

基于遥感影像的中山市城市生态环境状况及经济协调发展度分析*

郭卫华^{1,2}, 周永章², 阚兴龙³

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;

2. 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广东 广州 510275;

3. 吉林大学珠海学院, 广东 珠海 519041)

摘要: 构建一种以湿度指数、绿度指数、建筑覆盖度指数为分指标, 以主成分分析法实现数据集成的城市生态环境质量评价方法, 并以珠三角中山市不同年份的 Landsat TM 遥感影像为例, 探讨该方法的适用性和准确性。结果表明, 该方法可较好地反映研究区生态环境质量的变化, 研究区 1994 年和 2009 年生态环境质量整体上均处于良好水平, 2009 年整体生态环境质量优于 1994 年, 生态环境质量等级为较差的面积大幅度下降, 但局部区域中生态环境退化的面积有所增加。生态环境与经济协调发展度的研究结果表明, 1994 年中山市各镇区的协调发展度状况较好, 而 2009 年大部分镇区协调发展度呈下降趋势, 部分镇区出现生态环境和经济发展严重失调的状况。

关键词: 中山市; 生态环境质量评价; GIS; 协调发展度

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2015)06-0156-07

Assessment of Urban Eco-Environment Status Based on Remote Sensing Image and the Coordination Development Degree with Economic Development in Zhongshan City

GUO Weihua^{1,2}, ZHOU Yongzhang², KAN Xinglong³

(1. Geography and Planning School, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Environment and Resources Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Zhuhai College of Jilin University, Zhuhai 519041, China)

Abstract: A method, which was constituted by humidity index (HI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Index Based Built-up Index (IBI), was built to evaluate urban eco-environment quality based on remote sensing data and data-synthesized by principal component analysis. It was applied in Zhongshan City, Guangdong Province. The Landsat TM images in different years were used to explore the applicability and accuracy. The results showed that this method can reflect the variation of regional eco-environment quality. The eco-environment quality of Zhongshan in 1994 and 2009 was both at a good level. The overall eco-environment quality in 2009 was better than in 1994. In 2009, the area with poor eco-environment quality decreased, but the area of eco-environmental degradation increased in local region. The coordinative development degree between environment and economy was at a good level in 1994, but declined generally in 2009. Serious imbalance between eco-environment and economic development occurred in some towns.

Key words: Zhongshan City; eco-environment quality assessment; GIS; coordination development degree

* 收稿日期: 2015-01-07

基金项目: 广东省科技计划基金资助项目(2009B030801003); 中山市科技计划基金资助项目(2013A3FC0247)

作者简介: 郭卫华(1971年生),男;研究方向:资源环境一体化与区域可持续发展;E-mail: guowehua001@foxmail.com

当前，我国已进入城市化快速发展阶段。在城市发展过程中，人类活动的范围和强度空前扩大。而作为城市发展的物质支撑和载体，随着城市的不断发展，城市生态环境对城市发展的影响也将越来越明显。一般而言，城市生态环境与城市发展之间存在着一种交互耦合的胁迫约束机制，具体表现在城市通过人口增长，经济发展，消耗能源和交通扩张对生态环境产生胁迫，而生态环境又通过人口驱逐、资本排斥、资金争夺和政策干预对城市发展产生约束^[1]。可以说，城市的生态环境决定并制约着城市发展的质量及未来趋势。因此，客观的认识和了解城市生态环境的质量状况及变化情况，开展城市生态环境质量评价研究，对于城市的可持续发展具有重要意义。

大量学者针对不同区域开展了城市生态环境质量评价工作，评价标准、方法不一。有针对单因素的评价，如水体、土地、大气等^[2-4]。有针对多环境要素的综合评价，评价方法涉及层次分析法、主成分分析法、模糊综合评价法、综合指数法、灰色关联度分析法等^[5]。珠三角地区是我国最发达的三大经济区域之一，经过多年的高速发展，目前区域内生态环境问题突出，而针对珠三角地区城市生态环境质量评价的相关研究却很少^[6-7]。基于此，本文选取位于珠三角核心地区的中山市作为研究区域，通过基于遥感影像信息的城市生态环境评价方法，开展中山市生态环境质量评价。并在此基础上，分析区域内生态环境与经济的协调发展情况。

