

多时相图谱分析及土地利用变化的知识发现¹

李少英 黎夏 刘小平 陈逸敏 何晋强 吴秋生
(中山大学地理科学与规划学院, 广东广州, 510275)

摘要:

土地利用变化图谱的构建能够获取土地利用变化的种类、数量和空间分布特征, 从而能够对土地利用动态变化过程和空间分布特征进行定量化研究, 为探索土地利用变化的成因、过程提供重要的科学依据。本文根据东莞市 18 年(1988~2006 年)土地利用的遥感分类数据, 运用地学信息图谱结合多时相遥感数据复合分析方法, 构建了 5 个时序单元的(1988~1993、1993~1997、1997~2001、2001~2006、1988~2006 年)土地利用变化图谱, 并系统地分析了东莞市 18 年来土地利用的时空演变过程及空间分异规律。研究结果表明, 1988 年以来, 东莞市土地利用发生了巨大的变化, 其中以大量农田被侵占转化为城市用地最为显著; 从空间格局上看, 被侵占的农田主要集中分布于交通干线两旁。利用 GIS 空间分析技术对农田流失与道路之间的关系进行定量研究, 揭示了农田流失的主要驱动力和区位效应。

关键词: 土地利用变化, 多时相图谱, 农田流失, 城市扩张, 东莞

1 引言:

20 世纪 90 年代以来, 土地利用/土地覆被变化(LUCC)已成为全球环境变化研究的重要领域, 在全球环境变化和可持续发展中占有重要地位^[1~4]。改革开放以来, 东莞市土地利用发生了巨大变化, 大量的农田和果园被侵占转变为城市用地, 整个城市呈现较为分散、无序的状态。遥感具有快速和动态的优势, 已被广泛用来获取土地利用及变化信息, 因此, 利用遥感技术对东莞市土地利用进行动态监测势在必行。本研究根据 18 年(1988~2006 年)东莞市土地利用遥感数据, 运用陈述彭院士提出的地学信息图谱理论和方法^[4, 7, 9], 结合多时相遥感数据复合分析方法, 构建多个时序单元的东莞市土地利用变化图谱。并对 1988~2006 年东莞市土地利用变化过程和空间格局进行度量, 揭示了不同时期东莞市土地利用变化的空间分布规律和分布模式。利用 GIS 空间技术进一步探讨 18 年来东莞市土地利用变化的内部机制, 从而掌握和揭示土地利用动向和变化规律, 为东莞市制定合理的土地利用政策提供一定的决策支持。

地学信息图谱是以地球空间信息认知理论为基础, 以遥感、地理信息系统、网络通信、虚拟现实、计算机制图技术为支撑发展起来的一种时空复合分析方法论^[6, 7], 能够把“表示空间单元特征的图”与“表示时间发展之起点与过程的谱”合为一体, 弥补了基于非空间属性数据库的数据挖掘方法在形象思维和空间位置方面的不足^[4]。图是某一时刻凝结的谱, 谱是某一特征流动的图, 图和谱结合形成的图谱, 则是空间与时间动态变化的统一表达, 即在时间演化过程的系统中, 同时表达了地区差异, 是真正意义上的时空复合体^[5], 用“图谱单元”来记录这种时空复合信息, 每一图谱单元是由相对均质的“地理单元”和相对均质的“时序单元”构成的空间—属性—过程一体化数据。国内已有学者开始运用地学信息图谱对土地利用变化进行研究, 如叶庆华等运用地学信息图谱理论和方法对黄河三角洲土地利用“空间格局”和“变化过程”做了定量研究^[4, 5]。但这方面的研究十分有限, 一般只做 2~3 个时期的研究。

¹基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(40525002)

*通讯作者简介: 黎夏, 男, 教授, 从事遥感和地理信息系统研究, 已发表 GIS 和遥感论文 160 多篇。Email: lixia@mail.sysu.edu.cn

