

文章编号: 1007-4619 (2001) 01-0034-07

# 基于 GIS 与空间统计分析的可持续发展度量方法研究 ——以缅甸 Myingyan District 为例

张显峰, 崔伟宏

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 利用空间信息系统所提供的强大空间数据处理和分析能力, 并将之与统计分析软件包的统计分析功能进行有效的集成, 建立了基于空间统计分析的可持续发展定量分析评价模型(SBSA)。从在缅甸中部 Myingyan 县的应用实例来看, 该模型能够揭示影响 Myingyan 县可持续发展能力的主导因子, 通过对这些因子和可持续发展综合指数的定量化、空间化的分析, 为政府部门规划区域综合发展方案, 制定发展政策提供很好的决策支持。

**关键词:** 数据同化; 空间统计分析; 定量评价; 可持续发展综合指数  
**中图分类号:** TP79/P208 **文献标识码:** A

## 1 引言

可持续发展的评价与度量的目的是评价和监测可持续发展的状态和能力, 为实施可持续发展管理和决策提供依据。其核心内容, 一是可持续发展指标的选择; 二是定量评价模型和方法的建立。在区域可持续发展评价中, 指标体系来自资源、环境、社会和经济 4 方面<sup>[1-3]</sup>。在这些指标中, 既有空间数据(如坡度), 也有按行政单元划分的统计数据(如人均耕地), 如何将它们进行有效的数据同化是建立定量评价模型的关键。传统的做法是将空间数据“粗化”和“离散化”到行政单元上, 与统计数据匹配。很明显, 这种方法失掉了一些指标的空间分布规律信息, 最后得到的综合评价指数并不能较好地反映区域可持续发展的空间分异规律。在可持续发展研究和决策中, 空间信息系统比其它领域更加重要<sup>[2]</sup>。

从国内外研究现状看, 可持续发展综合评价存在以下一些问题: (1) 对指标的选取范围和数量的多少意见不一, 缺乏统一的理论, 可操作性较差; (2) 指标体系的量化方法和权重系数的确定十分困难, 通

常采用的专家打分法人为因素较大<sup>[3]</sup>; (3) 在设计指标和定量化模型时, 大多选自按行政单元统计的数据项或从统计数据项计算而得, 缺乏指标的空间分布描述, 而被简单地“归纳”到行政单元上, 客观上降低了数据精度, 与指标的实际情况不符合; (4) 定量评价模型过于简单, 各指标之间彼此相互不独立, 存在或多或少的相关, 按某一量化评价模型得到的可持续发展综合指数可能会“强调”某些指标群, 夸大这些因素的影响。

为克服上述可持续发展度量中的问题, 本文运用 GIS 和空间统计分析等理论方法, 提出了基于指标空间统计特征的空间量化方法, 以及基于因子分析的指标综合模型, 从而建立了可持续发展定量综合评价的新方法。本文重点讨论参评指标的量化方法和可持续发展能力度量模型的建立。

## 2 基于空间统计分析的可持续发展评价模型(SBSA)设计

### 2.1 适合区域特点的指标体系选取原则

假设影响区域可持续发展的因子有  $n$  个, 构成

收稿日期: 2000-01-11; 修订日期: 2000-06-15

基金项目: 本研究是在联合国 UNV/ESCAP-983 项目支持下完成。

作者简介: 张显峰(1967—), 男, 四川宣汉人, 1993年毕业于北京大学自然地理专业, 硕士。现为中国科学院遥感应用研究所助研, 暨在读博士。从事可持续发展以及“3S”技术集成研究, 发表论文 10 余篇。

集合  $N$ 。在选取参评因子时考虑以下原则: (1) 可操作性原则。所选取的指标必须能够量化, 对不能量化的指标用相似的指标取代; (2) 科学性和完备性。假设从因子全集  $N$  中选择出  $m$  个因子构成指标体系:

$$S_{index} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \quad (S_{index} \subset N)$$

