

珠三角典型县域土地覆盖格局动态分析

——以广东省佛山市顺德区为例

冯荣光, 林媚珍, 纪少婷, 葛志鹏

(广州大学 地理科学学院, 广州 510006)

摘要:顺德区位于珠江三角洲核心地区, 正经历着快速城市化的过程, 土地资源不断减少与经济快速增长之间的矛盾日益突出。以覆盖顺德区 1990 年、2000 年、2009 年 3 个时相的 TM 遥感影像为主要数据源, 综合利用遥感和 GIS 技术手段, 运用动态度模型量化研究 LUCC, 并借助景观格局指数反映顺德区 3 个时相土地覆盖格局的动态特征, 以期更好地对顺德区土地进行规划、实现区域土地资源有效的可持续利用提供理论依据。结果表明: 1990—2009 年顺德区土地利用变化显著, 且以基塘用地大面积减少和建设用地显著增加为主要特点; 土地覆盖情况呈现人工景观替代自然半自然景观过程; 景观指数分析表明, 林地、耕地、基塘用地等均表现为破碎化, 顺德区土地覆盖向破碎化方向发展; 2000—2009 年土地覆盖景观格局的变化趋于缓和, 顺德区的城市化发展进入一个较为理性的阶段。

关键词:土地覆盖; 景观指数; 顺德区

中图分类号: P901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0054-05

Land Cover Patterns in Typical County of the Pearl River Delta

—A Case Study of Shunde District in Foshan City, Guandong Province

FENG Rong-guang, LIN Mei-zhen, JI Shao-ting, GE Zhi-peng

(School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Shunde district is located in the core area of Pearl River Delta, which is experiencing the process of rapid urbanization, and the contradiction between diminishing land resources and rapid economic growth has become increasingly serious. Taking the TM remote sensing images of Shunde district in 1990, 2000 and 2009 as the main data sources, and using the remote sensing and GIS as technology methods, this paper investigated the LUCC with the dynamic degree model quantitatively and characterized the land cover of these three periods with landscape index, which aimed to provide the basis for the better land planning of Shunde district and realize the sustainable utilization of regional land resources effectively. The results showed that the land use of study area changed significantly with the main characteristics on area of dike-pond land decreasing and construction land increasing from 1990 to 2009. There had been a process that the natural and semi-natural landscape were replaced by artificial one. The analysis of landscape index presented evidence of fragmentation development in Shunde district, while forest land, cultivated land and dike-pond land were characterized by fragmentation. From 2000 to 2009, there was a slow change of land cover landscape pattern and the civilization of Shunde district entered a rational stage.

Key words: land cover; landscape index; Shunde district

LUCC(土地利用/覆盖变化)是全球变化研究的核心主题之一^[1]。目前,在遥感技术与 GIS 技术的支持下,运用模型定量描述 LUCC 过程的数量、结构和景观特性动态变化成为主流^[2-4]。随着世界经济和科技高速发展,城市化进程不断加快,加速了城市区域土地利用/覆盖变化,改变了城市生态环境状况,使

城市土地覆盖变化及其生态环境影响日益受到重视^[5-6]。其中,景观指数作为量化景观空间特征的主要方法之一,在城市生态景观的空间分析中被广泛地应用,研究内容随之发展而丰富^[7-9],并成为量化研究城市土地覆盖格局的主要手段^[10-11]。

顺德区位于珠江三角洲核心地区,正经历着快速

收稿日期: 2014-03-17

修回日期: 2014-07-16

资助项目: 国家自然科学基金“广东森林资源动态格局及其驱动机制的研究”(40771002); 广州市教育局科技项目(2012A007)

作者简介: 冯荣光(1989—), 男, 广东云浮人, 在读硕士, 主要从事资源开发利用及环境生态研究。E-mail: gzdxfrg@163.com

通信作者: 林媚珍(1963—), 女, 广东梅州人, 教授, 主要从事资源开发利用及环境生态等方面的教学和研究工作。E-mail: lmzh888@163.com