本文以东莞市18年（1988～2006年）5个时期（1988、1993、1997、2001、2006年）土地利用分类数据为基础，采用多时相遥感数据复合分析方法，合成5个时序单元的土地利用变化图谱，根据构建的土地利用变化图谱来定量分析各个时间段里土地利用变化的空间格局以及18年来东莞市土地利用的演变过程。此外，利用GIS技术对东莞市主要土地利用变化与空间变量的关系进行定量分析。以各个年份的道路数据为基础，建立缓冲区，定量分析主要土地利用变化与交通干线的关系，对比不同时间段里道路对土地利用变化的影响强度，从而揭示出主要土地利用变化的驱动力和区位效应。

2.多时相土地利用变化图谱合成方法

2.1 土地利用图谱数据来源

空间数据的提取是合成地学信息图谱的基础^[6]，即具有一定时间间隔的土地利用/土地覆被空间数据是合成土地利用变化图谱的基础^[9]。本文以2000年9月14日的Landsat TM影像图为基准，在遥感图像处理软件PCI Geomatica 9.0的支持下，运用GCPWorks图像纠正模块对1988、1993、1997、2001和2006年5幅TM影像图进行几何纠正，使纠正后误差控制在1个像元之内，满足了精度要求，并对图像进行了增强处理。采用基于对象的遥感影像分类软件eCognition对5期影像进行分类，按照表1的分类标准提取9种土地利用类型的信息。利用野外调查数据、东莞市2003年市域遥感土地利用调查数据以及东莞市快鸟影像作为辅助数据对分类结果进行修正和检验。

2.2 分类标准的确定

根据东莞市土地利用类型实际情况，确定统一的土地利用分类方案并将各土地利用类型进行编码，如表1所示（注：其他类型用0表示）：

表1 土地利用分类方案及其编码

Table 1 The Land Use Classification method and code

编码	1	2	3	4	5	6	7	8	9
土地利用类型	城市用地	开发用地	水体	农田	林地	果园	基塘	水库	人工草地

2.3 确定研究所需的地理单元

为了认识东莞市土地利用变化的空间差异性和时序差异性，我们分别划分出内部性质相对均一的空间单元以及内部事件相对均一的时间单元。地学信息图谱合成所需的地理单元一般是根据规则网格法，即采用具有一定分辨率的离散的规则网格作为基本地理单元^[4]。本研究中采用TM数据，统一生成28.5m的分类数据，以每个像元作为基本空间单元进行地图代数运算；研究的5个时序单元分别为1988～1993、1993～1997、1997～2001、2001～2006和1988～2006年。

2.4 土地利用变化图谱的合成方法

在 ArcMap 中, 运用地图代数运算方法, 对起始年份和终止年份分类影像进行运算合成的时空复合数据即为土地利用变化图谱。合成方法为: 以前一年份图像像元的分类编码值作为十位数, 以后一年份图像像元的分类编码值作为个位数, 生成了新的图谱单元, 每个图谱单元用属性值为两位编码的数字表示两个年份土地利用变化类型^[4], 每个图谱单元为空间—属性—过程一体化数据, 即为时空复合体^[2]。以 1988~1993 年为例, 地图代数运算公式为: $88to93.img=1988.img*10+1993.img$, 如编码为 41 代表该图谱单元在 1988~1993 期间由农田转变为城市用地。统计每种图谱单元类型的像元数占研究区域(东莞市)像元总数的百分比, 按照百分比大小进行降序排列得到土地利用图谱单元类型排序表, 由于篇幅有限, 文章只列出部分主要图谱单元(表 2), 计算前面各种图谱单元的累积比例, 选取累积比例达 80%~95% 的图谱单元作为主要土地利用图谱单元类型, 提取主要土地利用图谱单元类型信息, 剩下类型归为“其他”类, 从而合成各时序单元的土地利用变化图谱(图 2)。土地利用变化图谱包括图形图谱和数据图谱, 其中图形图谱直观地、形象地显示各个时期土地利用变化及其空间分布特征; 而数据图谱, 即土地利用图谱单元类型排序表, 涵盖了土地利用变化转移矩阵的大部分信息, 包括土地利用变化的种类和数量, 通过分析排序表, 可获取同一时期不同土地利用变化类型的强度大小以及不同时期同一土地利用变化类型强度的对比。因此, 土地利用变化图谱的合成能够对土地利用动态变化过程和空间分布特征进行定量化的综合研究。

