup>。但是在煤矿区生态环境监测领域,国产小卫星数据的应用还较有限。鉴于此,本文采用国产小卫星遥感数据对徐州西矿区2008年~2009年土地利用/覆盖及景观格局变化进行监测分析,以进一步探求其应用前景与研究价值。

## 2 研究区及数据

### 2.1 研究区概况

本文研究区是位于徐州市西部的煤矿区,包括夹河矿、庞庄矿、张集矿、垞城矿等煤矿。徐州市位于江苏省西北部,东经116°22′~118°40′、北纬33°43′~34°58′之间,苏、鲁、豫、皖四省交界处,北距山东济南320km,南距南京350km,东离连云港230km,西离河南郑州380km,东西长约210km,南北宽约140km,总面积11258km<sup>2</sup>,占江苏省总面积的11%。徐州是淮海平原的一部分,区内以平原为主,约占土地总面积的90%,海拔一般在20m~50m,丘陵海拔在100m~200m左右,境内河流纵横

湖泊众多,城市的森林覆盖率为22.15%。

图1为研究区2008年BJ-1数据及2009年HJ-1A数据的近红外波段、红光波段和绿光波段的RGB假彩色合成图像。

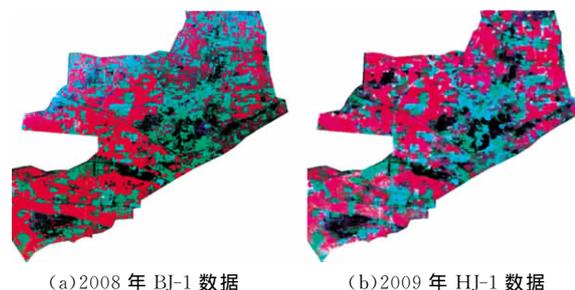


图1 徐州西矿区假彩色合成图

### 2.2 试验数据

本文所采用的数据包括:2008年2月18日BJ-1多光谱遥感影像、2009年1月1日HJ-1A-CCD多光谱遥感影像,具体参数如表1所示。

表1 小卫星数据光谱波段和分辨率

小卫星	波段	空间分辨率/m	光谱范围/ $\mu\text{m}$
BJ-1	Green	32	0.52~0.60
	Red	32	0.63~0.69
	NIR	32	0.76~0.90
HJ-1A	Blue	30	0.43~0.52
	Green	30	0.52~0.60
	Red	30	0.63~0.69
	NIR	30	0.76~0.90

数据预处理包括几何精校正、波段选择、影像裁剪、直方图匹配4部分内容。

以2008年的BJ-1数据为基准,采用Geographic Lat/lon和WGS-84世界大地坐标系,选取33个地面控制点,对2009年HJ-1影像进行配准,RMS为0.493个像元。采用二次多项式法校正和最近邻法进行重采样,得到几何精校正影像。为了保持数据的一致性,选择2009年HJ-1数据绿色波段、红色波段和近红外波段组合,与BJ-1数据相对应。

对校正后的两幅影像按照徐州西矿区范围,分别裁剪出相同的区域,并以BJ-1数据为基准进行直方图匹配,得到预处理后的影像。

## 3 土地覆盖分类

结合研究区实际情况,依据土地覆盖分类体系,将徐州西矿区分分为植被(含其他)绿地、水体、建筑用地、裸地4个类别,训练样本和测试样本的选择情况如表2所示。

表 2 训练样本和测试样本像元个数

类型		植被	建筑用地	水体	裸地
训练样本	2008 年	554	558	216	14
	2009 年	638	698	187	22
测试样本	2008 年	938	789	299	17
	2009 年	1037	1039	355	29

为了得到与矿区真实地物较为一致的分类结果,分别选择最大似然法、最小距离法、支持向量机法和决策树法分别对两时相影像数据进行分类,并构造误差矩阵进行精度评价,选择精度较高的分类方法结果进行后续的变化分析。各种分类方法的分类精度表如表 3 所示。

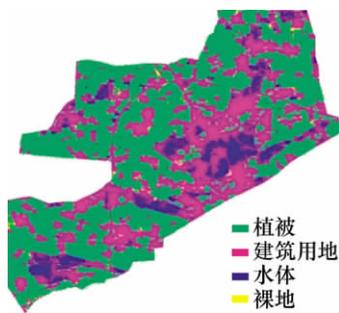
表 3 两时相分类精度比较

年份	分类器	最大似然	最小距离	支持向量机	决策树
2008 年	总精度	83.8%	78.7%	85.3%	85.9%
	Kappa	0.807	0.734	0.827	0.837
2009 年	总精度	83.5%	79.9%	83.9%	84.7%
	Kappa	0.804	0.754	0.809	0.821

