

上海城市植被变化轨迹及其成因分析

韩贵锋¹, 徐建华^{2,*}

(1. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400045; 2. 华东师范大学地理系, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 通过 TM 影像解译, 获取上海市 1989、1997 和 2003 年共 3 个时期的植被分布, 构造植被变化轨迹, 分析轨迹的空间格局; 选择距离、人口和景观等 3 类共 12 个影响因子, 使用 Logistic 回归进行成因分析。研究表明: ①14 年来, 上海市的植被面积呈现持续下降趋势, 浦东新区植被减少最多; 3 个时期均为植被的轨迹占总面积的一半以上, 其次是 3 个时期均为非植被的轨迹占总面积的 1/5。早期植被转化为非植被的轨迹主要在城区周围, 而近期的转化的轨迹发生在距城区较远的地区; 植被与非植被的交替变化轨迹, 说明了植被并不是一味地被破坏, 而是出现了可逆的变化过程。②Logistic 回归分析发现, 各因子对植被变化轨迹的影响强度大小依次是, 离道路的距离 > 离行政中心的距离 > 离植被-非植被边界的距离 > 离商业中心的距离 = 1990 年人口密度 > 离河流的距离 > 离高速公路的距离 > 土地利用多样性 > 2003 年与 1990 年人口密度差 = 离上海市中心的距离。③回归模型的精度是满意的, 其中二分类 Logistic 模型精度高于多分类 Logistic 模型。总体上, 离道路的距离对植被变化影响最明显; 变化轨迹表明在部分地区植被出现了植被-非植被反复变化的过程; 植被分布不但具有空间依赖性, 还具有较强的时间依赖性。

关键词: 城市植被; 植被变化轨迹; 城市化; Logistic 回归; 上海市

文章编号: 1000-0933(2009)04-1793-11 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Vegetation change trajectory and the reasons in Shanghai City

HAN Gui-Feng¹, XU Jian-Hua^{2,*}

1 College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China

2 Department of Geography, East China Normal University, Key Laboratory of Geographic Information Science of Education Ministry, Shanghai 200062, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1793 ~ 1803.

Abstract: Vegetation cover maps of three different years (e. g. 1989, 1997 and 2003) were derived from the Landsat TM images for the city of Shanghai. Eight types of cover change trajectories were then identified from the maps, and their spatial patterns were analyzed from the perspective of landscape ecology. The Logistic regression was used to model the relationship between the vegetation change trajectories and 12 spatial, demographic, and landscape factors. The analytic results led to three most important conclusions. (1) Within the concerned time period, the total vegetated area in Shanghai followed a continual downward trend, particularly in the Pudong new district. Trajectories of remaining vegetated in all three years comprised more than 50% of the total city area, and trajectories of non-vegetated throughout the entire period made up about 20%. Transformation from vegetation to non-vegetation in the first phase (1989 to 1997) took place largely in the surrounding area of the urban districts, whereas the same process in the second phase (1997 to 2003) often occurred farther away from the urbanized area. The fact that some trajectories exhibited an alternation between vegetation and non-vegetation suggested the existence of a process of vegetation restoration instead of permanent destruction or removal of vegetation over time. (2) The results from the Logistic regression model indicated that the distance from roads had the strongest influence on vegetation change trajectories. The rest of the factors can be ranked in descending order by the level of influence as

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371092); 重庆大学人才引进科研启动资助项目(0903005104852); 重庆大学青年骨干教师创新能力培育基金资助项目(CDCX023)

收稿日期: 2007-12-26; 修订日期: 2008-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jhxx@geo.ecnu.edu.cn

follows: distance from district centers, distance from the patch border between vegetation and non-vegetation (1997), distance from edge between vegetation patch and non-vegetation (1989), distance from business center, population density (1990), distance from river, distance from expressway, land use diversity within 100 meters, population density difference between 2003 and 1990 and distance from the center point of Shanghai. (3) The Logistic regression models produced a satisfactory accuracy; however, the binary logistic model performed better than the multinomial logistic model being used for this study. Overall speaking, the factor of distance from roads seemed to have a strong influence on vegetation changes. The alternating vegetation change trajectories in this study demonstrated a rather complicated changing pattern in parts of Shanghai's vegetation cover from 1989 to 2003, implying the existence of spatial dependence and temporal dependence in the changing process.

Key Words: urban vegetation; vegetation change trajectory; urbanization; logistic regression; Shanghai City

植被是一种重要的土地利用/覆盖类型,是生态系统的重要组成部分。土地利用/覆盖变化(LUCC),是政府政策、市场条件和人口变化等多因素交互作用的结果^[1],通常在时间上有连续的先后顺序,有时候是可逆的^[2],可以使用轨迹(trajectories)来表达^[3]。Lambin 把土地覆盖变化轨迹定义为,一个给定的样本单元在两个以上观测年份上,土地覆盖类型的演替过程^[4,5]。近年来,有学者在国家或区域尺度上,对农业用地和森林构造变化轨迹^[6~8],并使用了 Logistic 逐步回归分析了多种因子的影响^[9,10]。变化轨迹能充分反映时间序列上土地利用变化过程在空间上的分异规律,能有效评估多个因子在时间上和空间上的驱动机制,是对以土地利用类型转移矩阵为代表的传统研究方法的革新。在快速城市化地区,植被被破坏和清除的现象是显著的,同一个地区的植被变化可能不是单方向的破坏,而是破坏和再生交替出现的复杂变化过程。目前,大部分有关城市植被变化的研究仅仅是从一个或多个静态年份出发进行比较分析^[11,12],使用变化轨迹方法研究植被时空格局及其成因还十分少见。本文以上海市为例,使用变化轨迹与景观生态学方法,结合 Logistic 回归模型,分析城市植被的时空动态变化及其成因,为城市土地规划与管理、城市植被监测与制图、城市绿地系统规划和管理提供重要的指导作用。

