

近十几年来南京市土地利用结构变化特征研究

周生路¹ 朱青¹ 赵其国²

(1 南京大学城市与资源学系 南京 210093; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 该文以 1985、1992、1996、2000、2002 年 5 个典型年份南京市各土地利用类型面积的调查数据为基础资料,运用景观生态学结构定量分析方法对南京市十几年来土地利用结构特征的变化进行了研究,并在此基础上分析了造成这种变化的主要驱动力及其驱动机制。研究表明:①该方法能够很好地揭示南京市十几年来土地利用结构特征的变化规律;②南京市土地利用结构变化特征为:土地利用结构更趋于多样化和平均化,土地利用类型的异质性加强,且在 2000 年到 2002 年该变化更加明显;③南京市土地利用结构特征变化受到经济发展、人口增加、基础设施建设、产业结构调整、土地政策波动等因素的强烈影响。

关键词 景观生态学;土地利用结构;时间变化;南京市

中图分类号 F062.1

土地利用是人类采用一定技术手段有目的地开发利用土地资源,将土地自然生态系统改变为人工生态系统的活动,包括自然和人文过程。一个地区的土地利用结构状况在很大程度上反映了该地区自然资源及社会经济结构状况^[1]。而一定时间序列内不同土地利用方式在区域空间上的置换与更替,是实现区域土地利用动态优化配置的重要前提与途径^[2]。因此,研究土地利用结构特征及其时间变化是研究一个地区自然条件、资源和社会经济发展区域结构及其优化配置的重要途径之一,对区域产业布局、土地合理利用具有指导意义^[3,4]。当前南京沿江开发如火如荼,土地利用结构的优化调整是开发中的重要问题,而该优化调整应该是建立在对南京近十几年来土地利用结构特征变化研究的背景之上的,因此研究南京市土地利用结构的变化特征对沿江开发战略的实施具有很强的现实意义。

南京市位于“长三角”经济发达区,地跨长江南北岸,是我国东部江、河、铁路、公路及航空交通枢纽,又是江苏省政治、经济和科学文化中心,经济条件较好。下辖 11 区 2 县^[5,6]。改革开放以来,为适应经济的飞速发展,南京市土地利用结构不断调整,因此选择南京市为研究对象具有很强的典型性和代表性。

1 研究材料与方法

1.1 研究材料

本研究以 1985 年代表改革开放初期典型年,1992 年和 1996 年代表改革开放至今中间时期的典型年,2000 年和 2002 年代表近期的典型年。采用各典型年南京 8 大类土地利用类型面积的详查数据为研究材料(表 1)。

1.2 研究方法

从表 1 发现,南京市各典型年土地总面积存在微小差异(仅为总面积的 1%左右),这是由于南京与周边城市在界线划分上的调整所致。为了消除各典型年总面积差异带来的影响,采用取这 5 个典型年土地总面积平均值的方法得到一个统一数据,并按原本的面积比例分配给各个地类,以此作为分析计算的基础数据。

本研究采用景观生态学中结构数量分析的方法对南京市土地利用结构的时间变化特征进行研究^[1,7~10]。具体分析指标及公式如下:

1.2.1 多样性分析 采用吉布斯-马丁多样化指数(GM)和景观类型多样性指数(H)来分析:计算公式为:

$$GM_i = 1 - \frac{\sum_{j=1}^8 X_{ij}^2}{\left(\sum_{j=1}^8 X_{ij}\right)^2} \quad (1)$$