考虑到区域尺度的大小和区域的具体特点,  $S_{index}$  的构成可以存在不同的复杂度。

### 2.2 指标空间量化方法

在所选定的指标体系  $S_{index}$  中, 有的指标是具有地理位置和分布的空间数据, 有的指标则是以行政单元量化的统计数据, 如何同化不同数据源的数据是建立定量评价模型的关键。假设在某区域上确定了  $m$  个指标(变量), 根据指标的数据源类型, 可以分为空间数据、统计数据 and 遥感数据 3 类。如坡度、高程和地貌类型等数据是参照地理坐标的空间数据, 而粮食产量、经济收入等则是按行政单元进行统计的; 而有些指标如植被指数却是从遥感数据计算而得, 遥感数据属于一种特殊的空间数据。为了揭示可持续发展的空间分异特征和对来自不同数据源的数据进行同化, 必须将它们统一到相同的空间坐

标参照中, 并使之具有相同的样本空间。对于如人口密度等变量具有空间连续分布的特性, 可以通过空间插值将离散的统计数据按照其空间分布规律连续化, 如 Kriging、TIN、样条、趋势面等插值方法。而有些统计变量不具有明显的空间统计分布特征或在空间上分布不连续, 则将行政单元作为空间单元直接栅格化, 以便和其它数据层匹配分析。

### 2.3 定量评价模型设计

最常用的定量评价方法是采用某一时刻指标的实际值与该指标的理想值相除, 求得该指标的实现度, 再将各指标用数学运算综合为一个综合指数。假设选择了  $m$  个变量(因子), 但是, 这  $m$  个因子并不是彼此相互独立, 存在或多或少的相关性。按某一量化评价模型得到的可持续发展综合指数(CISD)可能会“强调”某些指标群, 夸大这些因素的影响。同时为了避免人为确定权重的困难, 我们运用因子分析方法来析取可以表征区域可持续发展状况的综合指标。将 GIS 系统与统计分析软件进行集成建立基于空间统计分析方法的 Myingyan 县可持续发展综合评价模型(Space-based Statistical Analysis Approach, SBSA)。该模型由 3 个子系统构成(图 1)。

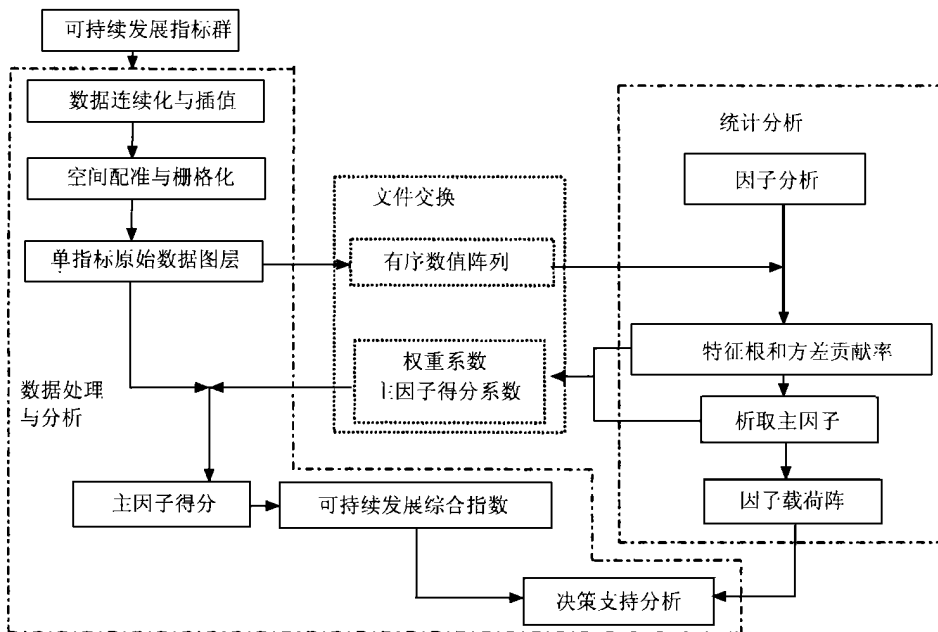


图 1 基于空间统计分析的可持续发展评价方法(SBSA)