城市化的过程。特别是近 20 年来,土地资源不断减少与经济快速增长之间的矛盾日益突出。本文基于三期 TM 数据解译生成土地覆盖类型图,分析顺德区土地利用的数量变化、转移结构及变化速率,从数量、结构、过程和程度方面研究顺德区地表覆盖空间格局与变化特征。在此基础上,针对性地从斑块类型水平和景观水平选取景观指数,对佛山市顺德区土地覆盖景观格局特征进行定量研究分析,以期更好地对顺德区土地进行规划,实现区域土地资源有效的可持续利用提供理论依据。

1 数据来源和研究方法

1.1 研究区概况

顺德区地处珠江三角洲腹地,行政上隶属于佛山市,常住人口 246 万人。土地总面积约为 806 km²,区域绝大部分是由江河冲积而成的河口三角洲平原。地势西北略高,东南稍低,境内分布着一些零散的小山丘。顺德区的气候类型属亚热带季风气候,常年温暖湿润,雨量充沛。种养结合、具有多种生态经济功能的基塘地是顺德区重要的土地覆盖类型,它不仅是珠江三角洲特有的一种土地利用类型,也是国际上公认的典型生态农业用地类型。目前顺德区已成为珠三角经济最发达的地区之一,土地覆盖格局变化剧烈,因此对该区土地覆盖进行景观格局变化的研究有着十分重要的意义。

1.2 研究数据

以研究区 1990 年、2000 年和 2009 年的 Landsat TM 影像(像元大小 30 m×30 m,轨道号为 12244)为基础,辅助资料为 1:10 000 的中国矢量图,佛山市土地利用图。3 期影像数据先在 ENVI 5.0 软件下进行大气纠正和几何精纠正,把误差控制在 0.5 个像元之内,以确保同一地物的相对应,提高解译精度。使用 ArcGIS 软件从中国矢量图上裁减出顺德区的矢量图层并采用 UTM 投影 WGS84 坐标系统对其投影。用顺德区的矢量图层在 ENVI 5.0 下从 3 期遥感影像中裁减出顺德区 3 个时期的遥感影像。参考 2007 年的《土地利用现状分类》国家标准(GB/T21010—2007)并结合顺德区土地利用的特点,对遥感影像进行目视解译和监督分类,将顺德区分为林地、耕地、水域、基塘、建设用地 5 大类。通过野外调查采样点的方法,对解译后的遥感影像进行精度检验,Kappa 指数达到 0.80,其分类结果符合精度要求。

1.3 研究方法

运用数学统计分析与定量分析相结合的方法,采用土地利用动态度模型、单一土地类型动态度、转移

矩阵法、综合土地利用动态度、土地利用程度综合指数定量分析顺德区土地利用时空动态变化;从斑块类型水平和景观水平选取能表征土地覆盖形状、面积、密度、破碎度、复杂度等特征的景观指数,对顺德区土地覆盖格局动态变化进行分析。

1.3.1 单一的土地利用动态度 土地利用的动态度可用来定量分析区域土地利用变化的速度,以及比较分析土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势。单一土地利用动态度可分析某一时间段内研究区的某种土地利用类型的数量变化^[12]:

$$K = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K ——研究时段内某一土地利用类型动态度; A_a ——研究初期某一种土地利用类型的数量; A_b ——研究期末某一种土地利用类型的数量; T ——研究时段长,当 T 以年为单位时段长时, K 值就是该区某地类的年变化率。

1.3.2 综合土地利用动态度 综合动态度模型同时识别和考虑了转移和新增这一相向变化过程,可定量地揭示该区域土地利用的综合水平^[13]。综合土地利用动态度同时考虑了第 i 类土地利用类型转变为其它非 i 类土地利用类型的数量及空间属性,可以测算和比较区域土地利用变化的总体或综合活跃程度^[10]。