①本文为南京沿江开发院士咨询考察报告的部分内容。

表1 南京各土地利用类型及面积分布
Table 1 Types and acreages of land use in Nanjing

年份	面积分布	总计	耕地	园地	林地	牧草地	居民点 及工矿	交通 用地	水域	未利用地
1985	面积 (万 hm ²)	65.20	32.49	1.02	6.25	0.58	7.73	1.06	14.43	1.64
	比例 (%)	100.00	49.83	1.56	9.58	0.90	11.85	1.63	22.13	2.52
1992	面积 (万 hm ²)	65.24	31.59	0.98	6.73	0.17	8.00	1.11	14.55	2.11
	比例 (%)	100.00	48.42	1.51	10.31	0.27	12.27	1.71	22.30	3.23
1996	面积 (万 hm ²)	65.97	30.94	1.08	6.09	0.17	9.73	1.26	14.61	2.09
	比例 (%)	100.00	46.89	1.64	9.24	0.25	14.75	1.91	22.15	3.16
2000	面积 (万 hm ²)	65.20	30.10	1.13	5.45	0.19	10.19	1.45	14.57	2.12
	比例 (%)	100.00	46.17	1.73	8.35	0.29	15.63	2.22	22.36	3.26
2002	面积 (万 hm ²)	65.87	26.24	1.03	7.18	0.07	11.54	1.86	14.69	3.26
	比例 (%)	100.00	39.84	1.56	10.90	0.11	17.52	2.82	22.29	4.95

注：数据来源：《南京土地资源》及《南京市土地利用总体规划》。

式中：GM_i—第 i 年南京市土地利用结构的多样化指数；X_{ij}—第 i 年南京市第 j 种利用类型土地的面积。

$$H_i = - \sum_{j=1}^8 P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

式中：H_i—第 i 年南京市土地利用结构的多样性指数；P_{ij}—第 i 年南京市第 j 种土地利用类型的面积比例。

1.2.2 集中性分析 集中性分析主要用于揭示研究区各土地利用类型面积分配的聚集程度及主要土地利用类型对整个研究区的控制程度。本研究采用优势度指数、均匀度指数进行分析。

(1) 优势度指数(D)：该指数用于测度区域土地利用类型结构中占支配地位的那一个或几个利用类型的控制程度，计算公式为：

$$D_i = H_{\max} + \sum_{j=1}^8 P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

$$H_{\max} = \ln(m) \quad (4)$$

式中：D_i—第 i 年南京市土地利用结构的优势度指数；m—给定区域最大的土地利用类型数，此处为 8；H_{max}—当南京市内各利用类型土地面积比例相等时的多样性指数；其余参数意义同上。

(2) 均匀度指数(E)：用于表征各土地利用类型的分配均匀度，计算公式为：

$$E_i = H_i / H_{\max} \times 100\% \quad (5)$$

$$H_j = - \ln \left(\sum_{j=1}^8 (P_{ij})^2 \right) \quad (6)$$

式中：E_i—第 i 年南京市土地利用结构的均匀度指数；H_j—修正后的 Simpson 指数；其余参数的定义同前。

一般而言，上述各指数之间存在一定的此消彼长关系。优势度指数常常与多样性指数、多样化指数、均匀度指数的变化规律相反。这是因为土地利用结构越多样化、均匀化，其主要几种土地利用类型对整个研究对象的控制程度就越低，优势度指数也就越小。

1.2.3 组合类型分析 土地利用的组合类型分析采用威弗-托马斯组合系数法。其步骤为：①把各种土地利用类型的面积比例由大到小排列。②假设全部土地都为面积比例最大的那一种土地利用类型时，这一土地利用类型的假设分布为 100%，其他土地利用类型的假设分布为 0；如果全部土地仅为面积比例最大的那两种土地利用类型且分布平均，那么这两种土地利用类型的假设分布各为 50%，其他土地利用类型的假设分布为 0；依此类推，如果全部土地平均分配给 8 种土地利用类型，则各土地利用类型的假设分布为 12.50%。③计算和比较每种假设分布与实际分布之差的平方和（组合系数）。④选择假设分布与实际分布之差的平方和最小的假设分布类型（即最小组合系数对应的类型）为该区域的土地利用组合类型。