3. 东莞市土地利用变化图谱分析

按照上述的地图代数运算方法将相邻两个年份数据两两合成(图1), 得到1988~1993、1993~1997、1997~2001、2001~2006年四个时序单元的土地利用变化图谱; 将1988年和2006年数据进行合成, 得到1988~2006年土地利用变化过程图谱, 从而可以分析18年土地利用总的变化过程。统计各图谱单元类型的像元数占东莞市总像元数的百分比, 按照百分比大小进行降序排列得到各时间序列土地利用主要图谱单元排序表, 该表涵盖了各时期土地利用变化转移矩阵的主要信息。

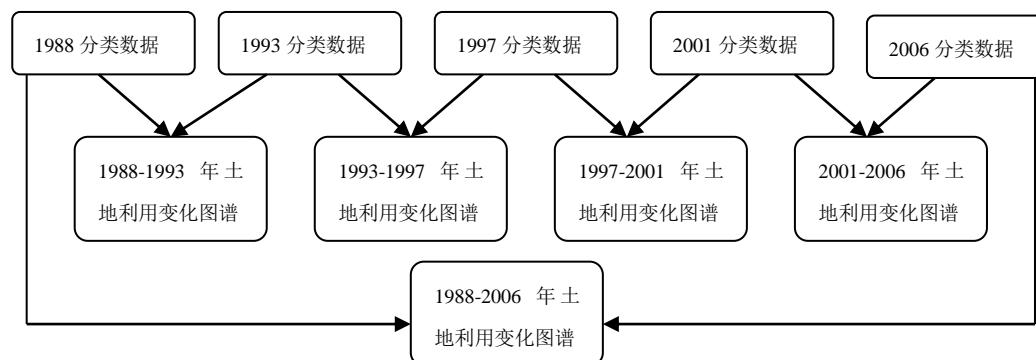


图1 土地利用变化的多时相图谱复合合成

Fig.1 Multi-temporal Land Use TUPU compound synthesis

图2显示, 18年来东莞市土地利用发生了巨大的变化, 土地利用变化类型较为繁杂, 呈现较为分散、无序的状态。1988~1993年期间东莞市发生的主要变化是城市急剧扩张(图2(a)), 农田严重流失, 由农田转变为开发用地和由农田转变为城市用地的土地面积分别占全市面积的6.22% 和4.37% (表2), 主要集中分布于道路两旁。农田转变为果园以及农田转变为基塘也

占据较大的比例，分别为4.24%和3.24%。农田转变为果园主要集中在较低的山坡，主要是坡耕地，其现实原因主要是80年代末90年代初东莞市水果市场需求大，经济效益好，几年内市场促使东莞市农业内部结构发生调整，大面积的坡耕地被改种水果，耕地面积大幅度下降。