某区域的综合土地利用动态度模型^[13],表达式为:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \{LA_{(i,t_1)} - ULA_i\}}{\sum_{i=1}^n LA_{(i,t_1)}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ULA_i ——研究初期 t_1 到末期 t_2 时段内某土地利用类型未变化部分; $LA_{(i,t_1)}$, $LA_{(i,t_2)}$ ——该土地利用类型在研究初期、期末的面积,则 $LA_{(i,t_1)} - ULA_i$ 为转移部分面积。

1.3.3 马尔可夫模型 马尔可夫模型能很好地揭示各种土地利用之间的相互转化关系^[14]。因此,利用马尔可夫模型构建顺德区 1990—2009 年土地利用类型转移概率矩阵,建立该时段土地利用整体结构的动态联系。马尔可夫模型可表示为:

$$N_{t+\Delta t} = PN_t \quad (3)$$

式中: N_t , $N_{t+\Delta t}$ ——由 m 个状态变量组成的状态向量在 t 和 $t+\Delta t$ 时刻的值; P ——由 $i \times j$ 个单元组成的转移概率矩阵,公式为

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: p_{ij} ——从 t 到 $t+\Delta t$ 时,土地利用类型 j 转变

为土地利用类型 i 的概率, $0 \leq p_{ij} \leq 1$, 且 $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ ($i = 1, 2, \dots, m$)。

2 土地利用时空动态特征分析

2.1 土地利用的数量变化

通过单一的土地利用动态公式(1)计算, 算出 1990—2009 年顺德区土地利用年变化, 如表 1 所示。分析表 1 数据可知: 林地面积在 1990—2009 年期间呈线性下降趋势, 其中 1990—2000 年间下降幅度较大, 2000—2009 年间下降幅度减小; 耕地面积在 1990—2000 年间减少, 减少幅度不大, 2000—2009 年耕地面积增加迅速, 耕地面积由 73.78 km² 增加到 110.03 km²; 水域面积变化幅度不大, 1990—2000 年

间水域面积先出现小幅减少, 2000 年后小幅增加; 基塘地面积一直呈现减少趋势, 减少趋势逐年递增, 1990—2000 年基塘面积的年变化率为 -0.37%, 2000—2009 年减少速度加快, 年变化率为 -3.43%; 建设用地变化激烈, 1990—2009 年建设用地面积从 162.36 km² 增加到 321.79 km², 年变化率为 5.17%。

总体来看, 19 年间顺德区土地利用类型变化最大的是建设用地, 其次是林地, 基塘和耕地的变化率相当, 变化最小的是水域。土地利用过程总体呈现人工景观替代自然半自然景观过程, 具体表现为林地和基塘等自然半自然景观减少, 建设用地人工景观增加。顺德区建设用地的急剧扩展是城市化过程中欠缺合理规划的表现。

表 1 1990—2009 年顺德区土地利用年变化

| 土地利用类型 | 面积/km ² | | | 土地利用年变化率/% | | |
|--------|--------------------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|
| | 1990 年 | 2000 年 | 2009 年 | 1990—2000 年 | 2000—2009 年 | 1990—2009 年 |
| 林地 | 40.57 | 14.36 | 8.06 | -6.46 | -4.87 | -4.22 |
| 耕地 | 84.01 | 73.78 | 110.03 | -1.22 | 5.46 | 1.63 |
| 水域 | 58.09 | 55.58 | 59.34 | -0.43 | 0.75 | 0.11 |
| 基塘 | 460.70 | 443.46 | 306.51 | -0.37 | -3.43 | -1.76 |
| 建设用地 | 162.36 | 218.55 | 321.79 | 3.46 | 5.25 | 5.17 |
| 总面积 | 805.73 | 805.73 | 805.73 | | — | |