1.2.4 道路切割破碎化分析 破碎化程度高低

与土地利用类型的异质性正相关，由线状地物切割和类型图斑大小等决定。由于早期各典型年准确图斑信息不可获得，本研究主要针对线状地物的切割进行分析。由于切割作用主要为道路、水系等的切割，而水系在该时间域内变化不大，因此这里主要针对道路网引起的破碎化进行分析，采用单位面积上的交通用地面积作为定量分析的指标。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构变化特征分析

由图 1 可知，表征南京市土地利用类型分配多样性的多样性指数、多样化指数以及表征土地利用结构均匀程度的均匀度指数都呈上升趋势；而表征最主要的几种土地利用类型对南京市土地利用控制程度的优势度指数却呈减少的趋势。这与这几个系

数间此消彼长的关系基本一致。说明从 1985 年以来南京市各土地利用类型的面积分配更趋于平均化和多样化。自 1985 年以来南京市土地利用组合类型的变化不大，但 2002 年对整个南京市的影响最大利用组合类型在原先的耕地、水域、居民点及工矿用地的基础上增加了林地（表 2）。从图 2 可以看出：自 1985 年以来南京市单位面积上的交通用地面积可分为相对低速发展时期（1985~1992 年）、中速发展时期（1992~2000 年）和相对高速发展时期（2000~2002 年）。这表明南京市土地利用类型的异质性也应大致遵循该变化规律。图 1、图 2 和表 2 的结果有一共同之处，即从 2000 年到 2002 年各计算结果变化最为剧烈，说明南京市土地利用结构特征在 2000 年到 2002 年存在一个较强的变化。

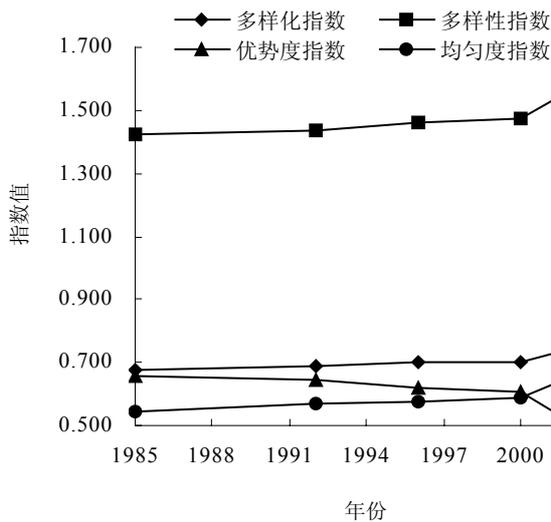


图 1 南京市各典型年份土地利用结构的多样性、多样化、优势度和均匀度指数

Fig. 1 Diversity, centrality, superiority and homogeneity indexes of land-use structure in each representative year in Nanjing

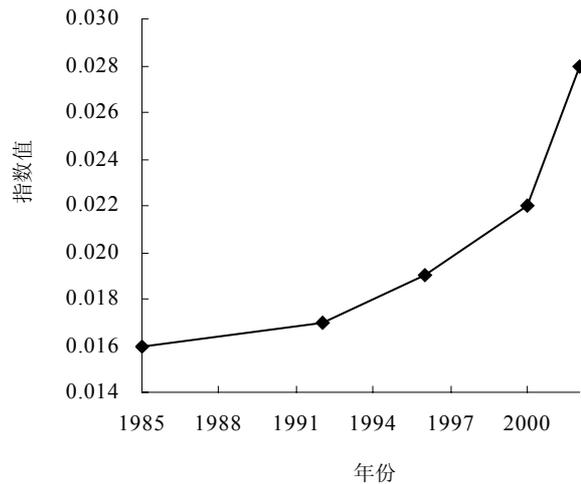


图 2 南京市各典型年份交通用地面积比例

Fig. 2 Proportion of the acreage of land used for transportation in each representative year in Nanjing