Fig. 1 Space-based Statistical Analysis Approach

指标空间量化处理子系统

主要由 GIS 平台软件构成, 具有空间数据的采

集、存贮与处理、统计数据的空间化、离散化、不同数据层的空间配准、空间重采样以及数据转换等功能。

每一个可持续发展指标量化为一个空间数据层。该子系统不仅为可持续发展指标的量化准备和分析处理数据,而且可以将统计分析的结果回放显示,以便分析其空间和时间变化规律。

#### 统计分析子系统

由于目前 GIS 系统缺乏已经成熟的统计分析功能,所以该系统主要提供统计分析方法计算可持续发展综合指数。本模型运用因子分析方法来提取 CSD,所选用的统计分析软件为 SPSS 统计分析软件包。该软件包提供方便易用的常用统计分析模型。关于因子分析的数学模型和原理见文献[4]。选用因子分析作为可持续发展评价模型的主体数学模型的原因是:(1)因子分析可以排除各指标之间的相关性,提取相互独立但能描述原始数据主要信息的少数几个主因子(PF),主因子具有明显的专题意义;(2)各主因子的相对重要程度即权重可以由各主因子的方差贡献率求得,不必人为给出权重值;(3)根据主因子的权重和主因子的得分计量十分容易构建可持续发展综合指数(CISD)的计算公式。

#### 文件交换子系统

该子系统负责在 GIS 平台和统计分析平台之间进行数据格式的转换。文本数据格式是这两种系统都能接收的公共格式。这种集成方式是异构系统(GIS 与模型系统)之间最常用的也是最简单的集成方式<sup>[5-7]</sup>。

### 3 SBSA 模型在缅甸 Myingyan 可持续发展综合评价中的应用

敏建县(Myingyan District)位于缅甸联邦中部干旱带的中心,面积 3412.8km<sup>2</sup>。历史上这里人口稠密,气候上属于热带半干旱和干旱带。由 Myingyan, Kyaukpadung, Thaungtha 和 Nahtogyi 4 个乡镇行政区构成,1998 年全县人口 920490 人。农业经济占绝对优势,除少数几个木材、食品加工厂外,几乎没有工业。由于气候相对干燥和历史上人为破坏,生态环境比较脆弱,水土流失严重。1997 年联合国 UNDP/ ESCAP 选择该县作为“运用遥感和 GIS 进行缅甸中部干旱带可持续发展综合规划示范”的研究区域。从资源利用、环境保护、经济和社会发展等角度来诊断和监测敏建县发展中的问题,评价可持续发展的现状和能力,为可持续发展规划和管理提供依据。

#### 3.1 可持续发展指标的选取与量化

根据科学性、完备性和数据易获取等原则,共选

取 11 个因子分别刻划自然、环境、社会和经济状况对 Myingyan 县农业可持续发展潜力的影响<sup>[8]</sup>。

$$S_{\text{index}} = \{ \text{土壤侵蚀、地貌、坡度、土壤深度、植被指数、人口密度、灌溉潜力、道路通达性、人均粮食、人均耕地、人均油料产量} \}$$

#### 3.2 数据处理与同化

##### 数据准备和指标量化

在所选 11 个指标中,土壤侵蚀、地貌、土层深度是专题地图,可以经过数字化处理直接生成 Arc/Info 的 coverage 数据格式,而灌溉潜力、道路通达性、坡度和植被指数,则需要从水系分布图、道路交通图、地形图和遥感数据计算得到。计算方法如下:

##### (1) 道路通达性的计算

$$A_i = W_1 * D_{i1} + W_2 * D_{i2} + \dots + W_k * D_{ik}$$

其中,  $W_1$ ,  $W_2$  和  $W_k$  是铁路、一级公路和  $k$  级公路的权重,  $D_{i1}$ ,  $D_{i2}$  和  $D_{ik}$  是第  $i$  个像元到最近的铁路、一级公路和  $k$  级公路的欧氏距离。  $A_i$  值越小,表示该像元道路通达性越高。

