

基于遥感和 GIS 的辅助规划模型 ——以珠江三角洲可持续土地开发为例^{*}

黎 夏

(广州地理研究所 广州 510070)

叶嘉安

(香港大学城市规划及环境管理研究中心 香港)

摘 要 提出利用遥感和 GIS 来获得合理的城市发展布局和减少浪费土地资源的新方法。该模型是根据环境经济学资源分配原理和可持续发展理论,通过遥感和 GIS 的结合来实现。模型的核心就是保证在时间和空间上合理地安排土地资源。由此评价了珠江三角洲东莞市近年来的土地开发,获得了有意义的结果。并通过模型的运算,给出了规划期内的土地利用的优化方案,以减少浪费土地资源的现象。

关键词 可持续土地开发,遥感,GIS,规划模型,珠江三角洲

1 可持续土地发展

近年来,可持续发展的理论越来越引起人们的注意。人们一直在探讨如何合理地利用地球有限的资源来满足不断增长的需要。可持续发展的理论从新的角度强调了妥善地处理现代人和将来人的利益的必要性。在 Brundtland 的报告中,可持续发展被定义为“满足现代人的利益而同时不牺牲将来人的利益的发展”^[1]。该理论的出发点就是要提醒现代人要有节制地使用资源,要考虑下一代人的利益。任何过早地消耗资源的行为都是对下一代人不公平的。可持续发展包含了很多组成部分。土地的可持续发展是很重要的一部分。首先,土地是人类赖以生存的基础。人们的衣食住行都离不开土地。土地是一种不可再生资源,有些土地的利用和开发的过程是不可逆的。不适当地利用土地资源将会导致严重的后果。

2 可持续土地开发的 GIS 辅助规划模型

本研究提出了利用遥感和 GIS 进行可持续土地开发的辅助规划模型。通过土地利用的优化方案,在时间和空间上有效地利用土地资源。整个模型的流程见图 1。该模型从土地需求和土地供给两个不同方面出发,利用环境经济学资源分配的优化模型

来获得土地资源在时间上的优化分配。基于土地适宜性,利用 GIS 的空间分析技术来解决不同类型的用地矛盾,以进行土地利用的评价和规划。下面就模型流程中的有关部分进行详细说明。

2.1 土地需求

城市人口增长和经济发展是影响城市土地需求的主要原因。在发展中国家,城市化的现象变得越来越明显。城市的发展产生了用地需求,而农业用地的消耗几乎是提供这些城市用地的唯一途径。由于土地资源的总量相对不变,这种城市化过程产生了严重的土地供给和用地需求的矛盾。进入 90 年代以来,中国经历了一个快速的城市化发展阶段。在珠江三角洲地区,城市化以及房地产热所带来的农田流失的现象尤为严重,大量的农田在短期内被推平来进行土地开发^[2, 3]。可以根据人口增长和经济要素来确定土地的需求情况。

2.2 土地供给

土地的供给主要涉及了 3 个方面:数量、质量和位置。对于某地区,可以供给的土地在数量上相对是固定的。新增加的城市用地绝大部分来自农业用地的转变。土地的类型和肥沃性是决定农业生产的关键因素。保留一定数量的优质农田是保证粮食的稳定生产所必需的,城市的发展应该尽量避免侵