表 2 南京市各典型年份土地利用组合类型分析结果

Table 2 Types of land use combination in each representative year in Nanjing

年份	组合系数	组合类型数	组合类型
1985	963.31	3	耕地+水域+居民点及工矿用地
1992	907.67	3	耕地+水域+居民点及工矿用地
1996	756.01	3	耕地+水域+居民点及工矿用地
2000	684.1	3	耕地+水域+居民点及工矿用地
2002	517.17	4	耕地+水域+居民点及工矿用地+林地

结合表 1 可以发现，南京市土地利用结构的多样性、均匀度增强而优势度减弱是由于土地利用结构中占有绝对优势的耕地的面积比例不断减少，而居民点及工矿用地、交通用地等土地利用类型的面积比例不断增加，使得各利用类型土地的面积分配更趋于平均和多样造成的。根据相关系数的计算结

果（表 3），可以看出南京市土地利用结构的多样性、均匀度指数与耕地面积比例负相关，与居民点及工矿用地、交通用地面积比例正相关；而优势度指数却相反。此外，南京林地的面积比例在 2000 年到 2002 年从 8.35 %变化到 10.90 %（表 1），使得组合类型分析结果在 2002 年时增加了林地。

表 3 主要用地类型面积比例与各指数和各驱动因素的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of the percentage of acreage with various indexes and driving factors of the major types of land use

	耕地面积比例	居民点及工矿用地面积比例	交通用地面积比例
多样化指数 GM	-0.999**	0.929*	0.982**
多样性指数 H	-0.987**	0.913*	0.980**
优势度指数 D	0.986**	-0.911*	-0.979**
均匀度指数 E	-0.999**	0.914*	0.977**
GDP	-0.908*	0.987**	0.944*
人口数	-0.881*	0.918*	0.867*

注：*为在 0.05 的置信水平显著，**为在 0.01 的置信水平显著。

2.2 驱动力机制分析

驱动力机制用于分析区域土地利用结构特征变化的主要自然和社会经济驱动因素及其驱动机理。从一个区域来看，在一定时期内其驱动因素主要是社会经济政策因素，而自然因素相对稳定。总的来说，造成南京市土地利用结构特征变化的驱动力可归结为以下几个：

(1) 经济发展。经济发展速度的周期性决定了建设用地扩展速度的周期性。当经济高速发展时，带来的实际收入和城建投资增加，促进了城镇化进程及城市空间的扩展，使得大量农业人口流入城镇，导致建设用地增加而耕地减少。表 4 中各典型年份 GDP 总量为经济发展指标与各用地类型面积比例相

关分析的结果验证了它们之间的高度相关性。

(2) 人口增长。人口增加，使得用来满足居住、交通、就业以及娱乐休息等的土地的需求量增大，客观上导致了耕地的减少而交通用地、居住用地增加，使得南京市土地利用结构特征发生了变化。表 4 采用各典型年份的人口数与各用地类型面积比例进行相关分析，验证了人口增长对土地利用结构的影响。

(3) 产业结构调整。产业结构调整可以看作是人们根据市场导向，因地制宜，合理利用土地进行经济活动的过程。因此产业结构的调整必然会引起土地利用结构的变化。如第一产业经济地位的降低使得耕地保护难度加大，导致了耕地被占用；而第二产业地位的衰落使得其被迫放弃城市中心的大片土地，转而向城郊发展，占用耕地。

(4) 基础设施建设。十几年来，南京市的基础设施建设如火如荼，建成了四通八达的铁路、公路网，修建了较长的堤防，建造了多座水库。而基础设施建设需要占用大量土地，尤其是占用耕地，如禄口机场占地达 1000 多公顷。

(5) 土地政策波动。国家土地政策的张弛，倾斜点的变化都会引起土地利用结构的变动。如近几年来封山育林、退耕还林等政策的实施是导致南京市林地面积增加、土地利用组合类型在 2002 年出现