1 研究区域

研究区域为整个上海市,位于 120°51'~122°12'E、30°40'~31°53'N 之间,总面积 6340.5 km² (不包括海域),地势平坦,平均海拔 4m。上海市辖 18 个区和 1 个县,包括崇明、长兴、横沙 3 个岛屿。进入 21 世纪后,上海市人口一直保持着较快增速,2005 年实有人口已超过 1900 万人,全市常住人口达 1778 万人,全市常住人口平均人口密度为 2804 人/km²,外环线以内常住人口已达 1000 万人,在人口最为密集的黄浦区,人口密度高达 5.1 万人/km²。2001 年上海城市化水平达到 75.3%,到 2005 年,增加至 84.5%,城市化水平和速度均位于全国之首。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

1989 年 8 月 11 日 TM 影像,轨道号为 p128r39 和 p128r40,空间分辨率均为 30m。1997 和 2003 年上海市土地利用类型矢量图^①。2003 年上海市道路、高速公路、商业中心、居民点、河流湖泊等矢量图层。由于 1989 年街道乡镇人口数据很难获得,故使用上海市第四次(1990)人口普查数据;近期的人口数据为上海市 2003 年人口矢量数据(年末户籍人口)。人口统计单元为街道(乡镇),人口数量分别除以对应的统计单元面积,得到人口密度,然后使用普通 kriging 方法进行空间插值,输出栅格大小为 30m×30m,得到 1990 年和 2003 年人口密度空间分布,以及前后两期人口密度差值图。

① 1997 年和 2003 年土地利用矢量图经 TM 影像解译得到,由华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室提供

利用 ArcGIS9.0 空间分析工具 Distance, 计算空间上任意一个点到最近源的距离。这里的源分别指, 上海市中心(和平饭店)、商业中心、区县行政中心、道路、高速公路、河流湖泊等点或线要素, 输出栅格单元大小为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 。距离均为空间上最短直线距离。由于上海市地势平坦, 不考虑高程和坡度等自然要素。提取植被-非植被边界, 分别计算 1989 和 1997 年空间上任意一点到植被-非植被边界的最短距离, 输出栅格单元大小为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 。此外, 将 1997 年土地利用矢量图(18 类)栅格化, 栅格尺寸为 $30\text{m} \times 30\text{m}$, 然后计算每个栅格周围 100m 范围内的土地利用类型数, 输出栅格的大小不变。

为了便于对变量的解释, 将 12 个因子分为 3 类(图 1)。距离因子: CENTER, 离市中心的距离; GVR, 离区县行政中心的距离; PCH, 离商业中心的距离; ROAD, 离道路的距离; HWAY, 离高速公路的距离; RIVER, 离河流湖泊的距离(不包括海域)。人口因子: POP90, 1990 年人口密度; POP03, 2003 年人口密度; POP03-90, 2003 与 1990 年人口密度差。景观因子: EDGE89, 离植被-非植被边界(1989 年)的距离; EDGE97, 离植被-非植被边界(1997 年)的距离; LANDCAT, 100m 范围内土地利用类型数(1997 年)。

2.2 分析方法

2.2.1 植被提取及其变化轨迹构造

城市植被一般是指城市内一切自然生长的和人工栽培的各种植被类型^[13]。2003 年上海市土地利用共分为 9 大类, 将其中的绿化用地和农业用地合并, 作为植被, 而其他类型合并为非植被; 1997 年的土地利用图分为 18 类, 将其中所有的农业用地和所有的绿化用地合并, 作为植被, 其他用的类型合并作为非植被。1989 年 TM 影像经过去云处理, 辐射纠正, 直方图平衡色彩后拼接, 然后使用 2003 年土地利用图进行几何精校正, 误差小于一个像元; 再利用上海市行政区多边形提取研究区的图像。参照 2003 年土地利用分类体系, 在 ERDAS 软件中监督分类得到植被和非植被图, 分类精度 kappa 指数为 0.82, 完全能满足后续分析的要求^[2]。

在 ArcGIS 中, 对 3 个时期植被和非植被的二值化栅格图像(植被为 1, 非植被为 0)进行 Combine 叠加, 得到的图像其栅格属性值存储了参与叠加的图像的栅格属性值, 即植被变化轨迹(trjectories)^[10]。某一像元上的植被变化轨迹准确地记录了该像元上植被的演变过程^[14]。植被和非植被分别用 v 和 n 表示。8 类变化轨迹分别是: 植被→植被→植被(vvv)、植被→植被→非植被(vvn)、植被→非植被→植被(vnv)、植被→非植被→非植被(vnn)、非植被→植被→植被(nvv)、非植被→植被→非植被(nvn)、非植被→非植被→植被(nnv)、非植被→非植被→非植被(nnn)。为了便于表达, 将 1989~1997 年阶段称为早期, 将 1997~2003 年阶段称为后期。

2.2.2 植被变化轨迹的空间格局

由于时间序列上的变化轨迹在空间上是相互作用的^[15,16], 将 8 类变化轨迹对应的斑块视为不同的景观类型斑块^[17], 然后选择类型和景观水平上的景观指数来分析植被时间序列上的变化轨迹在空间上的差异, 以揭示植被的时空变化特征^[8,18]。选择 7 种景观指数进行空间格局分析: CA, 斑块类型面积; PLAND, 斑块类型百分比; PD, 斑块密度; LPI, 最大斑块指数; AREA_MN, 斑块平均面积; SHAPE_MN 为, 平均形状指数; AI, 斑块聚集度指数。景观指数使用 Fragstats3.3(栅格版)计算。

2.2.3 Logistic 回归模拟

以植被变化轨迹为因变量, 使用 Logistic 回归方法分析多种影响因子对变化轨迹的作用, 识别其影响的强弱。如果因变量是二分类的则称为二分类 Logistic 回归, 因变量是多分类的则称为多分类 Logistic 回归^[19]。首先, 以 8 类轨迹为因变量, 以 12 类影响因子为自变量, 对提取的样本进行多分类 Logistic 回归模拟; 然后, 分别将 1989 和 1997 年的植被分布图(植被为 1, 非植被为 0)添加到自变量中, 得到 14 个自变量, 以 2003 年的植被分布二值化图像为因变量, 对提取的样本进行二分类 Logistic 回归模拟。Logistic 回归分析在 SPSS14.0 中实现。为了减少计算量, 将自变量的单位进行了适当的转换: 距离因子的单位均为 km; 人口因子单位均为 $100\text{人}/\text{km}^2$; 景观因子中, 植被—非植被边界的距离单位为 100m, 土地利用多样性的单位为种。