由表 3 可知,所选用的 4 种分类方法中,决策树分类法的整体分类精度相对较高,较适合本研究区和研究数据的土地覆盖分类;另外,分类精度均达到 84% 以上,说明该分类图像用于景观格局分析的可靠性。因此选择决策树法分类结果(如图 2)分析徐州西矿区土地利用/覆盖变化和景观格局变化。



(a)2008 年 BJ-1 决策树分类图



(b)2009 年 HJ-1 决策树分类图

图 2 徐州西矿区决策树分类图

## 4 土地利用/覆盖变化分析与评价

### 4.1 土地利用/覆盖变化分析

对决策树分类图像进行统计,得到各地物类型的面积,如表 4 所示。

表 4 西矿区各地物类型面积统计表

年份	类型	植被	水体	建筑用地	裸地
2008 年	面积(km <sup>2</sup> )	134.52	21.91	90.92	4.38
	面积百分比(%)	53.44	8.70	36.12	1.74
2009 年	面积(km <sup>2</sup> )	124.70	15.46	108.24	3.52
	面积百分比(%)	49.50	6.14	42.96	1.40

对该表进行进一步统计,得到图 3 和图 4,更直观地反映西矿区各土地利用类型面积所占比例。

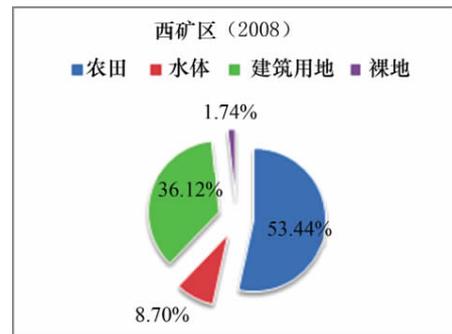


图 3 2008 年各土地利用类型面积比例图

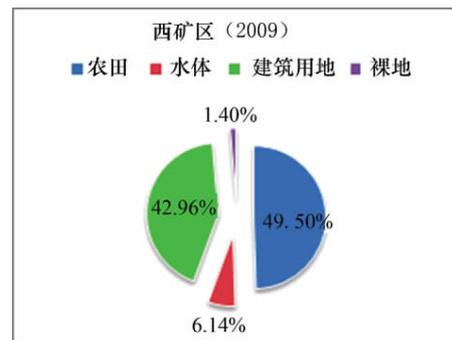


图 4 2009 年各土地利用类型面积比例图

对 2008 年~2009 年各土地利用类型面积的变化情况进行统计分析,得到图 5。



图 5 各土地利用类型面积 2008 年~2009 年变化趋势

由表 4 和图 3、图 4 和图 5 可知,2008 年~2009 年,占绝大多数面积的是植被,面积百分比分别为 53.44%和 49.50%,两年面积分别为 134.52km<sup>2</sup> 和 124.70km<sup>2</sup>,面积减少约 9.82km<sup>2</sup>;其次为建筑用地,并且面积呈现明显的上升趋势,由 2008 年的 90.92km<sup>2</sup> 增长到 108.24km<sup>2</sup>,增加约 17.32km<sup>2</sup>;水体和裸地的面积所占比例较小,两者之和不足 10%,并且都有所减少,水体较为明显,面积减少约 6.45km<sup>2</sup>,裸地面积减少 0.86km<sup>2</sup>。

为了分析西矿区土地利用/覆盖变化的性质,对 2008 年和 2009 年分类图像作变化检测(Change Detection),得到转移矩阵如表 5 所示。

表 5 西矿区 2008 年~2009 年土地利用类型转移矩阵(km<sup>2</sup>)

2008 年 2009 年	植被	水体	建筑用地	裸地	2009 年 总和
植被	113.64	0.55	9.18	1.13	124.70
水体	0.06	11.86	3.51	0.01	15.46
建筑用地	19.35	9.48	76.63	2.29	108.24
裸地	1.21	0	1.39	0.92	3.52
2008 年总和	134.52	21.91	90.92	4.38	

从表 5 可以看出:

(1)2008 年~2009 年,徐州西矿区的植被面积下降明显,主要转为建筑用地,这部分面积为 19.35km<sup>2</sup>,其主要原因有:①由于两图像分类结果造成的误差,使得一部分非变化被作为变化区域检测出来;②由于城市化进程的加快,使西矿区受到影响,导致大量植被转为建筑用地;③由于采矿活动占用植被。同时,也有 9.18km<sup>2</sup> 的建筑用地转化为植被,其原因可归结为:①分类误差导致错检;②在矿产开采的同时伴随土地复垦,恢复植被;③在建设生态城市的过程中,城市公共绿地有所增加。

(2)2008 年~2009 年,有 3.51km<sup>2</sup> 建筑用地转化为水体,这主要是由于采矿活动造成的塌陷积水,这种转化范围分布较集中,主要在矿区,经分析,主要包括西矿区中部的庞庄矿、西北部的张集矿等 4 处。与此同时,有 9.48km<sup>2</sup> 的水体转化为建筑用地,这部分主要集中在西矿区中东部的庞庄矿区及中南部的夹河矿区等。这种转变主要由于对塌陷积水区的复垦,大都在工业广场范围内。

(3)由转移矩阵可知,2008 年~2009 仅仅一年时间,水体、建筑用地等类型土地面积变化量相对较大。结合研究区实际情况及试验过程,分析其原因可能为:①研究区为位于徐州市西部的煤矿区,频繁的

开采活动导致矿区内土地类型动态变化明显;②对矿区塌陷地的土地复垦导致土地类型在较短时间内发生变化,如建筑用地变为水体或植被;③两幅影像的平台差异、季相差异以及分类误差都可能成为此现象的诱因。

#### 4.2 变化检测精度评价

为检验国产小卫星数据应用于土地利用/覆盖变化和景观格局变化研究的适用性,需对分类后变化检测结果进行精度评价。采用决策树法提取出分类后两图像的差异影像,包括变化和不变化两个类别。采用与分类精度评价类似的方法,选择变化类别和不变化类别的测试样本,计算总体分类精度、Kappa 系数、虚检率及漏检率 4 个精度指标,如表 6 所示,其中 C 代表变化类别,U 代表不变化类别。

表 6 精度指标值

总体检测精度	Kappa 系数	虚检率	漏检率
78.62%	0.5425	34.34%(C)	22.72%(C)
		12.79%(U)	20.69%(U)

由表 6 可知,土地利用/覆盖变化的总体检测精度是 78.62%,验证了试验的可靠性。虽然存在着一定的虚检和漏检现象,但仍一定程度上说明了国产小卫星数据应用于本试验的适用性。

### 5 景观格局变化分析

景观格局是景观生态学的重要研究内容,是指景观等级水平中大小和形状不同的组成单元(缀块)在空间上的排列,它是景观异质性的具体表现。通过景观格局分析,可以确定产生和控制空间格局的因子和机制,比较不同景观的空间格局及其效应,探讨空间格局的尺度性质<sup>[5]</sup>。对矿区景观格局的研究结果既可为恢复矿区的生态环境及土地利用规划提供指导,也可为矿区土地复垦规划及土地管理提供帮助。

#### 5.1 景观格局指数选择

景观指数是量化景观空间特征的主要方法之一,依据实际情况,本文选取了斑块类型面积(CA)、斑块数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、边缘密度(ED)和周长-面积比平均值(PARA\_MN) 6 个景观要素特征指数,以及平均分维数(FRAC\_MN)、香农多样性指数(SHDI)、蔓延度指数(CONTAG)3 个景观异质性指数,它们的生态内涵如表 7 所示。

表 7 各景观格局指数的生态内涵

斑块类型面积(CA)	代表某一类别的总面积
斑块数(NP)	反映景观格局的破碎化程度
斑块密度(PD)	反映斑块的破碎化程度,同时也反映景观空间异质性程度
最大斑块指数(LPI)	表示最大斑块对整个类型或者景观的影响程度,是优势度的一个简单测度
边缘密度(ED)	揭示景观或类型被边界的分割程度
周长—面积比平值(PARA_MN)	反映了各斑块类型和景观总体斑块的分布形状
平均分维数(FRAC_MN)	测定某一斑块类型或景观总体斑块形状的复杂程度
香农多样性指数(SHDI)	反映景观类型的多少和各景观类型所占比例的变化
蔓延度指数(CONTAG)	既概括斑块类型团聚的信息,也表示斑块类型相互邻接、混杂的信息