2.2 土地利用的强度变化

某种土地利用类型在一定时期内的变化包含 3 种空间类型: 转出部分、增加部分、变化部分^[10]。一个特定区域内土地利用强度的变化是多种土地利用类型变化的结果, 对土地利用变化的进行空间量化分析, 可以更深入和准确地了解研究区域土地利用结构的动态演变过程^[15]。采用式(2)计算土地利用的综合动态度的整体转移速度和转移速率, 并利用式(3), (4) 构建土地利用类型的转移概率矩阵(表 2)。

由表 2 分析得知, 林地的转移速率最大, 转出的面积比例达 85.99%, 其中 37.95% 转为耕地,

35.35% 转为建设用地, 转为其他地类的较少。耕地的转移速率仅次于林地, 结合前面分析可知, 耕地变化的动态度较大, 1990—2009 年, 耕地面积有增加趋势, 这主要是由于林地、水域、基塘、建设用地等地类都有相当比例转为耕地。水域总体变化最小, 有 8.73% 转为基塘是由于部分地区围堤造塘。基塘用地面积一直呈现减少趋势, 其中有 33.31% 转为建设用地的面积达 153.51 km², 这反映了大量的填塘造地是城市的扩展对基塘地的侵占。建设用地增加迅速, 转移速率为 2.41%, 其增加部分主要由基塘、耕地、林地转移而来, 建设用地的变化速率反映城市化进程。

表 2 1990—2009 年顺德区土地利用转移面积比例及动态变化率

| 土地利用类型 | 1990 年面积/hm ² | | | | | 1990—2009 年动态变化率 | | |
|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|---|------------|
| | 林地 | 耕地 | 水域 | 基塘 | 建设用地 | 变化面积/ km ² | 转移速度/ (km ² · a ⁻¹) | 转移速率/ % |
| 林地 | 14.01 | 0.37 | 0.00 | 0.12 | 0.93 | 34.89 | 1.84 | 4.53 |
| 耕地 | 37.95 | 28.92 | 2.43 | 11.05 | 11.05 | 59.71 | 3.14 | 3.74 |
| 2009 年 水域 | 0.54 | 0.62 | 86.78 | 1.19 | 1.52 | 7.68 | 0.40 | 0.70 |
| 基塘 | 12.12 | 28.03 | 8.73 | 54.25 | 14.04 | 210.71 | 11.09 | 2.41 |
| 建设用地 | 35.35 | 42.02 | 1.60 | 33.31 | 72.41 | 44.80 | 2.36 | 1.45 |

总之, 从土地利用变化速率大小来看, 依次为: 林地 > 耕地 > 基塘 > 建设用地 > 水体; 从变化面积占全区土地利用变化面积的比例来看, 依次为: 基塘 > 耕

地 > 建设用地 > 林地 > 水体。顺德区位于珠三角的中心腹地, 地理位置得天独厚, 在近 19 年间城市发展迅速, 土地利用类型变化方向是由自然半自然景观向

人工景观转变。

3 土地覆盖格局动态分析

土地覆盖是土地利用的结果,土地利用类型决定土地覆盖状况^[16]。根据顺德区的土地利用类型,研究其土地覆盖景观格局特征。斑块类型水平上选取:斑块形状指数(LSI),斑块密度指数(PD),面积加权分维数指数(FRAC-AM),凝聚度指数(COHESSION),聚集度指数(CLUMPY)和分离度指数(DI-VISION)。景观水平上选取:斑块密度指数(PD),面

积加权形状指数(SHAPE-AM),蔓延度指数(CON-TAG),分离度指数(DEVISION),凝聚度指数(CO-HESION),辛普森均衡性指数(SIEI),辛普森多样性指数(SIDI)。

3.1 土地覆盖类型特征分析

土地覆盖类型斑块是土地覆盖格局的组成单元,研究土地覆盖类型的空间格局特征,是以类型为尺度,探讨各覆盖类型的基本特征。根据顺德区的土地覆盖类型,从斑块密度、形状、斑块集聚状况等方面分析各类型斑块的景观格局特征,如图 1 所示。