^{*} 本项目由香港 Croucher 基金会资助。

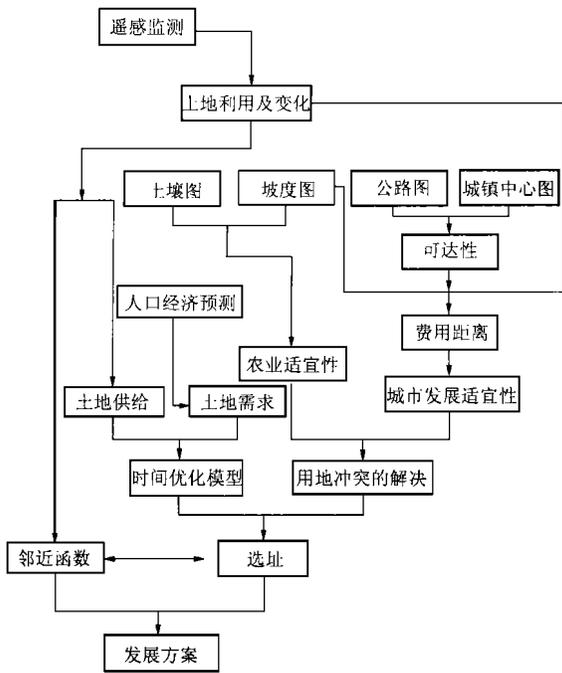


图 1 利用遥感和 GIS 的土地开发的辅助规划模型

Fig. 1 An Planning Support Model for Land Development Using Remote Sensing and GIS

占优质的农田。在进行土地利用规划之前,需要进行土地资源评价来获得土地资源的数量、质量和分布等情况。

2.3 合理地分配土地资源开发的时间准则

环境经济学把资源的使用与商品经济联系起来,以指导人们如何合理地利用资源。它认为人们消耗自然资源时,会获得一定量的收益(benefit),但同时也带来一定量的代价或费用(cost)。随着资源消耗量的增加,边际(marginal)收益曲线在下降。人们可以根据边际收益曲线和边际费用曲线安排资源的利用,找到能产生最大纯收益的资源消耗量 q_t 。根据上面的原理,Tietenberg 给出了有效地使用资源的动态时间模型^[4]。他的模型试图平衡现代人和将来人的两种不同对资源使用的需要,以产生最大的收益。首先,他把牵涉时间因素的贴现率(discounting rate)放进了模型里。对于一定量的不可再生资源,问题是如何在时间上安排它的使用,以获得最大的收益。在 n 年里最有效地分配 Q 总量的资源应该满足如下的最大值条件^[4]:

$$\max_{q_t} \sum_{t=1}^n (aq_t - bq_t^2/2 - cq_t)/(1+r)^{t-1} \quad (1)$$

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这里 Q 是所提供的资源总量。 a 是边际收益

曲线的截距,即边际收益曲线的最大理论值。 b 是边际收益曲线的斜率,可选为 1。 c 为边际费用曲线的常数,其值比 a 小,可选 $c = a/2$ 。 r 是贴现率, t 是时间。 λ 为极值公式的常数,可从下面方程组解出。由如下方程组,可解出获得最大纯收益值的每年的资源分配量:

$$\begin{aligned} (a - bq_t - c)/(1+r)^{t-1} - \lambda &= 0 \\ t &= 1, \dots, n \\ Q - \sum_{t=1}^n q_t &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

解此方程组,可求出常数 λ 及理想资源分配量 q_t 。一般来讲,人们都乐意尽早地使用资源。但是,由简单的计算可知道,上述理想的分配资源方案要比过早地使用资源或平均分配资源的方案获得更大的总收益。Tietenberg 更指出,该模型的分配方案与可持续性是一致的,是对后代人很公平的。

可以将 Tietenberg 这种公平性引进我们的可持续土地发展的 GIS 模型中。因为将农业用地转化为城市用地是一个土地资源消耗的过程。给出一定量的土地资源,我们可以利用上面的模型来安排不同时期的土地使用量,以获得最大的收益。为了获得最大的纯收益值,每年的土地资源的消耗量 q_t 必需满足下面的方程:

$$\begin{aligned} (a' - b'q_t/P_{1a} - c')/(1+r)^{t-1} - \lambda' &= 0 \\ t &= 1, \dots, n \\ Q - \sum_{t=1}^n q_t &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