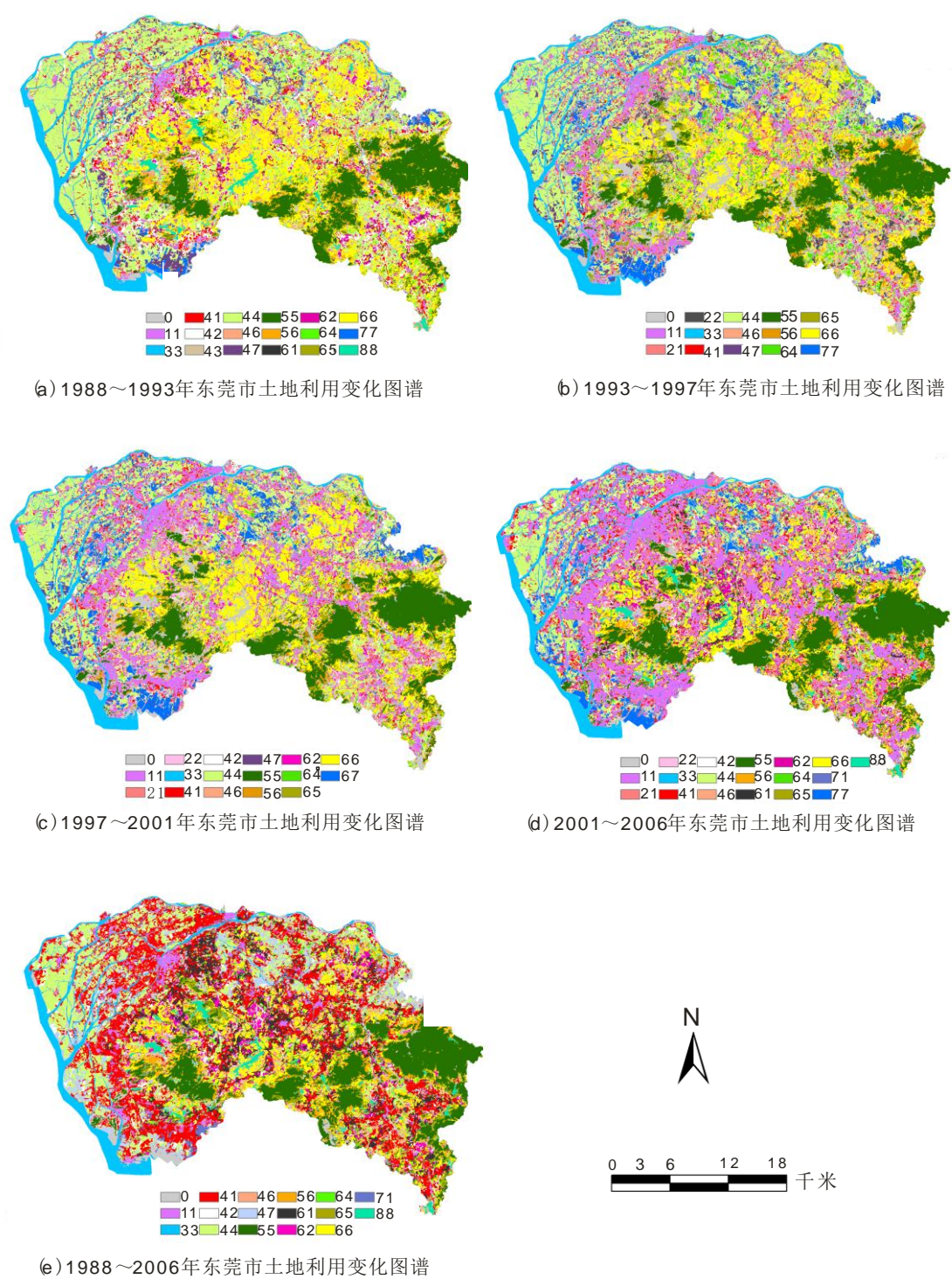


图2 东莞市土地利用变化图谱

Fig.2 the Land Use TUPU of DongGuan

1993~1997年期间由农田转变为城市用地的面积大大减少，仅占全市面积的2.64%左右

(表2)。其主要原因是上阶段(1988~1993年)的农田流失导致全市粮食总产量大大下降引起政府关注,相应政策的调整使得东莞市在此阶段控制农田流失的工作中卓有成效。这个时期的另一突出特点是不变开发用地所占比例较高,其中部分为采石场,其余均为开发之后未被有效利用的搁置用地,这在一定程度上说明了开发的盲目性以及不合理性。土地开发缺乏科学的规划和有效的管理,许多优质农田被侵占用以开发,但五年后仍处于搁置状态,开发用地未得到有效的利用,造成了土地资源的严重浪费。1993~1997年东莞市仍处于耕地变果园和耕地变基塘的农业调整阶段,这在一定程度上破坏原有的优质土壤,使得土地质量退化,生态功能大大下降。

1997~2001年新增加的城市用地主要由农田、开发用地和果园转变而成的。农田转变为城市用地的图谱单元(41)分布较为分散,除了莞城以外,各镇均有农田被侵占来开发(图2(c))。土地开发主要沿着交通干线两旁,使得城市用地分布较分散,开发不集中,土地利用效率低下。4年间,农田转变为果园占2.44%,比前阶段有所减少。果园转变为农田占2.31%,退果还耕是保证耕地总量动态平衡的一个方法,但在一定程度上会使土地质量退化,因此对于新增加的农田应该适当地加大肥料的投入,提高产量。