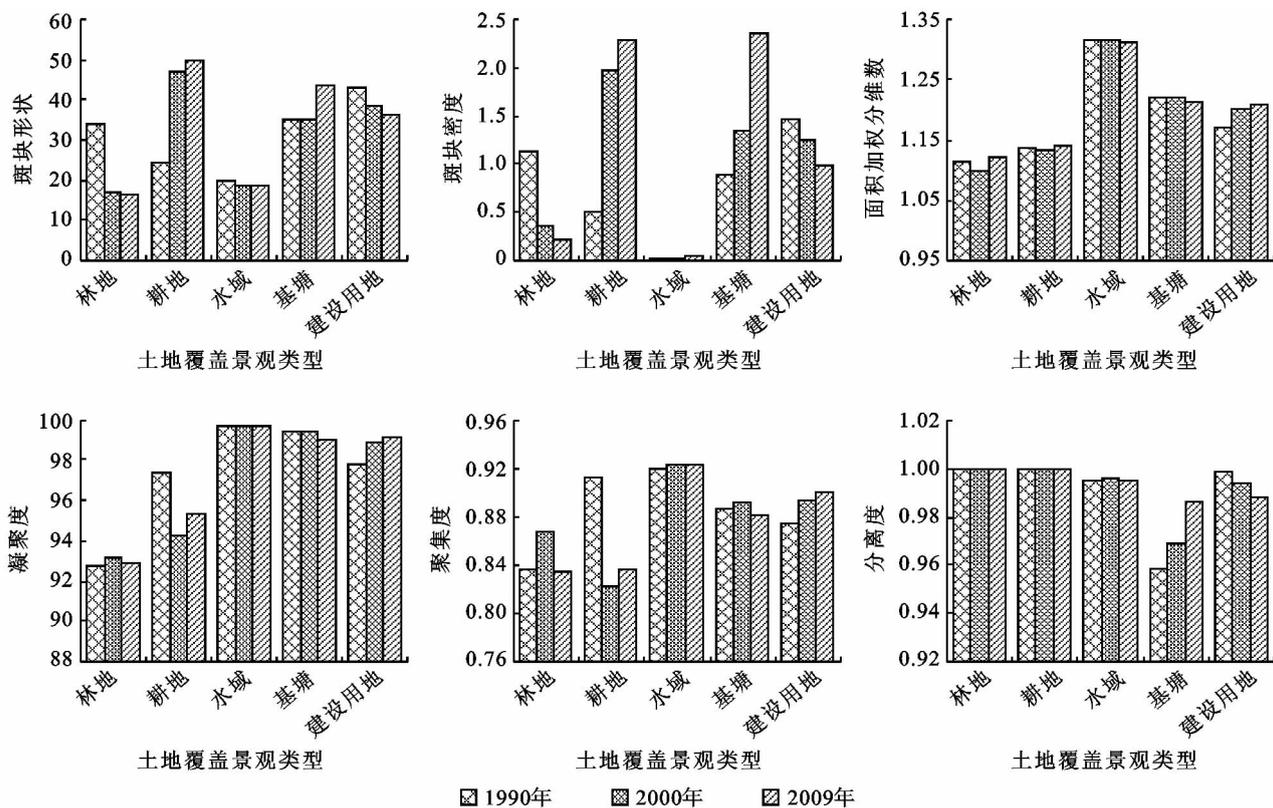


图 1 类型水平上的景观指数

研究期内,林地斑块形状指数和密度指数都呈下降趋势,形状指数从 33.708 2 下降到 16.268 4,而密度指数从 1.13 下降到 0.22,表明林地面积减少,复杂性下降。从面积加权分维数来看,林地三年份的面积分维数分别为 1.112 5,1.099 1,1.1 223,与其他地类相比,林地面积加权分维数均低于其他景观类型,这表明林地斑块形状并不复杂。林地凝聚度和聚集度指数的拐点都出现在 2000 年,1990—2009 年间林地聚集度指数先增加后减少,表明城市化发展及人为因素对其影响很大。19 年间林地分离度都很高,接近于 1,分离度越高说明林地对顺德区生态系统影响越大,保护林地具有必要性。