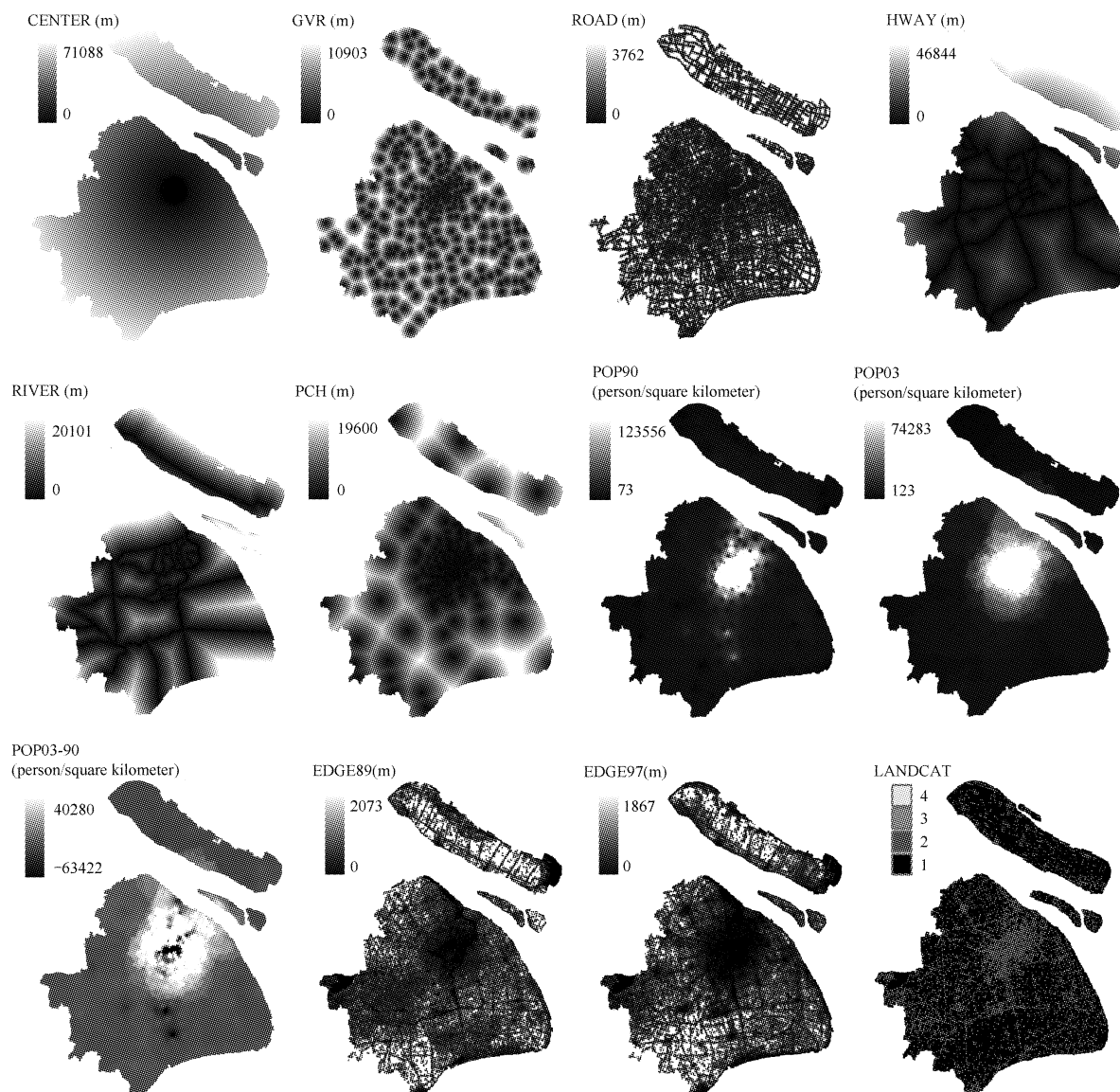


图1 影响植被变化的因子

Fig.1 The factors impacting vegetation change in Shanghai city

距离因子 The distance factors: CENTER, 离市中心的距离 the distance from the city center(m); GVR, 离区县行政中心的距离 the distance from the districts centers(m); PCH, 离商业中心的距离 the distance from the commerce centers(m); ROAD, 离道路的距离 the distance from the roads (m); HWAY, 离高速公路的距离 the distance from the highways (m); RIVER, 离河流湖泊的距离 the distance from the river or lake(m). 人口因子 The population factors: POP90, 1990 年人口密度 the population density in 1990 (人/km²); POP03, 2003 年人口密度 the population density in 2003 (人/km²); POP03-90, 2003 与 1990 年人口密度差 the difference of population density between 2003 and 1990 (人/km²). 景观因子 The landscape factors: EDGE89, 离植被-非植被边界(1989 年)的距离 the distance from the edge of vegetation and non-vegetation in 1989 (m); EDGE97, 离植被-非植被边界(1997 年)的距离 the distance from the edge of vegetation and non-vegetation in 1997 (m); LANDCAT, 100m 范围内土地利用类型数(1997 年)(种) The category of land use within the 100m (category)

3 结果与分析

3.1 植被变化轨迹的空间格局

上海市植被在 14a 间呈现持续减少趋势。1989 年植被覆盖占上海市总面积的 86.67%, 到 1997 年植被净减少 49227.41hm²; 1997~2003 年植被净减少 114289.22 hm², 植被减少比 1989~1997 年要多。崇明县的植被面积在 3 个时期均为最多, 约占 20%。植被变化轨迹的景观格局指数如表 1, 轨迹的空间格局如图 2。