1 研究区域与数据

1.1 中山市概况

中山市位于东经 113°9'2"至 113°46'，北纬 22°11'12"至 22°46'35"之间，地处珠江三角洲中南部，珠江出海口西岸，北连广州，毗邻港澳。总面积约 1 783 km²，人口约 314 万。中山市经济发达，2013 年全年生产总值（GDP）已超过 2 600 亿元，其中第二产业和第三产业占比超过 95%，经济总量连续多年位居广东省前五。中山市以全省 1% 的国土面积，不到 2% 的户籍人口，创造了占广东省 4.2% 的国内生产总值。中山市产业集群密集，多年以来，资源环境承载压力处于较高的水平。

1.2 数据来源及预处理

本研究中采用的遥感影像数据为 Landsat5 TM 卫星影像数据，数据来源于美国地质勘探局（http://landsat.usgs.gov/），条带号/行编号为 122/44 和 122/45，成像时间分别为 1994 年 10 月 24 日

和 2009 年 11 月 2 日^①。在进行卫星影像数据预处理时，以中山市 1:5 万土地利用类型图和地形图为基准，对原始遥感影像进行几何纠正工作，同时进行辐射定标、大气校正、图像拼接和图像裁剪等处理。考虑到水体生态环境特征的单一性，本研究中对研究区域内的主要水道和近岸海域进行掩膜处理，使得相关水体区域不参与评价，最终得到了研究区域内的预处理影像。本文涉及到的中山市统计数据均来自 1994 年和 2009 年中山市统计年鉴。

2 研究方法

2.1 分指标构建

用于研究区域生态环境质量状况的遥感指标众多，选取何种遥感指标用于生态环境质量评价是本研究的首要问题^[8]。本研究中，按照区域性（能够体现珠三角地区城市生态环境基本特征）、规范性（相关指标科学、规范，在生态遥感领域得到广泛使用）、便利性（数据便于获得，利用推广应用及区域间的比较）原则，结合中山市的区域特征和 Landsat TM 影像特点，经过多种方案比较，选取湿度指数（Humidity Index, HI）、绿度指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）、建筑覆盖度指数（Index Based Built-up Index, IBI）等 3 项指数作为评价中山市生态环境质量状况的指标。各指数的生态环境意义及计算方法如下：

1) 湿度指数（HI）

缨帽变换所获得的湿度指数可以较好地去除土壤对植物反射率的影响，所反映出来的水热状况更接近实际分布状况，可以对区域的水分状况有较详细的反映^[9]。对于 Landsat TM 影像，湿度指数计算公式为：

$$HI = 0.031 5\rho_1 + 0.202 1\rho_2 + 0.310 2\rho_3 + 0.159 4\rho_4 - 0.680 6\rho_5 - 0.610 9\rho_7 \quad (1)$$

式中， ρ_i ($i = 1, \dots, 5, 7$) 为 TM 影像数据各波段的反射率，由原始遥感图像经辐射定标和大气校正处理后得到，下同。

2) 植被指数（NDVI）

植被指数用来反映植被状况、植被覆盖、生物量等信息，是反映生态环境质量的重要指标^[10]。该指数对土壤背景的变化较为敏感，在很大程度上消除了地形和群落结构阴影的影响，并削弱了大气

① 美国地质勘探局网站于 2010 年后停止更新本研究区域 TM 影像数据，2009 年 11 月 2 日为符合本研究要求的最新 TM 影像成像时间。

的干扰,因而大大扩展了对植被覆盖度的监测灵敏度,常用来反映植被状况、植被覆盖、生物量等信息,其计算公式为^[11]:

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (2)$$

3) 建筑覆盖度指数 (IBI)