这里 Q 是所提供的资源总量, a, b, c, λ 为参数, P_{1a} 是 t 年新增加的人口, q_t 是所对应的用地量。当贴现率为 0 时,有:

$$q_1/P_{1a} = q_2/P_{2a} = q_3/P_{3a} = \dots = q_n/P_{na} \quad (4)$$

这表明当不考虑贴现率时,上述模型变为一般的平均分配方案。即每个时期的人均用地量保持不变。

上面的模型给出了如何有效地使用土地资源的理论依据。尽管在实际过程中,土地资源的利用所牵涉的因素往往是十分复杂。但上面的模型仍能给我们有用的启示,可以协助我们寻找有效地利用土地资源的途径,防治过量地消耗土地资源的现象发生,对土地利用规划有一定的指导意义。

2.4 合理地安排土地资源开发的空间准则——GIS 的空间分析模型

利用 GIS 的空间分析功能,可以帮助在空间上

能最大效益地利用土地资源。有如下准则可以用来指导我们的进行可持续发展的土地发展的辅助规划：

- (1) 在满足城市发展的同时，能兼顾到保护优质的农业用地；
- (2) 城市发展用地的选择要有合理性，要先开发最具有发展适宜性的土地；
- (3) 要妥善地解决各种不同用地类型之间的矛盾；
- (4) 土地开发要有规划，要防止出现零乱的空间布局。

上面的最大空间效益准则就是为了要节省土地资源。首先通过土地资源的评价来获得研究地区的农业适宜性以及城市发展适宜性的空间分布情况。土地适宜性的计算考虑了土壤、地形、交通和土地利用等要素(图1)。

如果不考虑其它制约因素，土地利用方式应该与土地适宜性是一致的。在土地规划中，最常碰到的难题就是如何解决城市用地与农业用地的冲突。适合于城市开发的土地往往也是最适合于农业生产。根据土地的适宜性，我们可以利用GIS来合理地解决城市发展与农田保护的矛盾。在如何解决多目标的问题时，Eastment等^[5]提出了一种线性分割的方法。线性方程的形式为：

$$y = a + bx \tag{5}$$

为了防止出现空间布局零乱的现象，我们在GIS模型中增加了使土地利用趋向于紧凑的动态模块。通过利用邻近函数来反映土地利用在空间上的相互影响。这是因为某地块的土地利用适宜性除了受本身的条件影响外，还受到周围的土地利用的影响。

假设适宜性为 $S_n(W_i)$ 。由于邻近函数 $Q_n(W_i)$ 的影响，在GIS每次迭代运算中，将要重新计算 $S_n(W_i)$ 值。其迭代公式如下：

$$S_n^{k+1}(W_i) = S_n^k(W_i) \times Q_n(W_i) \tag{6}$$

这里 $S_n(W_i)$ 是在位置 n 处对于土地利用类型 W_i 的适宜性， $Q_n(W_i)$ 是邻近函数， k 是迭代次数。 $Q_n(W_i)$ 是通过移动窗口来计算。利用遥感图像来获得窗口中各类地物的分布。首先计算土地利用类型 W_j 在窗口中的百分比：

$$P_m(W_j) = A_m(W_j)/A_m \quad m \in \Omega \tag{7}$$

这里 $A_m(W_j)$ 是土地利用 W_j 在窗口 m 中所占的面积， A_m 是窗口总面积， Ω 是 $k \times k$ 窗口。

适宜性的调整是根据百分比 A_m 以及兼容性系数 $p_{nm}(W_i|W_j)$ 来进行的。适宜性的调整公式如下：

$$Q_n(W_i) = \frac{A_m(W_i)}{A_m} \sum_j p_{nm}(W_i|W_j) \frac{A_m(W_j)}{A_m} \tag{8}$$

其中 $p_{nm}(W_i|W_j)$ 的总和为 1：

$$\sum_j p_{nm}(W_i|W_j) = 1 \tag{9}$$

3 应用

本研究选用珠江三角洲近年发展最快的东莞市作为例子。由于城市急速发展的需要，该地区大量宝贵的农田近年来被推平用于进行城市开发。利用TM遥感图像可以快速有效地获得土地利用及变化的信息^[6]。有必要进一步对这种土地开发进行评价，以及为将来的土地利用提供可持续发展的辅助规划方案。我们提出了利用遥感和GIS进行评价和辅助规划的模型，就是要在时间以及空间上合理地安排土地的开发。使用的软件是工作站版本的 Erdas Imagine 和 ARC/INFO。该模型是利用 ARC/INFO Grid 中的 AML 语言写成，建立在 Unix 工作站平台上。