表 1 植被变化轨迹的统计特征
Table 1 Statistical parameters of vegetation change trajectories

轨迹 Trajectory	CA (hm ²) CA > 0	PLAND (%) 0 < PLAND ≤ 100	PD (个/100hm ²) PD > 0	LPI (%) 0 < LPI ≤ 100	AREA_MN (hm ²) AREA_MN > 0	SHAPE_MN SHAPE_MN ≥ 1	AI (%) 0 ≤ AI ≤ 100
vnn	54303.48	8.36	10.59	0.63	0.79	1.10	66.84
nnn	54120.25	8.33	5.25	4.03	1.59	1.10	81.98
vvn	131795.44	20.29	17.16	1.28	1.18	1.13	72.02
vnn	17258.65	2.66	9.71	0.02	0.27	1.05	43.61
nnv	9825.41	1.51	7.16	0.01	0.21	1.04	34.02
vvv	359805.51	55.39	7.54	8.63	7.35	1.15	90.12
nnv	10065.16	1.55	3.60	0.35	0.43	1.06	58.73
nnv	12465.78	1.92	7.45	0.01	0.26	1.05	40.53

3 个时期均为植被的轨迹(vvv)所占面积最大,占总面积的 55.39%,集中分布在崇明县、南汇区、金山区、奉贤区、青浦区、松江区以及嘉定区,这些轨迹分布的地区几乎均为农用地。在中心城区,vvv 分布很少,且均为城区绿地,例如卢湾区仅为 0.36hm²,静安区则为 1.6hm²,杨浦区为 49.95hm²。由于 vvv 在郊县区分布集中,主要为农业植被,斑块的面积最大,整体上的形状较复杂,积聚度较高,连通性好。

面积较大的轨迹是 vvn,占总面积的 20.29%。这些地区的植被在 1997 年以后在城市化过程中消失,明显分布在外环线附近,其中浦东区、崇明县、闵行区和松江区的面积最大,这充分说明了浦东新区的开发政策实施后,极大地改变了当地的土地利用结构,大量农用地转变为建设用地。nnn 和 vnn 两类轨迹在总面积上相近。nnn 表明在 3 个时期中均为非植被类型,例如,水体及道路、广场、住宅等建设用地,相对稳定。由于非植被地区的用地类型多种多样,斑块面积相差较大,空间上是明显的聚集分布格局,连通性强。它们主要分布在中心城区以及宝山区宝钢周围。vnn 表明在早期就由植被转化成为非植被,反映了早期城市化占用的植被,小斑块较多,连通性较差,这些斑块分布在 nnn 斑块组成的中心城区周围。

其余 4 类轨迹的面积较小,斑块平均面积也较小。从非植被变为植被,主要是人工植被如郊区菜地、市区绿地、以及沿海岸线的滩涂植被。nnv 表明在早期由非植被转变为植被,而 nnv 在近期变成植被,从集聚性和连通性看,后者较高,说明了后期转化而来的植被其人工性更强。vnn 和 nnv 两类轨迹,经历了植被与非植被之间的反复转变过程,属于分散分布,斑块密度较大,空间连通性较差,主要在浦东、嘉定、松江和闵行零星分布。

3.2 空间自相关分析与取样尺寸

对于 30m×30m 的像元尺度,如果在每个像元上采样进行回归分析,空间自相关是不可避免的障碍。通常,对于连续性空间变量,空间数据探索性分析(ESDA)和半变异分析是确定合理采样尺度的有效方法。但

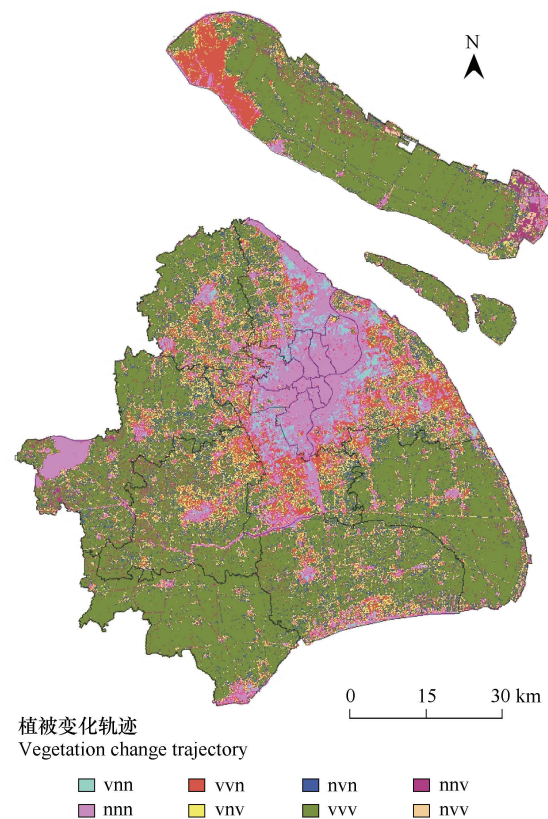


图 2 植被轨迹的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of vegetation change trajectories

是,对于诸如土地利用类型等名义数据的空间分布,以上方法不再适用。因此,在植被变化轨迹图上,按照 3×3 、 5×5 、 7×7 、 9×9 、 11×11 、 13×13 、 15×15 、 17×17 、 19×19 、 21×21 、 23×23 、 25×25 、 35×35 、 55×55 窗口重采样,得到 14 种不同分辨率的轨迹图。重采样方法为中心像元赋值,即将位于窗口中心像元的值赋给该窗口,即提取位于窗口中心像元的值。然后使用联接统计方法(joint count statistics)^[20,21],在不同分辨率的轨迹图上,统计出每类轨迹在空间上的自相邻的像元数量(number of BB joint)和窗口尺度之间的关系^[22],以便确定一个合理的取样尺度,去除大部分的空间自相关。相邻方式定义为 rook 相邻。

为了比较不同轨迹的自相关变化趋势,同时为了便于图形表达,将自相邻数目按照每类轨迹进行极差标准化,得到的曲线(图3)。自相关性随采样尺度增加而变小,其中,在 30 ~ 150m 之间,变化较大,从 150m 开始,各轨迹的自相邻像元数量变化趋势非常规律。vnn 和 vnv 两类轨迹对应的植被和非植被是一个可逆变化,土地覆盖变化最剧烈,在空间上是趋向集聚分布格局,它们的空间自相关性最强;在早期稳定而在后期变化的两类轨迹 nnv、vvv 以及 3 个时期无变化的两类轨迹 nnn、vvv,其空间自相关性次之;而空间相关性最小的两类轨迹为 vnn、nnv,其特点为早期发生变化而在后期稳定。综合各轨迹的变化特征,确定采样的尺度为 450m,在这个尺度下,可以忽略空间自相关对回归模型的影响。样本对总数为 31616 个,多分类 Logistic 回归的自变量为 12 个,完全满足最大似然估计的样本数量要求^[23]。