中山市土地利用程度较高,经过多年的发展,建筑用地发展成为仅次于农林、水体的第 3 大土地利用类型。可以说,中山市建筑用地面积和分布发生变化,将会对城市生态环境产生重大影响。基于此,本文选用徐涵秋等提出的基于建筑用地的指数 IBI (Index Based Built-up Index)^[12] 来反映中山市建筑用地的空间分布特点。IBI 的计算公式为:

$$IBI = \frac{\frac{2\rho_5}{\rho_5 + \rho_4} - \left(\frac{\rho_4}{\rho_4 + \rho_3} + \frac{\rho_2}{\rho_2 + \rho_5} \right)}{\frac{2\rho_5}{\rho_5 + \rho_4} + \left(\frac{\rho_4}{\rho_4 + \rho_3} + \frac{\rho_2}{\rho_2 + \rho_5} \right)} \quad (3)$$

考虑到上述 3 个指标计算结果存在量纲和数量级的差异,在应用上述公式计算得到结果后,需对结果进行标准化处理。标准化处理公式如下:

$$a = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

式中, X 为指标值; X_{\min} 为指标最低阈值; X_{\max} 为指标最高阈值

2.2 综合指数构建

本文拟构建综合生态指数对区域内的生态环境质量进行综合评价。所构建的生态指数要求既能以单一指标的形式出现,又可以综合以上 3 个指标的信息。因此,如何以单一变量来耦合以上多个变量,是本研究的关键。当前常用的方法是指标加权法,如《生态环境状况评价技术规范》中推荐的方法即是^[13]。但该方法最大的弊端是,指标之间权重的人为确定,往往会影响结果的合理性^[14]。

因此,本文选用多元统计方法中的主成分分析法 (PCA) 对指标进行集成。主成分分析法的最大优点是集成各指标的权重不是人为确定,而是根据数据本身属性得到指标间的内在结构关系,权重具有较好的客观性,便于定量分析^[15-16]。鉴于主成分分析法已使用较多,这里不再进行方法介绍,详情可参考文献 [15-16]。

生态环境综合指数的计算公式如下:

$$E_0 = 1 - \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (5)$$

式中, E_0 为评价单元生态环境综合评价指数, P_i 为第 i 个成分得分, A_i 为第 i 个成分贡献率。

值得注意的是,在利用公式 (5) 计算得到初始生态环境指数 E_0 后,为便于指标的度量和比较,需对 E_0 进行正规化,操作步骤可参照公式 (4) 进行,正规化后获得最终的生态环境指数 E 。 E 值介于 $[0, 1]$ 之间,数值越高表示该像元所对应区域的生态环境质量越好。

3 结果与讨论

3.1 生态环境质量评价结果

表 1 是主成分分析结果。从表 1 可以看出,对于不同时期的遥感指标,主成分 1 和主成分 2 的特征值贡献率之和均超过了 90%。这说明,主成分 1 和主成分 2 集中了各指标的大部分特征,可以用于创建生态环境综合指数。

以 0.25 为间隔,将生态环境综合指数分为 4 个等级,依次为较差、中等、良好、优秀,对生态环境质量状况进行分级评价。中山市 1994 年和 2009 年生态环境质量的总体评价结果和各级别土地面积统计值见表 2。

表 1 主成分分析结果

Table 1 Principal component analysis of three factors

年份	指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
1994	HI	-0.416	-0.850	0.324
	NDVI	-0.760	0.129	-0.638
	IBI	-0.500	0.511	0.699
	特征值	0.323	0.066	0.025
	特征值贡献率/%	78.00	15.89	6.11
2009	HI	-0.574	-0.565	-0.593
	NDVI	-0.769	0.123	0.628
	IBI	-0.282	0.816	-0.505
	特征值	0.270	0.061	0.039
	特征值贡献率/%	72.92	16.55	10.53

表 2 不同年份中山市生态环境评价结果¹⁾

Table 2 Evaluation results of ecological environment in different years in Zhongshan