利用修改后的 Tietenberg 模型动态地分配土地的使用量，以产生最大的效益。利用遥感图像，通过对比计算出来的理论值和实际土地使用量，可以评价 1988—1993 年的土地开发是否合理。对于将来的用地需要，该模型提供了基于公平性原则的辅助规划方案，可以为有关规划与管理部门提供有用的参考依据。

表 1 是由上述模型计算出来对应于不同的贴现率的用地量。可以清楚地看到，贴现率越高，土地资源就越容易被过早地消耗掉。当贴现率为 0.2 时，东莞市的农田就会在 2019 年前全部被消耗掉。

表 1 不同贴现率(r)所对应的不同时期的土地消耗量

Table 1 Optimal Allocation of Land Consumption with Various Discounting Rates (r) in Dongguan for Different Time Periods

年份	土地消耗量/hm ²		
	$r=0.0$	$r=0.1$	$r=0.2$
1988—1993	3741.0	6527.1	8400.2
1994—1998	4100.0	6535.7	8381.5
1999—2003	4493.4	6418.2	8101.2
2004—2008	4924.5	6136.4	7452.1
2009—2013	5397.0	5643.0	6291.2
2014—2018	5914.8	4879.9	3531.2
2019—2023	6482.4	3775.4	0.0
2024—2028	7104.4	2241.7	0.0
总计	42157.4	42157.4	42157.4

给出一定的用地量后，下一步就是如何在空间

上安排土地开发,以达到最大的效益。在进行选址之前,先进行土地资源评价,产生农业适宜性图和城市发展适宜性图。

我们的模型提供了如下的几种不同的用地方案。首先计算出不同方案的用地量,然后通过 GIS 模型合理地空间上安排土地开发,即进行用地选址。

1) 1988—1993 年(历史)

(a) 用地量与实际情况一样,即等于 1988—1993 年的城市新增加的面积(21285.7 hm^2);

(b) 当贴现率 $r=0$ 时,用地量为 3741.0 hm^2 ;

(c) 当贴现率 $r=0.1$ 时,用地量为 6527.1 hm^2 。

2) 1994—2005 (规划期)

(a) 当贴现率 $r=0$ 时,用地量为 10563.1 hm^2

(b) 当贴现率 $r=0.1$ 时,用地量为 15408.4 hm^2

边际收益曲线的截距 a (即边际收益曲线的最大理论值)是一个相对值,这里假设为 1000 个单位。边际收益曲线的斜率 b 选为 1,边际费用曲线的常数 c 选为 $c=a/2=500$ 个单位。上面的选址运算是通过在 ARC/INFO GRID 里面编制 AML 程序来实现。把可持续发展的准则引进模型里获得最佳的土地开发模式,从而来评价东莞市的土地利用现状,以及为将来提供合理的规划方案。

对比 GIS 模型运算结果和遥感监测结果可以清楚地发现,东莞市这几年来土地开发量远远超出了合理量。当贴现率为 0 时,计算出的土地开发量应该为 3741.0 hm^2 ;当贴现率为 0.1 时,计算出的土地开发量应该为 6527.1 hm^2 。东莞市 1988—1993 年的实际土地开发量为 21285.4 hm^2 ,大大超过了这两个数值,分别为它们的 3—5 倍。

即使使用实际的土地开发量(21285.4 hm^2),如果采用 GIS 模型所提供的土地开发布局,可以更有效利用土地资源。我们发现,实际的土地开发布局缺乏规划,布局十分零乱。图版 I 图 2 分别是东莞市在 1988—1993 年的实际土地开发布局和由 GIS 模型获得的最优布局。通过对比实际的布局 and 合理的布局,可以帮助发现这些土地利用的问题。最后,我们利用紧凑性指数 CI (compactness index) 和适宜性损失指数 S_{loss} 来验证所提供的方案的合理性。