2001~2006年东莞市由开发用地发展为城市用地的面积占5.08%,农田转变为城市用地和果园转变为城市用地的面积分别占6.31%和2.52%,而农田转变为开发用地的面积占2.63%。这些年间,东莞市城市用地面积有加速增长的趋势,而新增加的城市用地则大部分来源于被侵占的农田和果园。图2(d)显示,由农田和果园转变为开发用地或城市用地主要集中于中部松山湖一带。无疑,松山湖科技产业园的发展对东莞市产业结构的调整以及周围镇区经济的发展起了非常重要的作用,但其发展所需的用以开发的土地是以牺牲大量的农田和果园为代价的,这给东莞市土地质量和农业发展带来许多的负面影响。因此在土地供求矛盾日益突出的情况下,政府应该加大力度开发利用闲置土地或荒地来满足城市发展建设的需要,而不是一味地牺牲大量优质农田。只有充分利用好后备土地资源,提高土地利用效率,才能保证东莞市土地的可持续发展。

1988~2006年最主要的土地利用变化是农田转变为城市用地以及果园转变为城市用地。18年间,农田转变为城市用地占新增加城市用地的61%左右。十几年间,大面积的农田过渡为非农用地,转变为城市景观。转变为城市用地的农田集中分布于主要交通干线周围(图2(e))。东莞于1985年从县改为市,3年后再升级为地级市。在此之前,东莞市是以农业生产为主,近年来城市化的快速进程对农业生产带来巨大的影响,人均粮食量大幅下降,粮食自给问题难以保证。此外,道路两旁农田的大面积流失,致使城市呈现分散的分布格局,使得东莞在经济高速发展的同时面临着后备土地资源严重不足的问题。

表 2 东莞市 1988~2006 年土地利用演变部分图谱单元

Table2 1988~2006 The Land Use TUPU Unit sorting of DongGuan

1988~1993			1993~1997		
编码	比例 (%)	图谱单元类型	编码	比例 (%)	图谱单元类型
42	6.22%	农田—开发用地	21	3.56%	开发用地—城市用地
41	4.37%	农田—城市用地	65	3.21%	果园—林地
46	4.24%	农田—果园	46	3.02%	农田—果园
62	3.25%	果园—开发用地	64	2.98%	果园—农田
47	3.24%	农田—基塘	41	2.64%	农田—城市用地
56	2.90%	林地—果园	47	2.56%	农田—基塘
65	2.15%	果园—林地	56	2.28%	林地—果园
64	2.02%	果园—农田			
43	1.28%	农田—水体			

61	0.83%	果园—城市用地			
1997~2001			2001~2006		
编码	比例 (%)	图谱单元类型	编码	比例 (%)	图谱单元类型
65	2.84%	果园—林地	21	5.08%	开发用地—城市用地
21	2.66%	开发用地—城市用地	46	2.66%	农田—果园
46	2.44%	农田—果园	42	2.63%	农田—开发用地
56	2.42%	林地—果园	61	2.52%	果园—城市用地
64	2.31%	果园—农田	62	2.37%	果园—开发用地
62	2.25%	果园—开发用地	65	2.32%	果园—林地
42	2.18%	农田—开发用地	56	2.08%	林地—果园
47	1.69%	农田—基塘	64	1.82%	果园—农田
			71	1.21%	基塘—城市用地
1988~2006					
编码	比例 (%)	图谱单元类型	编码	比例 (%)	图谱单元类型
61	7.73%	果园—城市用地	65	2.94%	果园—林地
47	3.62%	农田—基塘	56	2.42%	林地—果园
42	3.52%	农田—开发用地	64	2.39%	果园—农田
62	3.34%	果园—开发用地	71	1.13%	基塘—城市用地