在 1990 年之后,耕地斑块形状指数和斑块密度指数随着城市化的迅速发展而急剧增加,分别从

24.331 7 增加到 50.064 3、从 0.5 增加到 2.28。这反映了耕地景观的复杂程度和破碎程度加剧。从集聚度指数和凝聚度指数也可以看出,耕地破碎程度加大,2000 年之后趋于缓和。

水域景观的面积分维指数是所有景观类型中最高的(最高值为 1.315 7),这反映水域景观受人为因素影响最小,由于顺德区河网密布,因此水域景观的凝聚度指数和聚集度指数都较高(最高值分别为 99.666 4,0.923 4),这表明水域景观连接度高,连通性好。

基塘景观的斑块密度指数一直呈现快速增长的趋势,在 2009 年已是所有景观类型中最高的一类(最高值为 2.35),这表明基塘景观破碎化程度加快,城市化过程对其破坏严重。基塘景观在顺德区大面积

分布,凝聚度指数和聚集度指数较高也可以反映其分布情况。而其分离度指数逐年升高(三年份的数值分别为 0.958 5,0.968 6,0.986 7),也从不同方面反映出其破碎化程度加剧。

建设用地斑块形状(42.985 9,38.600 4,36.096 2)、斑块密度(1.47,1.24,0.99)、分离度(0.998 5,0.994 5,0.988 3),三个指数都呈现逐年下降,而面积加权分维数(1.170,5,1.202,1.207,3)、凝聚度(97.763 2,98.849 8,99.144 4)、聚集度(0.875 8,0.895,0.902 1),这三个指数则逐年升高,以上指数共同反映出顺德区建设用地面积增加,城市化水平加快^[17]。建设用地斑块密度(1.47,1.24,0.99),在研究期内越来越低,复杂性降低,分布趋于扩散化,表明建筑用地对其他用地的侵占越来越严重。

3.2 土地覆盖景观特征分析

土地覆盖景观破碎化、形状和散布情况的景观指

表 3 景观水平上的景观指数

| 年份 | 斑块密度 | 面积加权形状指数 | 蔓延度 | 凝聚度 | 分离度 | 辛普森多样性指数 | 辛普森均衡性指数 |
|------|--------|----------|---------|---------|--------|----------|----------|
| 1990 | 4.0071 | 7.0015 | 52.4900 | 99.1010 | 0.9518 | 0.6138 | 0.7673 |
| 2000 | 4.9496 | 7.1296 | 54.3565 | 99.1073 | 0.9585 | 0.6100 | 0.7626 |
| 2009 | 5.8779 | 6.8509 | 50.7366 | 98.9520 | 0.9697 | 0.6716 | 0.8395 |

以上选取的景观指数从多个方面定量地描述了顺德区土地覆盖景观在 1990—2009 年这 19 年间的动态过程及差异,指数的动态特征显示顺德区在近 19 年时间内,土地覆盖景观格局的变化趋于缓和。这种趋势表明顺德区的城市化发展已经进入一个较为理性的阶段。

4 结论

本文以 1990—2009 年为研究时段,从土地利用的数量结构、空间信息及转移、景观指数等角度入手,分析了顺德区土地覆盖与景观格局时空特征,结果表明:

(1) 从土地利用的数量变化看,1990—2009 年的 19 年间,顺德区各种土地利用类型的变化都比较明显。其中,林地和基塘面积增加,耕地、水域、建设用地面积减少,年减少率最快为林地,年增加率最快为建设用地。各土地利用类型的明显变化,尤其是建设用地的急剧增加均反映出顺德区在研究期内经济的飞速发展,在经济高速发展的情况下做好用地规划显得十分有必要。

(2) 从土地利用的转移结构看,各地类之间均存在相互转变,林地转出比例最大,建设用地转入比例最大。变化速率依次为:林地>耕地>基塘>建设用地>水体;变化面积比例依次为:基塘>耕地>建设

数计算结果如表 3 所示。由表 3 分析得知,1990—2009 年间,顺德区斑块密度指数从 4.007 1 上升到 5.877 9,说明景观整体破碎化趋势。形状指数变化缓和,但 2000—2009 年有降低的趋势,形状指数越小表明斑块形状越简单,景观受人类影响增大,人类对其干扰强度加大。蔓延度指数指示景观的空间自相关性,1990—2000 年景观空间自相关性加强,2000 年后相关性减弱。凝聚度描述景观聚集度,由表 3 可以看出,顺德区土地覆盖景观指数接近于 100,说明集聚度较高。分离度描述斑块在空间上的分散程度,总体上景观斑块较为分散,且在 2000 年之后分散程度有进一步加强趋势。辛普森均衡性指数和辛普森多样性指数变化趋势吻合,2000—2009 年,二者都呈增加趋势(分别从 0.762 6 增加到 0.839 5 和从 0.61 增加到 0.671 6),这表明 2000 年之后景观结构的复杂性趋于增大。

用地>林地>水体。总体来看,顺德区土地覆盖动态是自然覆盖景观向人工覆盖景观转变。土地是生态系统的载体,土地覆盖的变化意味着土地生态系统发生变化。因此,为城市的环境提供生态系统服务功能的自然景观应该做出适当的保护。

(3) 从土地覆盖的景观格局变化看,耕地、基塘两类土地利用类型斑块破碎度增大,建设用地大面积扩展和调整,导致凝聚度和集聚度都增大。从整个景观格局层面上顺德区土地覆盖向破碎化方向发展。景观的破碎化在区域整体尺度上不利于生态系统效益的发挥,降低生态系统的调节功能,影响区域生态环境的平衡。

参考文献:

- [1] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报,2009,64(12):1411-1421.
- [2] 王思远,刘纪远,张增祥. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报,2001,56(6):631-639.
- [3] 余新晓,张晓明,牛丽丽,等. 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析[J]. 农业工程学报 2009,25(7):219-226.
- [4] 李欢,刘霞,姚孝友,等. 蒙阴县土地利用景观格局动态分析[J]. 水土保持研究,2011,18(5):43-47.
- [5] 龚建周,夏北成. 城市景观生态学与生态安全:以广州为例[M]. 北京:科学出版社,2007:119-139.