紧凑性指数 CI 的计算如下^[7]:

$$CI = \text{面积} / \text{周长}$$

在 ARC/INFO 的 GRID 中可以方便地计算出 CI 。 CI 值越大,土地开发越紧凑。适宜性损失指数

S_{loss} 的计算公式如下:

$$S_{loss} = \sum_i \sum_j S(i, j) \quad (3.1)$$

同样利用 ARC/INFO 的 GRID 来计算出 S_{loss} 值。 S_{loss} 值越大,有价值的农田的流失量越多。

可以看到,实际的土地开发的布局紧凑程度很低,远远小于理论方案的 CI 值。其适宜性损失值也比后者大。另外,可发现高达 80.1% 的土地开发分布在不应该在的位置上。

利用上述模型,可以合理地将来的土地开发进行规划。图版 I 图 3 分别是贴现率为 0.1 情况下对 1994—2000 年的土地开发进行规划的结果。可以看到,模型的结果可以控制过量和不合理的土地开发。该评价和辅助规划模型可以作为规划工作者和政府管理人员的有用工具,以有效地利用和节省土地资源。

4 结论与讨论

通过上述的遥感和 GIS 模型分析可以看到,近年来东莞地区的土地开发无论从数量及布局上都存在很大的问题。大量的农田被推平作为城市开发用地,超出了可以接受的数量。土地开发的选址也不合理,不必要地浪费了珍贵的土地资源。利用上述所提供的遥感和 GIS 模型,可以大大地减少现有土地开发所存在的盲目性。模型能合理地在时间以及空间上安排土地资源的开发,尽量减少浪费土地资源现象的出现。尽管上述模型可能会对一些因素的处理过于简单化,但其计算结果揭示了在土地开发中的一些潜在规律。分析结果表明,本文所提出的由遥感和 GIS 结合的土地开发模型可以灵活地被用来制定、评价以及选择用地规划方案,为政府部门提供了一种十分有效的辅助规划工具。

需要指出的是,可持续发展模型应该是涉及许多因素在内的十分复杂的系统。由于这些因素很多都带有不确定性,要准确地模拟整个系统是十分困难和不现实的。这种不确定性也往往是规划过程中所不可避免的。本研究的目的是提供一种可以被具体操作的模型。借助遥感和 GIS 技术来探讨土地利用的开发、评价和辅助规划。通过简化和综合,如在模型中采用贴现率的方法,以获得可以具体操作的模型。

参 考 文 献 (References)