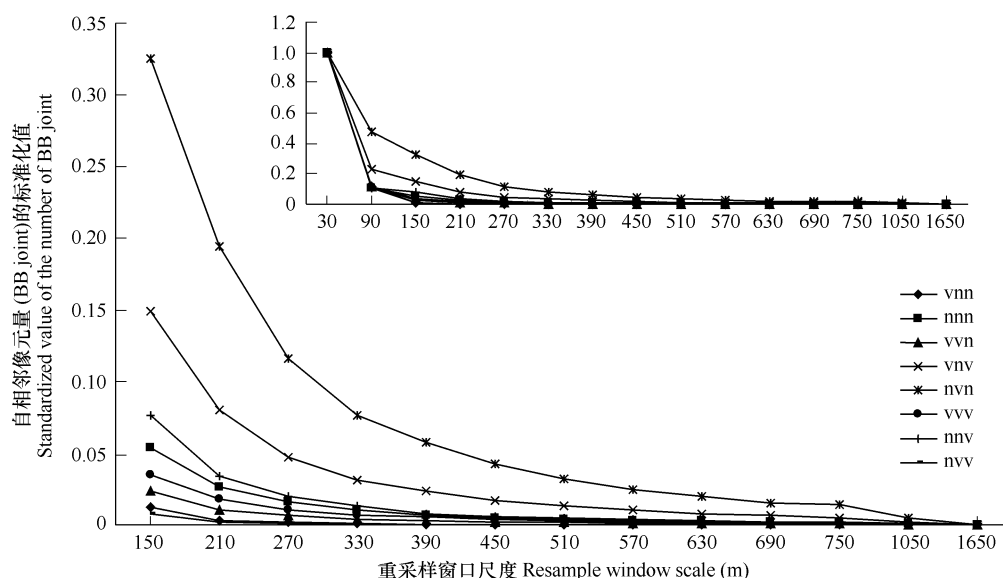


图3 各轨迹的空间自相关性随尺度的变化趋势

Fig. 3 Trend of spatial autocorrelation of vegetation change trajectories along with the sample size

3.3 多分类 Logistic 回归结果与分析

计算 12 个自变量的相关矩阵发现,1990、2003 年人口密度分别与两个年份的人口密度差之间的相关系数均大于 0.9,其他自变量之间的相关系数均小于 0.5。为了避免模型受到多重共线性的影响,将 2003 年人口密度剔除。模拟时,以 vvv 为参照,模拟其他 7 种轨迹与 11 个自变量之间的 Logistic 方程(表2)。模型的拟合优度检验使用 Pseudo R^2 ,尽管其值也介于 0 ~ 1,但是它通常比传统线性回归的 R^2 值小,Domencich & McFadden 认为其值达到 0.2 ~ 0.4 就可以视为理想的拟合效果^[6]。多分类 Logistic 回归模型的 3 种 Pseudo R^2 值分别为:Cox & Snell $R^2 = 0.566$;Nagelkerke $R^2 = 0.6$;McFadden $R^2 = 0.292$,拟合的效果是理想的。从卡方值和显著性值看,11 个自变量和截距均有显著的统计学意义。

在多分类 Logistic 模型中,OR 值大于 1 表明,自变量如果增加,和参照轨迹相比,该轨迹发生的概率会增大,该自变量对应的系数为正,其值越大说明轨迹发生的可能性越大;OR 值小于 1 表明,自变量如果增加,和参照轨迹相比,该轨迹发生的概率减小,该自变量对应的系数为负,其绝对值越大说明轨迹发生的可能性越

表 2 多分类 Logistic 回归结果

变量 Variable	vnn		nnn		vvn		vvv		vnn		nnv		nnv	
	Coef.	OR	Coef.	OR	Coef.	OR	Coef.	OR	Coef.	OR	Coef.	OR	Coef.	OR
Intercept	-2.0798 (0.001)		-1.5895 (0.000)		-1.5553 (0.000)		0.5052 (0.000)		0.3543 (0.004)		-2.0942 (0.000)		1.8068*** (0.517)	
GVR	-0.4935 (0.000)	0.6105	-0.3764 (0.000)		-0.1995 (0.000)	0.8191	-0.2088 (0.000)	0.8116	-0.1133 (0.000)	0.8929	0.2010 (0.000)	1.2226	0.6583 (0.000)	1.9316
CENTER	-0.0405* (0.065)	0.9603	0.0185 (0.000)		0.0127 (0.000)	1.0128	-0.0185 (0.000)	0.9817	-0.0181 (0.000)	0.9820	0.0048*** (0.406)	1.0048	-0.2544 (0.000)	0.7753
PCH	-0.3570 (0.000)	0.6998	-0.2749 (0.000)		-0.1643 (0.000)	0.8485	-0.1011 (0.000)	0.9039	-0.0362 (0.000)	0.9645	-0.0310 (0.017)	0.9695	0.2865 (0.002)	1.3318
ROAD	-2.6606 (0.009)	0.0699	-2.4019 (0.000)		-0.4363 (0.000)	0.6464	-1.5235 (0.000)	0.2180	-0.8271 (0.000)	0.4373	0.3226 (0.015)	1.3807	1.5125 (0.004)	4.5378
HWAY	0.0915 (0.000)	1.0958	0.0082** (0.131)		0.0613 (0.000)	1.0632	0.0113 (0.000)	1.0114	-0.0033** (0.134)	0.9967	0.0170 (0.000)	1.0172	0.2115 (0.000)	1.2356
RIVER	0.0269*** (0.409)	1.0273	-0.0540 (0.000)		-0.1336 (0.000)	0.8749	-0.0427 (0.000)	0.9582	-0.0187 (0.000)	0.9815	-0.0195* (0.078)	0.9807	-0.1330** (0.102)	0.8755
POP90	0.1023 (0.000)	1.1077	0.1131 (0.000)		0.0999 (0.000)	1.1050	0.0652 (0.000)	1.0674	0.0354 (0.000)	1.0361	-0.1680 (0.000)	0.8454	0.7419 (0.000)	2.1000
POP03_90	0.0474 (0.000)	1.0485	0.0482 (0.000)		0.0442 (0.000)	1.0452	0.0347 (0.000)	1.0353	0.0262 (0.000)	1.0266	0.0009*** (0.922)	1.0009	-0.0299*** (0.723)	0.9705
EDGE89	-0.1589** (0.178)	0.8531	-0.4704 (0.000)		-0.1020 (0.000)	0.9031	-0.1762 (0.000)	0.8384	-0.1228 (0.000)	0.8844	-0.5057 (0.000)	0.6031	-0.5774 (0.017)	0.5614
EDGE97	-2.6685 (0.000)	0.0694	-2.5561 (0.000)		-0.4657 (0.000)	0.6277	-0.3351 (0.000)	0.7153	-0.1898 (0.000)	0.8271	0.0015*** (0.946)	1.0015	-0.0917*** (0.545)	0.9124
LANDCAT	-0.0741*** (0.589)	0.9285	0.2190 (0.000)		0.1722 (0.000)	1.1879	-0.0096*** (0.835)	0.9905	0.0373*** (0.346)	1.0380	0.0336*** (0.734)	1.0342	-0.6631*** (0.389)	0.5153