年份	总体评级	均值	标准偏差	各级别所占面积/km ²			
				优秀	良好	中等	较差
1994	良好	0.609	0.283	717.85	502.37	167.86	271.88
2009	良好	0.678	0.165	528.97	605.70	433.85	91.44
变化率/%	-	11.3	-41.7	-26.3	20.6	158.5	-66.4

1) 各级别所占面积按像元数统计值换算

从表 2 可以看出, 1994 和 2009 年中山市全市生态环境质量综合评价等级均处于良好级别, 说明中山市整体生态环境质量较好。在具体的评价结果上, 2009 年中山市生态环境综合指数要高于 1994 年, 显示近年来中山市整体生态环境状况有所改善。各像元值的标准偏差统计结果显示, 1994 年该值为 0.283, 而 2009 年该值为 0.165, 这说明 2009 年中山市全市的生态环境质量较之 1994 年要趋于平均化。对不同评价等级区域的面积统计结果显示, 2009 年中山市生态环境质量状况为优秀级别的区域面积较 1994 年下降了 26.3%, 这表明中山市的城市发展, 对原有较高等级生态环境状况的区域造成了一定影响。同时, 2009 年中山市生态环境质量状况为良好和中等级别的区域面积则分别增加了 20.6% 和 158.5%, 较差级别的区域面积下降了 66.4%, 这说明近年来中山市生态环境状况较差区域的生态环境质量得到了很大程度的改善。总体来看, 中山市生态环境质量呈良好发展态势。虽然部分区域的生态环境受到了经济发展的影响,

生态环境质量有所下降, 但整体上中山市生态环境质量呈上升趋势, 较差级别区域所占面积也从 1994 年的 16.4% 下降到了 2009 年的 5.5%。

3.2 评价结果的空间分析

由于生态环境质量与空间属性紧密相关, 研究区内生态环境质量往往存在着一定的空间差异, 因此有必要对评价结果进行空间分析。中山市不同年份生态环境质量的分级显示结果见图 1。

由图 1 可以看出, 中山市生态环境受影响区域主要集中在中心城区、西北片区和南部片区, 这与中山市的城镇空间发展战略相一致。20 世纪 90 年代, 中山市开始实施“一核”(石岐区)、“两副”(小榄镇、三乡镇)城市中心发展战略, 其中, 西北片区以小榄镇为核心, 大力发展与金属制品、电器机械、食品加工相关的优势产业; 南部片区以三乡镇为核心, 大力发展出口加工制造业; 而中部地区作为主城区, 大力发展综合服务业和高新技术产业。目前, 小榄镇、三乡镇已打造成为片区中心城市, 具备中山市城市副中心的地位^[17]。