4. 农田流失与交通干线的空间关系

以上分析表明,城市急剧扩张、农田大量流失是这 18 年来东莞市土地利用变化最显著的特征;从空间格局上看,被侵占的农田主要集中于交通干线两旁,使得整个城市发展呈现分散、无序的状态。通过建立缓冲区来探讨农田流失与交通之间的关系从而宏观把握农田流失的区位效应。

以 1998 年、1993 年、1997 年和 2001 年道路数据为基础,分别建立以 100m 为间隔的 30 个缓冲区,缓冲距离分别为 100m、200m……2900m、3000m。统计 0-1000m、1000m-2000m 和 2000m-3000m 缓冲区环内流失的农田占全市流失农田的百分比(图 3)。显然,农田流失大部分集中于距离道路 3000m 以内的区域,0-1000m 范围内农田流失的比例最大。图 4 显示,1988~2001 年东莞市兴建了许多公路,农田流失的范围随着公路的兴建而不断扩大。原因是交通干线两旁的土地开发效益高,往往是房地产开发的首选地,而大部分新开发的土地是靠侵占农田而获得,造成了农田流失沿着交通干线分布的格局。

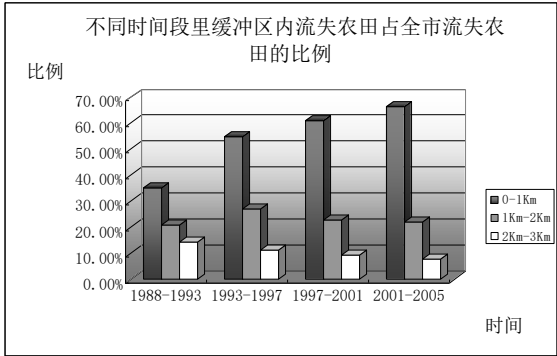


图 3 缓冲区內农田流失比例

Fig.3 The agriculture loss ratio in the buffer area

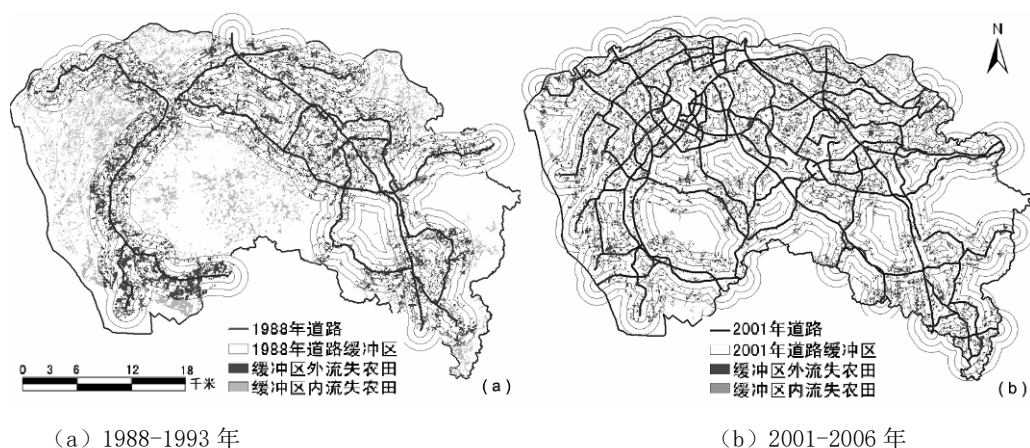


图4 农田流失与道路之间的关系

Fig.4 the connection between agriculture loss and road

统计各年份道路的各个缓冲区内流失农田占 3000m 距离内所有流失农田的比例，建立缓冲区环内农田流失所占比例与该缓冲区环内农田流失离道路平均距离的关系图（图 5）。可见，农田流失所占比例随着离道路平均距离的增加呈现递减趋势，离道路越近，农田流失的幅度越大。距离道路平均距离 2000m 以外的农田流失比例衰减至 1% 以下。大部分流失的农田是被侵占来进行土地开发，这也反映了土地开发侧重于沿交通干线发展。