##### (2) 灌溉潜力的算法如下

$$P_i = \sum C_k * D_{ik}$$

其中,  $C_k$  是  $k$  级水系对像元  $i$  灌溉潜力的贡献权重,  $D_{ik}$  是第  $i$  个像元到最近的一级水系、二级水系和  $k$  级水系的欧氏距离。

##### (3) 植被指数的计算

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

##### 统计数据空间化和连续化处理

统计数据是按一定的行政单元进行统计的,必须将统计数据空间化,才能和其它空间数据进行配准和分析。对于有些统计数据,具有空间连续分布的特性,可以通过空间插值将离散的统计数据按照其空间分布规律连续化。下面以人口为例来说明统计数据的空间化和连续化处理。Myingyan 县的人口数据按 319 个行政村统计,在 Arc/Info 下生成一个 Point 类型的 coverage,即点状离散分布的人口数据层。在几种典型的插值方法中,Kriging 是一种较好的地学统计方法,假设以  $Z$  值表示的空间现象从统计学上讲在整个区域是均质的连续变化,根据离散分布的具  $Z$  值的点,可插值生成一个估计面模型<sup>[9]</sup>。

对于有些统计变量所表示的地理现象,由于缺乏明显的空间统计特征,因此难以运用空间统计规

律进行空间连续化,采取按行政单元直接栅格化该统计变量。这种方法的实质是将统计单元细分,同化来自不同数据源的数据。

### 栅格化与空间配准

考虑到矢量格式的 coverage 不便于空间分析和空间配准,将所有数据层转换为 grid 的格式,这个转换的过程就是空间采样的过程。空间采样涉及到采样密度的问题,采样密度太高,势必造成数据冗余,采样密度太低,又会导致信息丢失。具体到从 coverage 到 grid 的数据转换,就是要确定一个合适的像元大小。按专题信息不损失原则确定像元大小,设有  $m$  个专题图层需要栅格化,则像元大小为:

$$\text{Cellsize} = [\min(M - \text{area}_i)]^{1/2}$$

其中,  $M - \text{area}_i$  是第  $i$  个专题的最小多边形图斑面积。

根据该方法得出,如果按  $600 * 600$  的像元栅格化各指标数据层,可以既保证信息不损失,又适合 SPSS 统计软件包进行分析。

当 11 个指标都按  $600 * 600$  的像元大小进行栅格化后,从空间统计的角度看,就是进行 100% 空间系统采样而不是随机采样,获得一样本空间<sup>[10]</sup>:

$$S = \{(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), \dots, (X_n, Y_n, Z_n)\}$$

在 grid 格式中,  $X_i, Y_j$  隐含在行列位置中。为了保证每一个指标数据层的样本空间完全一样,样

本之间应该一一对应,因此将 11 个 grid 数据层进行空间配准。取 Myingyan 县的行政界线边界作为标准数据范围,将其栅格化为边界内的值 -1,边界以外的值为 nodata 的 grid 格式的数据层 std-grid,如果某一数据层 grid1 的外边界小于标准数据层,按如下算法扩展其边界:

```
If ( std- grid = - 1 and isnu 11 ( grid1) = 1)
grid11 = 0 Else grid11 = grid1
Endif
```

grid11 为经空间配准后的数据层,它具有和标准层相同的像元数。

如果某一数据层 grid2 的外边界大于标准层 std-grid, 则用 GridClip 函数将其大于部分裁掉。这样所有 11 个指标的数据层就具有相同大小的样本空间  $246 * 188$ , 每一个像元(样本)具有相同的空间位置。各数据层的专题含义可以看作每个样本上的  $k$  个观测值。以 Myingyan 县为例,我们在  $246 * 188$  个样本上观测了共 11 个现象(变量)的取值。