- [8] 张清春,刘宝元,翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究,2002,9(4):96-101.
- [9] Zhang B, Yang Y, Zepp H. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China [J]. *Catena*,2004,57(1):77-90.
- [10] Zhou Z C, Shangguan Z P, Zhao D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China [J]. *Ecological Modelling*,2006,198(1/2):263-268.
- [11] 王升,王全九,董文财,等. 黄土坡面不同植被覆盖度下产流产沙与养分流失规律[J]. 水土保持学报,2012,26(4):23-27.
- [12] Zhang X, Yu X, Wu S, et al. Effects of forest vegetation on runoff and sediment production on sloping lands of Loess area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2005,16(9):1613-1617.
- [13] Zheng H, Chen F, Ouyang Z, et al. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China [J]. *Journal of Hydrology*,2008,356(1/2):174-184.
- [14] 孙佳佳,于东升,史学正,等. 植被叶面积指数与覆盖度定量表征红壤区土壤侵蚀关系的对比研究[J]. 土壤学报,2010,47(6):1060-1066.
- [15] Panicker G K, Tiwari S C, Bunch J, et al. Research on biomass development and residue decomposition of horticultural crops for erosion prediction models: Philosophy and methodology of data collection [J]. *Acta Horticulturae*,2004,638:53-58.
- [16] 王希群,马雁一,贾忠奎,等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志,2005,24(5):537-541.
- [17] 顾祝军,刘咏梅,陆俊英. 用多辐射校正水平遥感数据提取植被叶面积指数的精度分析[J]. 土壤学报,2010,47(6):39-46.
- [18] Wang J Q, Lu Z H. Study on impact of land use changes on the hydrological system [J]. *Advance in Earth Sciences*,2003,18(2):292-298.
- [19] 李瑞,李勇,刘云芳. 贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):7-11.
- [20] 聂小军,苏艳艳. 川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀特征[J]. 生态环境学报,2012,21(4):682-686.
- [21] 鲁克新,李占斌,鞠花,等. 不同空间尺度次降雨径流侵蚀功率与降雨侵蚀力的对比研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(10):204-209.
- [22] de Vente J, Poesen J, Verstraeten G, et al. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain [J]. *Global and Planetary Change*,2008,60(3/4):393-415.
- [23] 冯永丽,李阳兵,程晓丽,等. 重庆市主城区不同地质条件下土壤侵蚀时空分异特征[J]. 水土保持学报,2011,25(5):30-34.
- [24] 焦菊英,王万中,郝小品. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(1):34-42.
- [25] 刘正佳,刘占仁,王丝丝,等. 基于日降雨的启蒙山区降雨侵蚀力时空变化研究[J]. 水土保持研究,2012,19(2):34-38.
- [26] Andreu V, Imeson A C, Rubio J L. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest [J]. *Catena*,2001,44(1):69-84.
- [27] 吴玫,何丙辉,王锐亮. 川北紫色土深丘区径流及土壤侵蚀研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):9-13.
- [28] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [J]. *Transactions, American Geophysical Union*,1958,39:285-291.

(上接第 58 页)

- [6] Jin S, Deng, Ke Wang, Yang Hong, et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*,2009,92(3):187-198.
- [7] 杭佳,石云,贺达汉,等. 黄土丘陵区土地利用变化动态与景观格局分析:以彭阳县为例 [J]. 水土保持研究,2013,20(6):203-209.
- [8] Willemen L, Veldkamp A, Verburg P H, et al. A multi-scale modelling approach for analysing landscape service dynamics [J]. *Journal of Environmental Management*,2012,100:86-95.
- [9] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级 [M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2007.
- [10] 陈颖彪,李雁,千庆兰,等. 基于 TM 数据的广州市番禺区土地覆被格局分析 [J]. 地理科学,2012,32(4):458-464.
- [11] 范庆亚,吴国平,马庆申,等. 基于 GIS 的临沂市土地利用景观格局梯度分析 [J]. 水土保持研究,2013,20(6):230-234.
- [12] 李晓文,方精云. 近 10 年来长江下游地区耕地动态变化特征 [J]. 自然资源学报,2003,18(5):562-567.
- [13] 刘盛和,何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型 [J]. 自然资源学报,2002,17(5):533-540.
- [14] 解修平,周杰. 土地利用变化预测研究:以西安地区为例 [J]. 干旱区研究,2008,25(1):125-131.
- [15] 黄云凤,崔胜辉,石龙宇. 半城市化地区生态系统服务对土地利用/覆被变化的响应:以厦门市集美区为例 [J]. 地理科学进展,2012,31(5):551-561.
- [16] 王莹,邢立新,潘军,等. 城市扩张对景观格局变化影响研究 [J]. 江西农业学报,2013,25(1):31-36.
- [17] 安静,刘红玉,郝敬锋,等. 快速城市化对南京东郊景观结构与格局的影响 [J]. 生态学杂志,2012,31(2):421-426.