5.2 景观类型水平上的变化分析

采用美国的景观格局指数计算软件 Fragstas3.3 计算各景观指数,得到景观类型水平上的指数值,如

表 8 景观类型水平上景观格局指数计算结果

景观类型	年份(年)	CA(ha)	NP(个)	PD(个·ha <sup>-1</sup> )	LPI(%)	ED(m·ha <sup>-1</sup> )	PARA_MN	FRAC_MN
植被	2008	13467.8528	2152	4.3848	0.7033	104.0652	743.5373	1.1056
	2009	12469.6576	2068	4.2136	0.6428	102.2839	772.7391	1.1217
水体	2008	2191.1552	2442	4.9756	0.1139	27.1757	867.1715	1.0605
	2009	1546.4448	1527	3.1113	0.0355	19.5035	331.9020	1.0764
建筑用地	2008	9094.7584	3972	8.0931	0.5900	89.0957	784.0294	1.0830
	2009	10824.0896	2942	5.9944	0.6798	95.7997	813.3792	1.0933
裸地	2008	438.8864	1615	3.2906	0.0038	7.6631	989.6878	1.0266
	2009	352.4608	1352	2.7547	0.0046	6.2423	1011.4294	1.0249

表 8 所示。

对表 8 部分数据作进一步统计,得到图 6~图 11,直观表示一年内各景观格局指数的变化情况。由各图可知:

植被类型变化分析。2008 年~2009 年间,西矿区植被面积由 13467.85ha 下降到 12469.66ha,斑块个数减少了 84 个;这主要是由于农用地转为建筑用地的原因;斑块密度、最大斑块指数和边缘密度都有所下降,说明了植被的破碎化程度在降低,被边界分割的程度也在降低;植被的平均周长面积比和平均分维指数呈增加趋势,说明植被的斑块形状变得不规则且复杂。

水体类型变化分析。水体的面积下降也较为明显,斑块个数和最大斑块指数也呈减少趋势,说明水体的破碎化程度也有所降低;但是水体的周长面积比平均值由 2008 年的 867.1715 变化到 2009 年的 331.9020,下降非常明显,说明水体的斑块形状趋于规则化。水体的变化趋势反映了矿区生态环境治理的效果明显,部分采矿塌陷积水都已转为植被或建筑用地等,土地复垦工作开展情况较好。

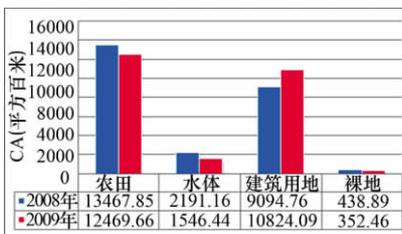


图 6 斑块类型面积指数变化

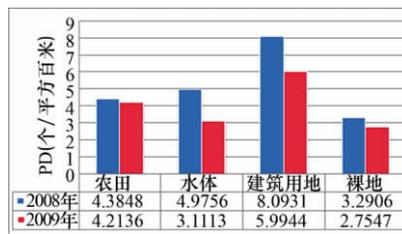


图 7 斑块密度指数变化

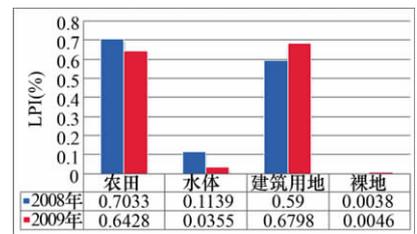


图 8 最大斑块指数变化

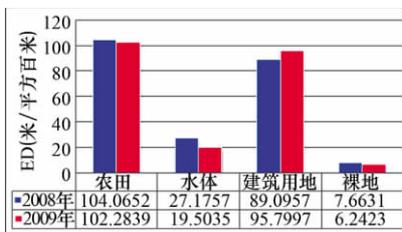


图 9 边缘密度指数变化

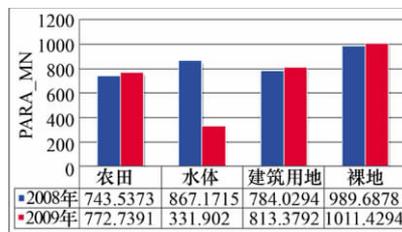


图 10 平均周长面积比指数变化

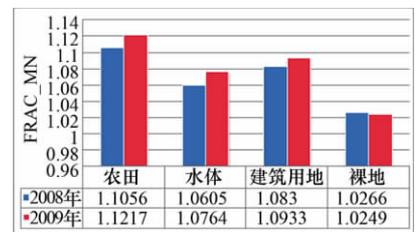


图 11 平均分维指数变化

建筑用地类型变化分析。建筑用地面积在一年间有较大幅度的增加,由 9094.76ha 增加到 10824.09ha,这主要是由于植被和水体的减少所致;但是建筑用地的斑块个数却减少了 1030 个,导致斑块密度由 8.0931 个/ha 下降到 5.9944 个/ha,同时最大斑块指数增加了 0.1 个百分点,这说明西矿区的建设用地是在原有范围的基础上扩大,表现出团聚现象;建