括号内的值表示,99%的置信水平对应的显著性 P 值(The values in brackets indicate corresponding P -value at 99% confidence level); * $P > 0.05$, ** $P > 0.1$, *** $P > 0.2$

小;OR 值等于 1 表明,自变量如果增加,和参照轨迹相比,该轨迹发生的概率不变化,该自变量对应的系数为 0。如表 2 中,离行政中心的距离(GVR)越远,vnn 和 vvv 相比,前者发生的概率会降低,距离增加 1km,vnn 发生的概率是 vvv 发生概率的 0.61 倍,即 vvv 发生概率是 vnn 发生概率的 $1/0.61 = 1.64$ 倍。模型中的截距在本文中没有实际意义。同性质的自变量比较时,可以按照 $|OR - 1|$ 的大小,确定自变量的影响强弱。根据 OR 的大小,针对每类轨迹,给自变量排序,然后计算每个自变量排序的平均值。如果自变量的影响是不显著的($p > 0.05$),则 p 值越大,排序越靠后,最后得到一个综合的排序(表 3)。

表 3 自变量影响的强弱排序

Table 3 The order of independent variables according to their impacts on dependent variables

自变量 Independent Variables	vnn	nnn	vvv	vnn	vnn	nnv	nnv	平均值 Average Value	综合排序 Comprehensive Order
GVR	3	4	4	3	4	3	3	3.43	2
CENTER	8 *	10	11	9	9	8 ***	7	8.86	9
PCH	4	6	5	5	6	5	5	5.14	5
ROAD	2	2	2	1	1	2	1	1.57	1
HWAY	6	11 **	9	10	10 **	6	6	8.29	7
RIVER	10 ***	8	6	7	8	7 *	8 **	7.71	6
POP90	5	7	7	6	5	4	2	5.14	5
POP03_90	7	9	10	8	7	10 ***	11 ***	8.86	9
EDGE89	9 **	3	8	4	3	1	4	4.57	4
EDGE97	1	1	1	2	2	11 ***	10 ***	4.00	3
LANDCAT	11 ***	5	3	11 ***	11 ***	9 ***	9 ***	8.43	8

* $P > 0.05$, ** $P > 0.1$, *** $P > 0.2$

总体上看,距离因子的影响最显著,而景观因子的影响相对不显著。11 个因子的影响强度大小依次为: ROAD > GVR > EDGE97 > EDGE89 > PCH = POP90 > RIVER > HWAY > LANDCAT > POP03_90 = CENTER。道路延伸是城市扩张最重要的体现,新修建道路和已有道路的拓宽,以及随之而来的两侧的商业、居住等建筑物直接清除植被,离道路越近的植被转化为非植被的概率越大。区县行政中心往往是区县政治、经济中心,通过政府驻地搬迁带动新区发展的现象十分普遍,越靠近行政中心的地区植被转变为非植被的可能性较大。人为活动的强度和规模由中心区向外扩展,距离中心越近的植被先被蚕食,植被与非植被构成的边界逐渐由近郊向远郊推移,靠近边界的植被转变为非植被的可能性较大,体现了植被分布在人为影响下的空间惯性。上海市早期主要由一个中心向外扩展,后期积极发展区县卫星城,区县人口密度增加明显,离商业中心的距离和早期人口密度(1990)对植被转变为非植被的概率影响并不是很强。上海市河网密布,沿河的建筑尤其是住宅快速增加,原有植被被清除,但是随着河岸环境整治和景观绿化在近期有所增加,导致离河流的距离对植被变化的影响较弱。由于植被的破坏和清除主要源于建设用地的增加,所以土地利用多样性对植被的影响不显著。上海市城市扩张尤其在后期改变了由单一中心向外摊大饼的方式,积极发展周边新城,形成新的城市发展格局,市中心区域不再是人口增加最多的地方,因此 2003 与 1990 年人口密度差和离市中心的距离两个因子对植被变化轨迹影响最小。

高速公路大部分位于郊区,高速公路周围植被尤其是农业植被分布面积较大,因此离高速公路的距离对植被的影响反常,即离高速公路越近,植被分布越多或者植被转化为非植被的概率越小。

3.4 二分类 Logistic 回归结果与分析

将 1989 和 1997 年的植被覆盖状态(植被为 1,非植被为 0)作为两个二分类自变量(VGT89、VGT97),加入自变量中,将 2003 年的植被覆盖状态作为因变量,利用二分类 Logistic 回归方法进行模拟。取样尺度仍为 450m。运算时,二分类自变量的参照均取植被,即 1。向前逐步法拟和,共迭代 15 次达到预期收敛值