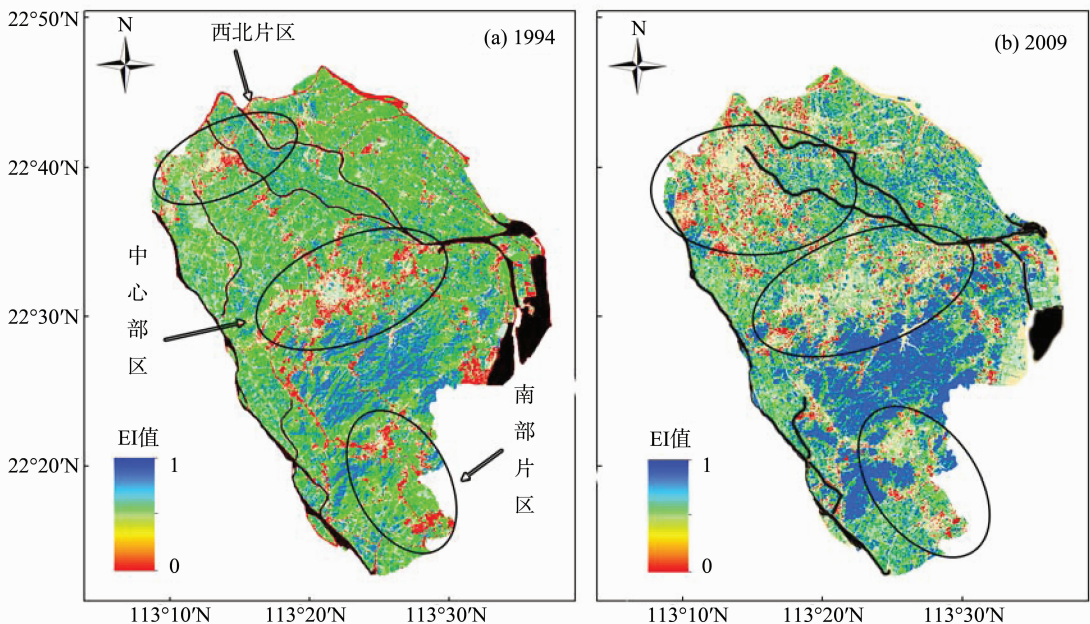


图 1 不同时期中山市生态环境状况分级显示

Fig. 1 Gradation display of ecological environment status of Zhongshan in different years

对比 1994 年和 2009 年中山市生态环境质量评价图,可以看出,虽然中山市生态环境受人类活动影响的区域在不断扩大,但已受影响区域的生态环境质量却在不断好转。这与前面的分析结果相一致。近年来,中山市在经济发展过程中注重生态环保工作,注重城市环境质量的改善。曾先后投入大量资金进行城市水环境、大气环境整治,建设固体废物处理基地,着力构建“五桂山”生态保护区生态屏障。另外,大力发展生态产业,全面落实污染减排工作,加强污染源监管^[18]。在产业结构方面,中山市加快产业结构调整,大力发展现代服务业和高新技术产业,优化工业产业结构,淘汰高污染、高能耗的工业企业,实现产业优化调整^[17]。这一系列措施,都促进了中山市生态环境质量的改善,2009 年中山市的生态环境质量较 1994 年呈上升趋势。

4 生态环境与经济协调发展度分析

4.1 协调发展度

近年来,国家在大力推进生态文明建设。生态文明建设其中的一个目的就是要实现生态环境与经济的协调发展,而“协调发展度”则是度量生态环境与经济协调发展水平高低的定量指标。它不仅可以反映区域环境质量变化与社会经济发展之间的同步性,还可以反映区域环境与经济发展之间的综合实力水平^[19]。协调发展度的计算公式如下^[20]:

$$H = \sqrt{\left[(FE) \left/ \left(\frac{F+E}{2} \right)^2 \right]^k \cdot (\alpha F + \beta E)} \quad (6)$$

式中, F 、 E 分别为经济综合指数和生态环境综合指数; α 和 β 分别为经济和生态环境在综合评判中的权重,本研究中认为经济发展与生态环境状况同等重要,故 α 和 β 均取值为 0.5; k 为调节系数,本研究中取值为 3; H 为协调发展度,反映生态环境与经济协调发展水平的高低。将协调发展度的计算结果以 0.2 为间隔,可分成严重失调、中度失调、濒临失调、中等协调、良好协调 5 个协调状态。在本研究中,以中山市 23 个镇区作为研究样本,开展各镇区不同时期生态环境与经济协调发展度分析(注:五桂山镇属于自然保护区范围,属于限制开发区域,因此不进行分析)。各镇区生态环境质量指数 E 在本文第三节计算成果的基础上,由 ArcGIS 10.0 软件中的区域统计模块(Zonal Statistics)计算得出。经济综合指数 F 通过选择各镇区总人口、常住人口人均生产总值、农业总产值、工业总产值、第三产业总产值等 5 项指标,采用主