### 3.3 因子分析提取主因子

将 11 个变量的数据在 SPSS 系统中实施因子分析,提取相互独立的几个主因子。根据原始数据的信息基本不损失的原则,共提取 3 个主因子(表 1)。下面分析这 3 个主因子的专题含义。

表 1 可持续发展综合指数(CISD)的计算参数表

Table 1 CISD and principal component score

变量名	专题含义	第一主因子	第二主因子	第三主因子
EROSION	土壤侵蚀类型	0.116	0.676	0.059
GRAINPER	人均粮食占有量	0.960	-0.04	0.101
LANDFORM	地貌类型	-0.07	0.801	0.284
NDVI	归一化植被指数	-0.01	-0.09	0.563
POPDEN	人口密度	0.07	0.285	0.640
ROADDS	道路通达性	0.06	0.472	-0.129
SOILDEPIH	土壤深度分级	-0.237	0.691	0.147
SLOPE	地形坡度	0.01	0.571	-0.139
P	灌溉潜力	0.477	-0.03	-0.06
OILPER	人均油料产量	0.968	-0.04	-0.06
LANDPER	人均耕地面积	0.289	-0.03	-0.683
	$W_i$	0.42	0.36	0.22
	CISD	$0.42 * f_1 + 0.36 * f_2 + 0.22 * f_3$		

第一主因子(PF-1)在人均粮食、人均油料产量和灌溉潜力 3 个变量上的载荷最高,反映了人类经

济活动对 Myingyan 县可持续发展状况的影响。由于 PF-1 主要表征的是食物保障情况,因而称 PF-1

为食物保障因子。在不发达地区,食物供给能力在很大程度上决定了区域发展水平。该县气候干燥,水资源贫乏,土地生产潜力很低,食物供给成为影响可持续发展能力的主导因子(图 2(a),图例中的数字为指标评价得分)。

第二主因子(PF-2)主要由地貌、土层深度、侵蚀强度和坡度等变量构成。反映了自然条件对 Myingyan 县可持续发展潜力的影响,称之为自然条件因子(图 2(b))。PF-2 在道路通达性上也具有较高的载荷,反映道路网和地形地貌之间的联系。自然条件和资源是一个区域内人类一切活动的本底和基础条件,也是影响区域可持续发展能力的持久因子。人类通过改善自然条件,合理利用自然资源可以增

强区域可持续发展能力。缅甸政府从 90 年代起,在缅甸中部干旱带尤其是 Myingyan 县境内大兴水利设施,改善灌溉条件,增强了区域可持续发展能力。

第三个主因子(PF-3)在人均耕地、植被指数和人口密度 3 个变量上的因子载荷最高,集中反映了这 3 个因子对区域发展的影响(图 2(c))。这 3 个变量反映植被覆盖状况以及人口对耕地的压力,因而 PF-3 被称作环境-人口压力指标。结合各单因子进一步分析,Myingyan 县环境-人口压力问题并不是工业生产导致环境污染,而是由于干旱的气候环境和森林植被的退化导致脆弱的生态环境和较低的土地人口承载潜力。通过改善生态环境和自然条件增强土地人口承载潜力是减小环境人口压力的主要方法。