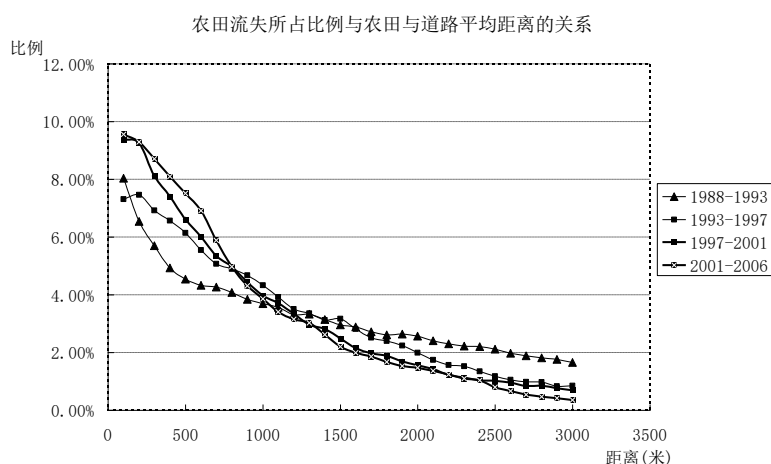


图5 农田流失与离道路平均距离的关系

Fig.5 the connection between agriculture loss and the distance to road

以下建立缓冲区环内流失农田所占比例与该环内流失的农田离交通干线平均距离间的回归拟合方程如下^[11]：

$$R_{road}(x) = \begin{cases} a_1 + b_1x & (x \leq c) \\ a_2e^{-b_2x} & (x > c) \end{cases}$$

$R_{road}(x)$ 为某一缓冲区环内流失的农田占 3000m 缓冲区内流失的农田的比例， x 为该缓冲区内流失的农田离交通干线的平均距离， a_1 , b_1 , a_2 和 b_2 为系数， c 为临界值。该模型表明，在离交通干线距离一定范围内（ c ）缓冲区环内农田流失所占比例随着距离的增加线形急速下降，在这个范围以内，农田流失与交通干线之间的关系较为突出；而在该范围之外，缓冲区环内农田流失所占比例呈负指数衰减。在 SPSS 里计算得到各个时间段里农田流失与交通干线之间关系的回归方程。1988~1993、1993~1997、1997~2001、2001~2006 年的临界值分别

为 400、600、700 和 800，结合图 5，可看出，临界值越大，则农田流失所占比例随离道路的距离增大而下降得更快，反映了道路对农田流失的影响强度更大。2001-2006 年交通道路网最为密集，道路影响范围亦最大。无论是兴建工厂还是城市基础设施的建设都会选择交通比较方便的区域，交通干线两旁的农田便成为开发商的首选地。由于缺乏有效的土地管理政策，伴随大片优质农田的流失，城市发展愈发分散无序。

5. 结论

(1) 利用地学信息图谱结合多时相遥感数据复合分析方法构建多达 5 个时序单元的土地利用变化图谱，形成的时间—空间—属性一体化图形数据显示出 18 年来东莞市土地利用的演变过程以及土地利用变化的空间格局。分析土地利用图谱单元排序表可以获取土地利用变化的种类、数量、同一时间段里不同土地利用变化类型的强度大小以及不同时间段里同一土地利用变化类型的强度对比。图形图谱与数据图谱的结合能够全面地、动态地监测 18 年来东莞市土地利用复杂的变化过程以及空间分异特征，为政府制定科学的土地利用规划以及合理有效的土地利用管理政策提供重要的依据。

(2) 图谱分析表明，18 年来东莞市土地利用发生了巨大的变化，大面积的农田被侵占来进行土地开发是最显著的特征。东莞市在城市发展的起步阶段缺乏科学的土地利用规划，使得公路两旁的大量农田和果园流失，而形成凌乱分散的城市景观。此外，18 年来东莞市农业内部结构也处于不断地变化中：1988~1993 年期间，在经济利益的驱动下，许多坡耕地转变为果园，加剧了农田的流失；1993 年以后，农田保护措施开始得到重视，许多优质农田逐渐被划定为农田重点保护区；另外，对于原来在优质农田上发展起来的果园采取退果还耕是保证耕地动态平衡的方法之一，但分析结果表明退果还耕的面积远小于农田流失的面积，因此只有加强土地管理政策，严格控制农田流失才能较为有效的保证耕地面积。