成分分析法计算得出。采取该方法能够客观确定指标权重,同时保证生态环境指数和经济指数在形式和取值范围上保持一致性,有利于开展两者的协调发展程度分析^[21]。

4.2 生态环境与经济协调发展评价结果

对中山市各镇区协调发展度的统计结果表明,1994 年中山市各镇区协调发展度 H 值的平均值是 0.711,处于“中等协调”等级;而 2009 年中山市各镇区 H 值的平均值是 0.512,处于“濒临协调”等级。这说明,整体上中山市经济与城市生态环境之间的差距在逐渐扩大,二者向着不协调方向发展。表 3 是对中山市不同协调发展等级镇区数量的统计。从表 3 中可以看出,1994 年中山市 74% 以上的镇区处于“中等协调”以上发展等级(包括“中等协调”等级)，“濒临失调”等级以下的镇区个数只有 3 个(包括“濒临失调”等级)。而到了 2009 年,只有不到 50% 的镇区处于“中等协调”以上发展等级,“濒临失调”等级以下的镇区数量则大幅度增加,增加到了 11 个,甚至个别镇区出现了“严重失调”的发展结果。

以上结果表明,1994 年中山市生态环境与经济协调发展程度整体处于较好的水平,而到了 2009 年,中山市生态环境与经济协调发展的优势不复存在,部分镇区生态环境的保护和改善与经济的发展程度不匹配,两者失调的状况较为严重。

表 3 不同年份各协调发展等级镇区数

Table 3 The number of towns in different classification of coordination degree in 1994 and 2009

年份	良好协调	中等协调	濒临失调	中度失调	严重失调
1994	3	17	2	1	0
2009	1	10	6	4	2

为对中山市各镇区生态环境与经济的协调发展水平进行空间变化分析,本文绘制了不同时期中山市各镇区生态环境与经济协调发展水平空间分布图,结果见图 2。

图 2 表明,1994 年中山市绝大部分镇区生态环境与经济协调发展水平处于“中等协调”等级以上。而 2009 年,除北部,中部和南部部分镇区生态环境与经济协调发展水平保持不变外,其余镇区区域内生态环境与经济均朝着不协调方向发展。这些镇区主要集中在中山市中北部、中南部和南部区域,且有两个镇区(神湾镇与民众镇)出现了

“严重失调”情况。

基于协调发展度的计算结果，本文判断得出在 1994 年，中山市生态环境与经济协调发展的关系属于“良好协调发展类经济滞后型”，2009 年环境与经济协调发展的关系属于“勉强协调发展类经济滞后型”。结合对中山市各镇区的经济状况、地理环境状况的统计，本文认为，中山市整体上生态环境与经济协调发展水平从 1994 年的“中等协调”等级下降到 2009 年的“濒临协调”等级，主要是由于中山市的经济建设落后于环境保护造成的。在具体的镇区上，表现为经济不发达镇区的生态环境与经济协调发展状况较差，而经济发达镇区

环境与经济协调发展状况较好。例如 2009 年出现“严重失调”的民众镇和神湾镇，都是典型的不发达镇区。镇区第一产业所占比例大，分别占到了当年镇区生产总值的 11% 和 6%。镇区内较多基本农田，其面积分别占到了镇区面积的 51% 和 24%^[22]。长期的经济落后，使得该区域经济发展远远落后于该区域的生态环境保护工作。对于出现“濒临失调”等级的港口镇、阜沙镇、大涌镇和板芙镇等镇区，也均属于经济不发达镇区，各镇区在中山 23 个镇区的经济排名均在 17 名以后。这说明，中山市环境与经济的不协调发展主要是由于不发达镇区的经济发展落后于环境保护工作造成的。