(0.00001)。有关人口密度的 3 个自变量之间有较强的相关性($r > 0.8$),在模拟过程中,2003 年人口密度(POP03)被自动剔除。模型的 Pseudo R^2 值分别为:Cox & Snell $R^2 = 0.596$;Nagelkerke $R^2 = 0.82$,模型的拟合效果是理想的,而且似然比的卡方值检验具有明显的统计学意义。模型中各自变量的系数 Wald 卡方检验均是显著的($p < 0.05$),对应的系数及其 OR 值如表 4。

表 4 二分类 Logistic 回归模拟结果
Table 4 Results of binary Logistic regression

影响因子 Impact Factor	Coef.	S. E.	Wald	df	Sig.	OR
GVR	0.2052	0.022	89.583	1	0.000	1.2277
CENTER	0.0089	0.003	9.949	1	0.002	1.0089
PCH	0.1646	0.008	383.278	1	0.000	1.1789
ROAD	0.3817	0.077	24.638	1	0.000	1.4648
HWAY	-0.0426	0.002	298.505	1	0.000	0.9583
RIVER	0.1188	0.007	291.813	1	0.000	1.1262
POP90	-0.0754	0.003	475.070	1	0.000	0.9274
POP03_90	-0.0410	0.000	738.413	1	0.000	0.9591
EDGE89	0.0655	0.016	16.923	1	0.000	1.0677
EDGE97	0.5090	0.022	531.199	1	0.000	1.6637
LANDCAT	-0.2162	0.049	19.203	1	0.000	0.8055
VG189	4.0271	0.074	2952.159	1	0.000	56.0981
VG197	3.1350	0.075	1767.539	1	0.000	22.9886
Constant	-0.5132	0.173	8.799	1	0.003	0.5986

(1) 距离因子

除 HWAY 外,其他 5 个距离因子对 2003 年是否出现植被的影响是一致的,即距离越远,2003 年出现植被的概率就越大。其中,离公路的距离对植被的影响强度最大,距离每增加 1km,出现植被的概率是非植被的 1.46 倍;其次为离区县行政中心的距离。其他 3 个因子的影响强度依次为 $PCH > RIVER > CENTER$,虽然影响强度较小,但也表明了中心城区及周边打造商业中心,以及城市沿河开发对植被的破坏是明显的。从上海市高速公路的空间分布上看,中心城区离高速公路的距离并不是最近的,而在郊区植被分布较多的地区,尤其是农业植被覆盖区离高速公路最近,离高速公路越近越容易出现植被,该自变量的系数为负,这和多分类 Logistic 回归结果是一致的。

(2) 人口因子

两个人口因子对植被的影响是一致的,即人口密度越大或者人口密度增加越大的地区,植被出现的概率小于非植被出现的概率。其中,1990 年人口密度的影响更大一些,这说明早期上海市人口主要集中在中心城区和近郊区,这些地区始终是非植被状态;2003 年与 1990 年人口密度之差说明了 13a 来郊区的人口密度增加是迅速的,例如松江、嘉定区、宝山区和南汇区等^[24],而这些地区的植被覆盖率较高。所以,人口密度增加对植被的影响小于 1990 年人口密度的影响。

(3) 景观因子

3 个景观因子对植被的影响十分显著。其中,EDGE97 影响大于 EDGE89,对于前者,离边界距离每增加 100m,2003 年出现植被的概率是非植被的 1.66 倍。由于边界是逐渐向植被方向推进,所以 EDGE89 影响程度较 EDGE97 弱。这两个自变量反映了植被分布的空间惯性(Spatial Inertia)作用^[2],即越靠近植被集中分布区,同时远离植被-非植被边界的地区,受到的干扰和破坏越小,出现植被的概率就越大。土地利用多样化对植被的影响强度较大,周围 100m 范围内土地利用类型(1997 年)每增加 1 种,非植被出现的概率是植被的 $1/0.81 = 1.23$ 倍,土地利用多样化更容易促使植被向非植被的转化。

1989 年和 1997 年的植被覆盖状态对 2003 年植被覆盖状态的影响是非常显著的。如果 1989 年是植被,

那么 2003 年在同一地区出现植被的概率是非植被的 56.1 倍,1997 年的这个倍数为 23。这充分说明了,植被分布具有很强的时间惯性(temporal inertia),它在早期表现得更明显。

3.5 两种回归模型的比较

由混淆矩阵计算得到:多分类 Logistic 回归模型的总体分类精度为 81.03%,kappa 指数 = 0.78;二分类 Logistic 回归模型的总体精度为 92.91%,kappa 指数 = 0.84。两个模型的模拟效果都比较满意,其中二分类 Logistic 回归模型效果更好。多分类 Logistic 回归的因变量——植被变化轨迹,反映某个像元上,植被和非植被在 3 个时期的转变路径,然而大部分自变量并没有反映出时间上的变化。在一个静态年份上得到的自变量,有时很难解释经历 3 个时期而得到的 8 类轨迹的变化,导致多分类 Logistic 回归模型的预测精度比二分类 Logistic 模型低。这也说明,影响植被变化轨迹的因子还有很多,比如人为的政策变化、规划调整以及产业结构调整等因子。二分类 Logistic 回归模型的因变量是 2003 年的植被或者非植被状态,是一个时期的静态变量,自变量无论是来自 1989、1997 还是 2003 年,都是单个时期静态变量,因此模型的回归效果更好,其预测的精度也较高。多分类模型对 vvv 轨迹预测的使用者精度高达 97.1%;二分类模型中,虽然对植被和非植被的预测精度都较高,但是对植被预测的使用者精度高达 97.73%。也就是说,本文所涉及的自变量对植被的预测效果更好。

4 结论

(1)14a 来,上海市的植被面积呈现持续下降趋势,早期(1989 ~ 1997)植被的减少量远大于后期(1997 ~ 2003 年)。除 3 个时期均为植被或者非植被轨迹之外,植被转化为非植被的变化轨迹充分体现了城市化过程中的植被的消失,由市中心向外扩散;植被与非植被的交替变化轨迹,说明了植被并不是朝单一方向演化,而是出现了可逆的转变过程。植被在时间序列上的变化轨迹在空间上相互作用,呈现出特有的时空格局特征,有效地记录了植被的时空演变过程,是对植被变化时空分析的一种有意义的探索。