(3) 以各年份的道路数据为基础，分别建立 30 个缓冲区，获取各个缓冲区内农田流失数据，分析获得农田流失与道路之间的关系，结果表明，农田流失所占比例随着离道路平均距离的增加呈现递减趋势，离交通干线越近，农田流失的幅度越大。随着城市的不断发展，作为城市交通主要载体的公路日渐增加，路网愈发密集，使得道路对农田流失的影响范围不断增大。城市的发展建设、工厂的兴建一般会选择交通较为便利的区域，交通干线两旁的农田往往成为开发商的首选地。由于缺乏行之有效的土地管理政策，使得农田不断地被侵占、开发，伴随大片优质农田的流失，城市发展愈发分散无序，因此，从宏观上把握东莞市土地利用时空演变规律，能够为当地政府制订切实可行的土地管理政策提供重要的决策支持。

参考文献：

- [1]QUAN Bin, CHEN Jian-Fei, QIU Hong-Lie, M. J. M. ROMKENS, YANG Xiao-Qi, JIANG Shi-Feng and LI Bi-Cheng. Spatial-Temporal Pattern and Driving Forces of Land Use Changes in Xiamen. Elsevier Limited and Science Press, 2006.
- [2]李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域—土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51 (6): 553-558.
- [3]许学工, 陈晓玲, 郭洪梅, 林辉平. 黄河三角洲土地利用与土地覆被的质量变化. 地理学报, 2001, 56 (6), 641-648.
- [4]叶庆华, 刘高焕, 田国良, 叶景敏, 陈沈良, 黄羽中, 刘庆生, 常军, 石亚男, 娄维国. 黄河三角洲土地利用时空复合变化图谱分析. 地球科学, 2004, 34 (5): 461-474.
- [5]叶庆华, 刘高焕, 陆洲, 龚争辉, Marco. 基于GIS的时空复合体—土地利用变化图谱模型

研究方法. 2002, 21 (4), 350-357.

[6]陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用. 地理研究, 2000, 19 (4), 338-342.

[7]周成虎, 李宝林. 地球空间信息图谱初步探讨. 地理研究, 1998, 17 (增刊): 11-16.

[8]田永中, 岳天祥. 地学信息图谱的研究及其模型应用讨论. 地球信息科学, 2003, 9: 103-106.

[9]叶庆华, 刘高焕, Marco IRU SSI, 何爱华, 姜维国, 叶庆欣. 黄河三角洲东营市土地利用“涨势图谱”的时空特征分析. 地球信息科学, 2003, 9: 108-111.

[10]黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞为例. 地理研究, 1997, 16(4): 57-62.

[11]黎夏. 珠江三角洲发展走廊1988-1997年土地利用变化特征的空间分析. 2004, 19 (3): 308-315.

[12]刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 张增祥, 邓祥征. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. 中国科学, 2002. 12: 1032-1040.

[13]黎夏. 利用遥感与GIS对农田损失的检测及定量评价方法——以东莞为例. 地理学报, 1997, 52(3): 280-287.

Multi-temporal Land Use TUPU compound analysis method

LI Shao-Ying, LI Xia, LIU Xiao-Ping, CHEN Yi-Min, HE Jin-Qiang, WU Qiu-She

(School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, GuangZhou, 510275, China)

Abstract:

The Land use TUPU can provide us the type, quantity and spatial distribution of land use change which will help to reveal the dynamic process and space distribution rules quantitatively and offer scientific foundation to research the cause and process of land use change. In order to realize the spatial-temporal process of land use change in Dongguan, Geo-Informatic TUPU and the Multi-Temporal Remote sensing analysis method are used to build a series of land use TUPU of Dongguan with classified imagery from 1988~2006. The land use changed tremendously in Dongguan since the late 1980s. Rapid Urban expansion results in loss of a large amount of paddy fields. It is observed that the agriculture loss are concentrated along the road. This paper study the connection between agriculture land loss and road by means of GIS which reveal the driving force and regional effect of it.

Key Words: Land use TUPU, Agriculture loss, urban expansion, Dongguan