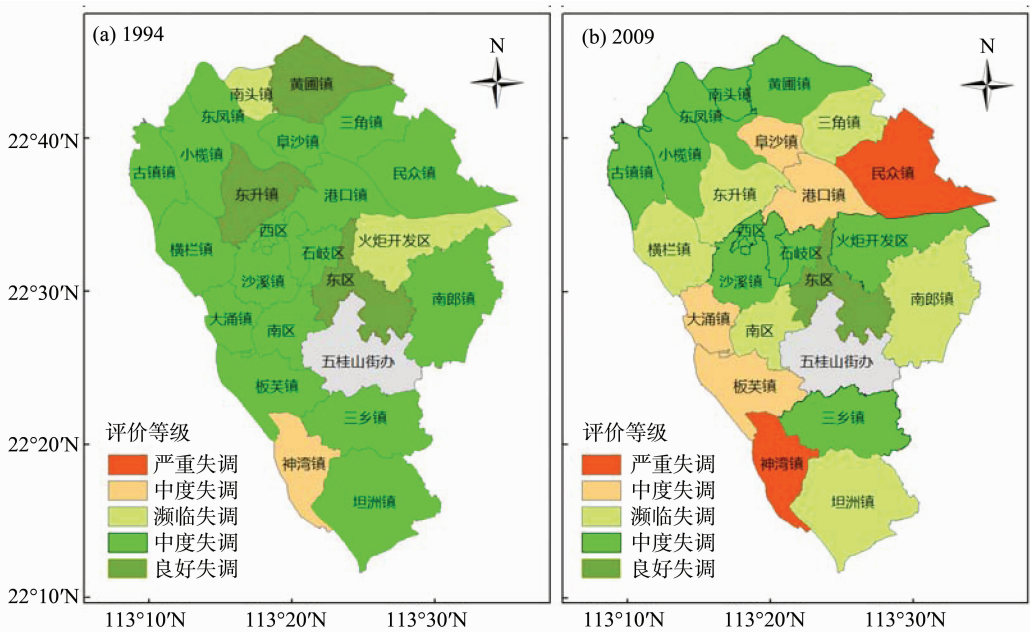


图 2 中山市各镇区生态环境与经济协调发展水平空间分布图

Fig. 2 The spatial distribution of coordination degree between different towns in Zhongshan

4.3 建议

从长远来看，中山市的生态环境与经济协调发展主要存在以下两个挑战。一是在中北部各镇区，该区域国土开发强度高，资源环境承载压力大；尽管社会经济各方面的建设取得巨大成就，但该区域生态环境脆弱，生态环境保护工作面临巨大的压力，易出现不协调情况。二是在中山市东西两侧及南部镇区，该区域集中了全市大多数的农用地、基本农田保护区、水源保护地等，是全市乃至珠江口西岸生态保护的重要区域，农业生产和生态功能突出，但社会经济发展程度较低。经济发展长期落后于生态环境保护工作，也易出现不协调情况。

上述两种环境 - 经济系统失调类型的形成，既受到各镇区自然地理格局的客观因素影响，也是近

年来中山市城镇化进程加快、国土开发强度逐步加大造成的。如何在中山市有限的国土空间内，既满足工业化发展、人民生活改善、经济增长对国土空间开发的巨大需求，又能为保障生态安全和人民健康提供绿色生态空间？本研究认为，应该在尊重各区域自然地理格局和社会发展现状的前提下，对不同协调类型的区域实施差别化的国土开发政策和生态环境保护策略。对于经济发达 - 生态脆弱型区域，当前首要任务是充分考虑环境容量、土地资源等刚性约束条件，严格控制开发强度，提高土地集约开发水平，挖掘现有建设用地潜力，通过探索城市土地立体化利用模式，缓解各种开发活动对资源和生态环境的压力。具体可采取的措施包括：① 包括整合优化中心城区现有的建设用地，更新改造三

旧用地,强化中心城区(包括石岐区、东区、西区和南区)的生活服务功能和绿色生态空间,实现已有产业的优化转型升级;②对于中北部当前处于经济建设高速发展阶段的镇区(如阜沙镇、东升镇、大涌镇等),应积极整合现有工业园区,推动工业项目集中布局,促使国土开发从占用土地的外延扩张为主,转向调整优化空间结构为主。

对于生态良好-经济滞后型区域,则应以保护生态环境为前提,以水土资源承载能力为基础进行有序有度的开发。具体措施包括:①在三角镇、民众镇等具有一定农业发展基础和条件的镇区,构建现代都市农业体系,发展高效优质生态农业和观光农业;②充分利用神湾镇、板芙镇等西江磨刀门水道沿岸镇区的区位优势,发展临港制造业和现代物流业,并打造以游艇观光、水乡风情为核心的休闲旅游业;③创新和完善生态保护补偿机制、财政转移支付制度和政府绩效考核方法,确保该区域的生态保护成效与当地财政收入挂钩,在满足相应镇区政府和居民经济发展需求的同时,提高其保护生态环境的积极性。