筑用地周长面积比和平均分维数的增加,说明其斑块形状的不规则度和复杂度都有所增强。

裸地类型面积的减少说明一年内部分裸地已变为利用土地。

### 5.3 景观水平上的变化分析

计算景观水平上的景观格局指数,结果如表 9 所示。

表 9 景观水平上景观格局指数计算结果

指数 年份(年)	NP (个)	PD (个·ha <sup>-1</sup> )	LPI (%)	ED (m·ha <sup>-1</sup> )	PARA _MN	FRAC _MN	SHDI	CONTAG (%)
2008	10267	20.9193	6.9449	140.8287	823.8803	1.0747	1.1987	41.0813
2009	7975	16.2493	6.9449	138.7436	796.7206	1.0874	1.1764	42.2854

由表 9 可知,整个景观水平上,斑块总数下降明显,导致斑块密度的降低,这说明整个景观的破碎化程度有所下降;周长面积比平均值也从 2008 年的 823.8803 减少到 796.7206,说明西矿区景观中斑块的形状趋于规则化;在景观类型不变的前提下,香农多样性指数从 1.1987 减少到 1.1764,说明农用地的减少和建筑用地的增加并没有改变农用地的主导地位;景观蔓延度指数增加了近 1.2 个百分点,表现在建筑用地的团聚上。

总体而言,徐州西矿区的部分农用地被建筑用地取代,这一方面表现了较强的城市化现象;另一方面也表现为农用地被采矿活动所占用。另外,塌陷

积水面积的减少说明矿区实施了土地复垦,对矿区生态环境进行了治理,取得良好的效果。

## 6 结束语

本文利用多时相北京一号小卫星和环境与灾害监测预报小卫星数据对徐州西矿区 2008 年~2009 年土地利用/覆盖变化和景观格局变化进行了分析与评价,结果表明国产小卫星遥感数据能有效地应用于矿区土地利用/覆盖及景观格局变化的监测中。研究结论也可以为今后对国产小卫星数据应用的研究及矿区生态环境监测领域的研究提供基础和依据。

## 参考文献

[1] 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.

[2] 谢宏全,胡振琪,陈秋计. 煤矿区土地利用景观格局变化分析[J]. 中国矿业,2007,16(10):42-45.

[3] 胡召玲,杜培军,赵昕. 徐州煤矿区土地利用变化分析[J]. 地理学报,2007,62(11):1204-1214.

[4] 韩栋,纪凯. 遥感小卫星简介——以“北京一号”小卫星为例[J]. 航天返回与遥感,2007,28(1):22-24.

[5] 郭砾,薛达元,杜世宏. 景观生态空间格局——规划与评价[M]. 北京:中国科学环境出版社,2009.

[6] Alessandra F. Changes in land-use/land-cover patters in Italy and their implications for biodiversity conservation[J]. Landscape Ecology,2007,22(4):617-631.

[7] Monica G T. Spatial and temporal analysis of landscape patterns[J]. Landscape Ecology,2007,4(1):21-30.

[8] 卞正富,张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析[J]. 地理学报,2006,61(4):349-357.

[9] 姚乐乐,赵卫,范士明. 环境 1-A 超光谱成像仪相对辐射定标方法应用研究[J]. 航天器工程,2009,18(2):42-47.

[10] 易玲,汪潇,刘斌. HJ-1 卫星数据质量及其在土地利用中的应用研究[J]. 国土资源遥感,2009(3):74-77.

[11] 杜培军. 遥感原理与应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006.

[12] 刘小平,黎夏,陈逸敏,等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用[J]. 地理学报,2009,64(12):1430-1438.

[13] 彭建,蔡运龙,王秀春. 基于景观生态学的喀斯特生态脆弱区土地利用/覆被变化评价[J]. 中国岩溶,2007,26(2):137-143.

[14] 罗彦芳,钱翌,王秀珍. 淳安县土地利用景观格局特征及其生态效应研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):388-392.

[15] 杨帆,赵冬至,索安宁,等. 中巴资源卫星在双台子河口湿地景观格局变化研究中的应用[J]. 海洋环境科学,2008,27(6):641-646.

[16] 朱云海,张百平,等. 土地利用/覆被变化遥感检测方法与应用分析[J]. 地球信息科学,2007,9(3):116-122.