(2)使用 Logistic 回归模型分析了多个变量对植被变化的影响,识别出了影响的强弱:离道路的距离 > 离区县行政中心的距离 > 离植被-非植被边界的距离 > 离商业中心的距离 = 1990 年人口密度 > 离河流的距离 > 离高速公路的距离 > 土地利用多样性 > 2003 年与 1990 年人口密度差 = 离上海市中心的距离。道路延伸是城市扩张最重要的体现,对植被的破坏是最明显的,对植被变化轨迹的影响强度最大。在二分类 Logistic 回归模型中,景观因子的影响非常显著,其中 1989 和 1997 年是否为植被覆盖,对模型的影响很大,体现了植被分布有强烈的时间惯性。由于高速公路周围植被尤其是农业植被分布面积较大,离高速公路的距离对植被变化轨迹的影响和其他因子相反,即离高速公路越近,植被分布越多或者植被转化为非植被的概率越小。

(3)两个模型的拟合优度都比较高,均有比较满意的精度。其中,多分类模型精度低于二分类模型,说明了植被在时间序列变化中,除了受到本文选择的影响因子外,可能还受到其他诸如政策导向、产业布局和城市发展规划等其他因子的影响。

References:

- [1] Lambin E F, Helmut J G, Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environmental Resources*, 2003, 28: 205—241.
- [2] Mertens B, Lambin E F. Land-Cover-Change Trajectories in Southern Cameroon. *Annals of the Association of American Geographers*, 2000, 90 (6): 467—494.
- [3] Martens P, Rotmans J. Transitions in a globalizing world. Lisse, Netherlands: Swets and Zeitlinger, 2002. 187.
- [4] Lambin E F. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21: 375—393.
- [5] Kasperson J X, Kasperson R E, Turner B L. *Regions at Risk*. Tokyo: United Nations University Press, 1995. 22.
- [6] Cropper M, Puri J, Griffiths C. Predicting the location of deforestation: the role of roads and protected areas in North Thailand. *Land Economics*, 2001, 77: 172—186.
- [7] Moran E F, Brondizio E S, McCracken S D. Trajectories of land use: soils, succession, and crop choice. In: Wood C H and Porro R eds. *Deforestation and land use in the Amazon*. Gainesville: University of Florida Press, 2002. 193—217.

- [8] McConnell W J, Sweeney S P, Mulley B. Physical and social access to land: spatio-temporal patterns of agricultural expansion in Madagascar. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 2004, 101, 171 — 184.
- [9] Braimoh A K, Vlek P L J. Land-cover change trajectories in Northern Ghana. *Environmental Management*, 2005, 36(3): 356 — 373.
- [10] Jepson W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. *The Geographical Journal*, 2005, 171(2): 99 — 111.
- [11] Zhang J T, Pickett S T A. Effects of urbanization on forest vegetation, soils and landscape. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 654 — 658.
- [12] Chen Y H, Li X B, Shi P J. Landscape spatial-temporal pattern analysis on change in the fraction of green vegetation based on remotely sensed data: a case study in Haidian district, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1581 — 1586.
- [13] Song Y C, You W H, Wang X R. *Urban Ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2000. 99.
- [14] Turner B L, Ali A M S. Induced intensification: Agricultural change in bangladesh with implication fot malthus and boserup. *Proceeding of the National Academy of Science USA*, 1996, 93: 14984 — 14991.
- [15] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Romo A. Analysis of Spatial and Temporal Evolution of Vegetation Cover in the Spanish Central Pyrenees: Role of Human Management. *Environmental Management*, 2005, 34(6): 802 — 818.
- [16] Anyamba A, Tucker C J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981 — 2003. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63: 596 — 614.
- [17] Munroe D K, Southworth J, Tucker C M. Modeling spatially and temporally complex land-cover change: The Case of Western Honduras. *The Professional Geographer*, 2004, 56(4): 544 — 559.
- [18] Han G F, Xu J H, Yuan X Z, *et al.* Spatio-temporal Change of Vegetation Distribution in Center Area of Chongqing City from 1988 to 2001. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1412 — 1417.
- [19] Bai W Q, Zhang Y M, Yan J Z, *et al.* Simulation of land use dynamics in the upper reaches of the Dadu river. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 206 — 213.
- [20] Lee J, Wong W S. *Statistical Analysis with ArcView GIS*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2000. 147 — 154.
- [21] O'Sullivan D, Unwin D. *Geographic Information Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002. 186 — 188.
- [22] van der Meer F D. *Spatial Statistics for Remote Sensing*. London: Kluwer Academic Publishers, 2002. 74.
- [23] Wang J C, Guo Z G. *Logistic Regression Models: Methods and Application*. Beijing: Higher Education Press, 2001. 2.
- [24] Yu L, Zhang S Y, Han G F. Spatial feature analysis of alternation of population distribution in Shanghai. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(5): 83 — 87.

参考文献:

- [11] 张金屯, Pickett STA. 城市化对森林植被、土壤和景观的影响. *生态学报*, 1999, 19(5): 654 ~ 658.
- [12] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 基于遥感的植被覆盖变化景观分析——以北京海淀区为例. *生态学报*, 2002, 22(10): 1581 ~ 1586.
- [13] 宋永昌, 由文辉, 王祥荣. *城市生态学*. 上海: 华东师范大学出版社, 2000. 99.
- [18] 韩贵锋, 徐建华, 袁兴中, 等. 1988 ~ 2001 年重庆市主城区植被的时空变化特征分析. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1412 ~ 1417.
- [19] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析. *地理研究*, 2005, 24(2): 206 ~ 213.
- [23] 王济川, 郭志刚. *Logistic 回归模型——方法与应用*. 北京: 高等教育出版社, 2001. 2.
- [24] 俞路, 张善余, 韩贵锋. 上海市人口分布变动的空间特征分析. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(5): 83 ~ 87.