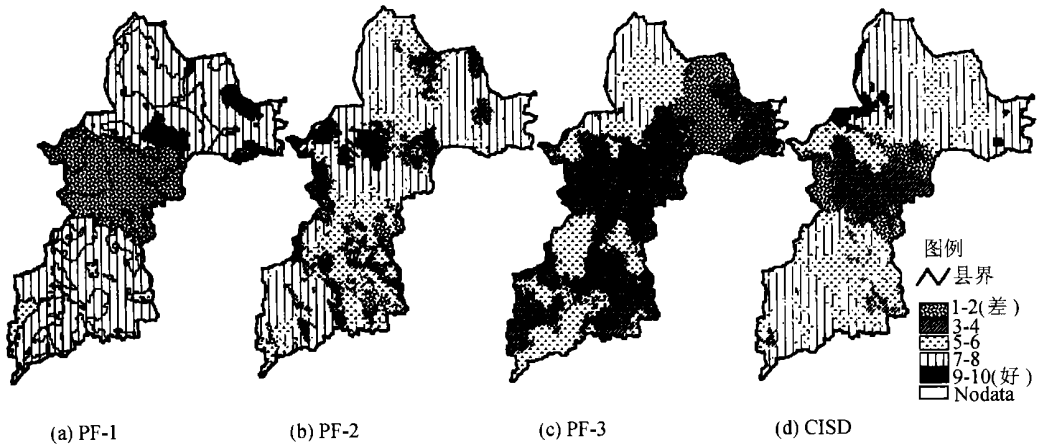


图 2 可持续发展综合指数和主因子空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of principal factors and CISD

### 3.4 可持续发展综合指数的计算与解释

3 个主因子分别从食物保障能力、自然条件和环境-人口压力等 3 个方面揭示了影响 Myingyan 县可持续发展能力的主导因素,为了更直观、综合地表征县域内区域发展的空间分异规律,为决策管理部门提供支持,将 3 个主因子综合成可持续发展综合指数(Comprehensive Indicator for Sustainable Development, CISD)。各主因子的权重系数可由因子分析中各主因子对应的特征根占方差贡献率的大小直接给出。计算方法如下:

#### (1) 各主因子权重系数的确定

$$W_i = E_i \sqrt{\sum_{i=1}^3 E_i}$$

其中,  $W_i$  是第  $i$  个主因子的权重系数,  $E_i$  是第  $i$  个主因子的特征根值。

#### (2) 主因子得分系数的确定

设有  $N$  个样本,观测到  $M$  个变量的值,则第  $i$  个主因子的得分系数为:

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_k \end{bmatrix} = A * R^{-1} * L$$

其中,  $A$  为原始数据阵,  $R$  为相关系数阵,  $L$  为因子正交时的因子载荷阵。

#### (3) CISD 的计算

$$CISD = \sum_{i=1}^k \alpha_i * f_i$$

其中,  $\alpha_i$  是权重系数,  $f_i$  是第  $i$  个主因子的得分。

图 2(d) 表示了 Myingyan 县可持续发展综合指数(CISD)的空间分布。从该图中可以看出, Myingyan 县西北部的可持续发展指数最高,表明 PF-1、PF-2 和 PF-3 三个主因子在该区域得分都较高,是可持续发展潜力最高的区域。该区域紧临 Ayeeyarwady

江,大部分地区属于 Ayeyawady 冲积泛滥平原,土层厚且肥沃,灌溉条件好,可持续发展潜力也最好。其次是西南地区,由于靠近干旱区的南部边缘和 POPA 火山地形的影响下,水资源相对其它地区较为丰沛,农业条件较好,所以综合指数比较高,反映该区域可持续发展能力较强。中部地区的 CSD 指数最低,反映该区域的可持续发展能力最差。从各主因子分析来看,在第一主因子上得分很低,直接影响了 CSD 的大小。具体分析,Myingyan 中部地区水资源匮乏,土地生产潜力很低,同时中部虽然没有太高的山地,但地表破碎,植被遭到破坏,山丘水土流失严重。联合国 FAO1993 年在此地开展减少水土流失的研究项目,推广等高种植,以减少水土流失,恢复生态环境。东北部地区的 CSD 指数属于中等水平。由此可见,CSD 较好地反映了社会、经济和生态环境等截面对 Myingyan 可持续发展的综合作用及其空间分布规律。

## 4 结 论

本文充分利用空间信息系统提供的强大空间数据处理和分析能力,并将之与统计分析软件包的统计分析功能进行有效的集成,建立了基于空间统计分析的可持续发展定量分析评价模型(SBSA)。该模型具有以下优点:(1)能够很好地同化空间数据与非空间数据;(2)可持续发展指标数目不受任何限制,具有很强的操作性;(3)不仅能够将各个指标综合成描述区域可持续发展潜力的综合指数,而且无须人为给出权重因子,具有很好的客观性;(4)打破了按行政单元评价的局限性,可以揭示影响区域发展的主导因子及其空间分异规律。