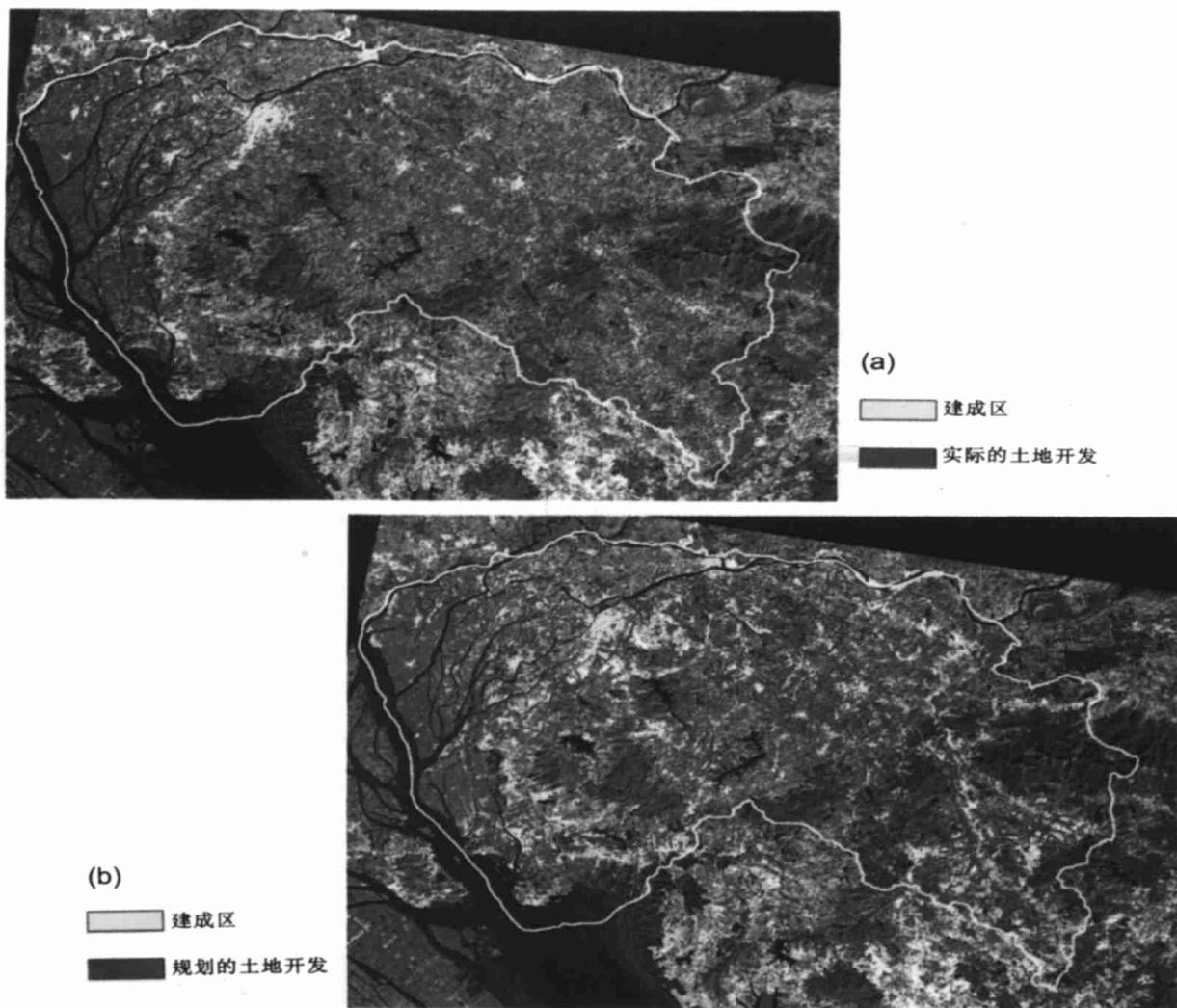


图 2 1988—1993 年实际(a)与理论(b)的土地开发分布的对比

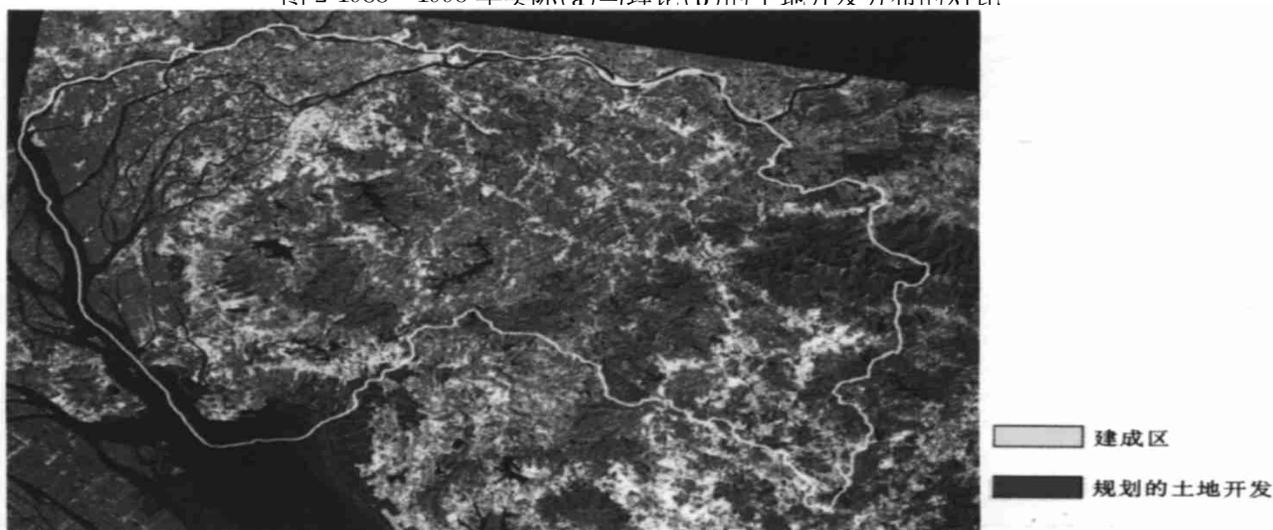


图 3 可持续土地发展 GIS 模型获得的 1994—2005 年的土地开发的理论分布 (贴现率=0.1)

- ture, Oxford: Oxford University Press, 1987.
- 2 Xu, X. Q. Urban development issues in the Pearl River Delta. In: R. Y. W. Kwok, W. Parish, A. G. O. Yeh, X. Q. Xu. Chinese urban reform: what model now? London: M. E. Sharpe, 1990, 183-196.
 - 3 Yeh, A. G. O., Li, X. An integrated remote sensing and GIS approach in the monitoring and evaluation of rapid urban growth for sustainable development in the Pearl Rive Delta, China. *International Planning Studies*, 1997, 2(2): 193-210.
 - 4 Tietenberg, T. Environmental and Natural Resource Economics. New York: Harper Collins, 1992.
 - 5 Eastman, J. R., Kyem, P. A. K., Toledano, J., Jin, W. GIS and Decision Making. Worcester, M. A.: Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, 1993.
 - 6 Li, X, Yeh, A. G. O. Accuracy Improvement of Land Use Change

- Detection Using principal Components Analysis-A Case Study in the Pearl River Delta. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(4), 282-289. (In Chinese) [黎夏, 叶嘉安. 利用主成分分析来改善土地利用变化的遥感监测精度, 遥感学报, 1997, 1(4): 282-289页.]
- 7 Ebdon, D. *Statistics in Geography*. Oxford: Basil Blackwell, 1985.

作者简介

黎夏,男,研究员,1962年6月生。1986年硕士毕业于北京大学遥感应用研究所,1996博士毕业于香港大学城市规划与环境管理中心,1997-1998年在该中心进行博士后研究。在国际国内有影响的遥感与GIS刊物上发表学术论文40多篇。

A Planning Support Model for Sustainable Land Development Using Remote Sensing and GIS: A Case Study in the Pearl River Delta

LI Xia

(Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070)

Anthony Gar-on YEH

(Center of Urban Planning and Environmental Management, University of Hong Kong, Hong Kong)

Abstract A sustainable land development model is developed using GIS in an attempt to control urban sprawl under rapid rural urbanization in China. The recent land development in the Pearl River Delta is out of control, resulting in excessive encroachment on the best agricultural land in many rural areas as well as the urban fringe areas. Government interventions are needed to control such development because agricultural land use can not compete with urban land use. The objective of the model is to ensure that equity between generations and efficiency in land use can be achieved in land development so that development can be sustained in the future. The model is also used to study the impacts of agricultural land loss in Dongguan in 1988-1993 by comparing the actual development with optimal development derived from the sustainable land development model. Land use problems are identified in both spatial and time dimensions as some land conversions are found to occur at the 'wrong' time and locations. Future land development which can meet the objective of sustainable development is proposed using the model. By testing different development scenarios and land consumption parameters, planners and government officials can use the model as a decision support system for sustainable land development in China as well as other areas in the world which are under the pressure of rapid urban growth.

Key words Sustainable land development, Remote sensing, GIS, Planning model, Pearl River Delta