5 结 论

基于 Landsat TM 遥感影像数据,对不同时期中山市的生态环境质量进行了评价,并结合中山市的相关经济指标,对中山市的生态环境与经济协调发展情况进行了分析,得到如下结论:

1) 将 GIS 技术应用于城市生态环境质量评价,可在无需环境统计数据的情况下达到区域生态环境质量评价的目的。同时评价结果具有直观、形象、动态的特点,便于可视化和空间分析。本文所使用的主成分分析法,提高了指标权重的客观性,该方法可移植性较强,有助于实现城市生态环境的规范化评价和科学化管理。

2) 对不同时期中山市的生态环境质量评价结果表明,中山市的生态环境质量较好,整体呈良好发展趋势。生态环境较差级别区域的面积大幅度下降,中等级别和良好级别的区域面积增加明显。中山市的生态环境良好得益于中山市在经济发展过程中,注重生态环境保护工作;同时积极推进产业结构调整,大力发展高新技术产业和现代服务业,坚决淘汰高耗能、高污染的落后产业。

3) 对不同时期生态环境和经济发展协调发展度研究表明,1994年中山市生态环境和经济发展较为协调,但2009年协调程度大幅下降,部分镇区甚至出现了“严重失调”状况。中山市生态环

境与经济发展出现不协调的原因,主要是由于不发达镇区经济发展落后于生态环境保护工作造成的。

参考文献:

- [1] 黄金川,方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究,2003,22(2):211-219.
- [2] 涂军平,黄贤金,刘杨. 土地生态环境评价指标体系研究及区划应用[J]. 中国农学通报,2006,22(12):247-252.
- [3] 侯素霞,刘新铭,钟秦. 模糊数学在丹河水环境综合评价中的应用[J]. 生态环境,2008,17(4):1411-1414.
- [4] 鲁然英. 城市环境空气质量及其评价方法研究[D]. 兰州:兰州大学,2006.
- [5] 田佳良. 区域生态环境质量评价研究综述[J]. 环境保护与循环经济,2013,33(11):63-66.
- [6] 郑宗清. 广州城市生态环境质量评价[J]. 陕西师大学报:自然科学版,1995,23:134-137.
- [7] 栾勇,陈绍辉,尹忠东,等. 珠海市城市生态环境质量评价及问题分析[J]. 水土保持研究,2008,15(1):186-189.
- [8] BUTSON C R, FERNANDES R A. A consistency analysis of surface reflectance and leaf area index retrieval from overlapping clear-sky Landsat ETM+ imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,89(3):369-380.
- [9] 宁书年. 遥感图像处理与应用[M]. 北京:地震出版社,1995:91-92.
- [10] CARLSON T N, RIPLEY D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997,62(3):241-252.
- [11] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展,1998(4):10-16.
- [12] XU H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008,29(14):4269-4276.
- [13] 环境保护部. 生态环境状况评价技术规范(试行)[S]. 2006.
- [14] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学,2013(5):889-897.
- [15] 杜敏. 基于主成分分析法的环境质量综合指数研究[D]. 成都:四川大学,2006.
- [16] 朱蕾. 基于主成分分析法的扬州市生态环境质量评价[D]. 扬州:扬州大学,2013.
- [17] 中国城市规划设计研究院. 中山市城市总体规划(2004-2020年)纲要说明书[Z]. 2005.
- [18] 环境保护部污染防治司. 中山市创建国家环保模范城市工作报告[R],2012.
- [19] 徐肇忠. 城市环境规划[M]. 武汉:武汉大学出版社,1999:60-62.
- [20] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999(2):76-82.
- [21] 楼旭逵,黄海峰. “九五-十五”期间珠三角环境与经济协调发展研究[J]. 热带地理,2008(5):461-466.
- [22] 中山市统计局. 中山市统计年鉴[Z]. 2009.