从在缅甸中部 Myingyan 县的应用实例来看,该模型能够揭示影响 Myingyan 县可持续发展能力的

主导因子,对这些因子和可持续发展综合指数的定量化、空间化的分析,可以为政府部门规划区域综合发展方案、制定发展政策提供很好的决策支持。

## 参 考 文 献 (References)

- [ 1 ] Liu Hui. Indicator system for regional agriculture sustainable development [ J ]. *Progress in Geography*, 1997, 16( 2 ): 21—25. [ 刘慧. 区域农业可持续发展评价指标体系研究 [ J ]. 地理科学进展, 1997, 16( 2 ): 21—25. ]
- [ 2 ] Cui Weihong. Decision support system of regional sustainable development [ C ]. Beijing: Yuhang Press, 1995. [ 崔伟宏. 区域可持续发展决策支持系统研究 [ C ]. 北京: 宇航出版社, 1995. ]
- [ 3 ] Jia Shaofeng, Mao Hanying. A review of the overseas study on the measurement of sustainable development [ J ]. *Progress in Geo-science*, 1999, 14( 6 ): 596—601. [ 贾绍凤, 毛汉英. 国外可持续发展度量研究综述 [ J ]. 地球科学进展, 1999, 14( 6 ): 596—601. ]
- [ 4 ] Wang Xueren, Wang Songgui. Practical multi-variable statistic analysis [ M ]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 1990. [ 王学仁, 王松桂. 实用多元统计分析 [ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990. ]
- [ 5 ] M. Goodchild, R. Haining, Wises. Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities [ J ]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992, 6( 5 ): 407—423.
- [ 6 ] M. Batty. Geographical Information Systems in the Social and Policy Sciences [ A ]. Paper Presented at the ESF Workshop on Socio-Economic Applications of Geographical Information Systems [ C ]. Sintra, Portugal, 1992.
- [ 7 ] Streit, Wiesmann. Problems of integrating GIS and Hydrological Models [ A ]. Spatial Analytical Perspectives on GIS [ C ]. Taylor & Francis. New York, USA, 1996.
- [ 8 ] Zhang Xianfeng, Cui Weihong. Indicator system for the evaluation of Myingyan sustainable development [ R ]. Project Report. Beijing, 1999.
- [ 9 ] Michael Rosenbaum, Mats. Geostatistics as an Aid to Mapping [ R ]. ESRI User Conference Proceedings, 1997.
- [ 10 ] Goodchild. Geocoding and Geosampling [ A ]. Spatial Statistics and Models [ C ]. Published by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1984.

# Integrating GIS and Spatial Statistical Analysis to Establish Evaluation Model of Regional Sustainable Development: A Case Study in Myingyan Myanmar

ZHANG Xian-feng, CUI Wei-hong

(*Institute of Remote Sensing Applications, CSA, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** Due to the complexity of sustainable development, the selection of index system is very difficult and all these make it tough to collect, process and interpret data for the indexes. Consequently some of the methods of SD evaluation are less operational. This paper discuss a new approach by means of which the powerful analytical functions of GIS are integrated with the statistical analysis function of statistical software to establish a spatial statistical analysis model (SBSA) for Myingyan sustainable development. This model has some advantages as follows:

- (1) Being able to assimilate spatial data with statistical data,
- (2) The number of indexes is free of limitations, so the SBSA model is powerful in its operational ability;
- (3) To break the limitation of administration boundary for evaluation unit, and extract the principal factors and their spatial distribution which affect regional sustainable development potential.

The implementation of SBSA model shows that three principal factors (PF) affecting the potential capacity of the sustainable development in Myingyan District are food provision, physical condition and population pressure on environment. The analysis and interpretation of the three PFs provide decision and planning support for Myingyan government.

**Key words:** data assimilation; spatial statistical analysis; quantitative evaluation; sustainable development index