表 4 南京市各典型年份 GDP 总量、人口数和第一产业 GDP 份额值

Table 4 GDP, population and share of the primary industry in GDP in each representative year in Nanjing

年份	GDP 总量 (亿元)	人口数 (万人)	第一产业 GDP 份额 (%)
1985 年	79.84	465.77	13.10
1992 年	246.88	510.05	7.93
1996 年	670.61	525.43	6.64
2000 年	1021.30	544.89	5.39
2002 年	1295.00	563.28	4.82

注：数据来源：《南京统计年鉴》（1986~2003）。

林地的主要原因。上世纪 80 年代国家提倡大力发展乡镇工业，耕地大量被占用。而 1986 年以后，《土地管理法》颁布，耕地减少趋势得到了有效控制。90 年代初由于经济过热，到处建立开发区，开发房地产，又出现了耕地减少失控的现象。之后几年由于国家加强了宏观经济调控，实施土地用途管制，耕地减少的趋势得到有效缓解。但近几年由于各地招商引资的盲目无序竞争，耕地减少趋势加剧。

采用各典型年份南京市第一产业 GDP 占 GDP 总额的百分比为产业结构调整的反应指标，选取南京市 1985 年以来各年耕地 (Y₁)、居民点及工矿用地 (Y₂)、交通用地面积比例 (Y₃) 为因变量，GDP 总量 (X₁)、人口总量 (X₂)、第一产业 GDP 份额 (X₃) 为自变量，建立南京市土地利用结构变化的预测及驱动多元线性回归模型如下：

$$Y_1 = -1.48E-3X_1 - 0.160X_2 - 1.163X_3 + 139.647$$

$$R^2 = 0.907 \text{ (通过 1\% 的显著性检验)}$$

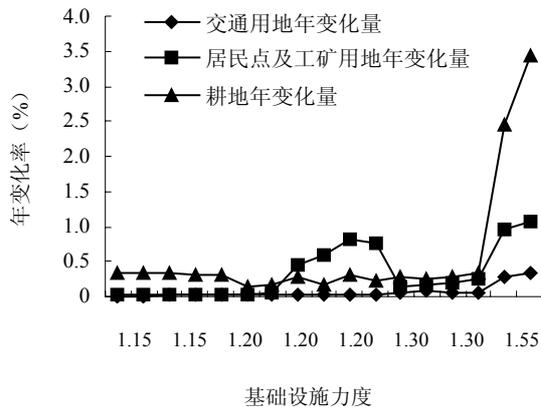


图 3 南京市主要用地类型年变化量随基础设施力度值变化

Fig. 3 Annual variation of the main types of land-use with the intensity of infrastructure construction in Nanning

由图 3、图 4 可以看出，3 种主要用地类型的变化量随基础设施建设力度变化的增大而基本呈增大趋势，而随耕地保护政策力度的减小而基本呈增大趋势。由此证实了基础设施建设和政策波动对南京市土地利用结构变化的驱动作用。

2.3 土地利用结构变化存在的问题与基本对策

近十几年来南京市土地利用结构特征的变化，客观上与经济飞速发展是相适应的，它为经济增长提供了充足的土地生产要素，并依托城镇和非农用

$$Y_2 = 5.287E-3X_1 - 5.34E-3X_2 + 6.160E-2X_3 + 13.152$$

$$R^2 = 0.989 \text{ (通过 1\% 的显著性检验)}$$

$$Y_3 = 4.789E-4X_1 + 1.621E-2X_2 + 0.140X_3 - 7.814$$

$$R^2 = 0.944 \text{ (通过 1\% 的显著性检验)}$$

可见，3 个模型拟合度都很好，因此它们对南京市土地利用变化预测及揭示这些因素对土地利用结构变化的驱动作用有较强的意义。

由于基础设施建设力度及土地政策波动影响的是土地利用结构变化的速度，因此不便引入上述的回归模型中。本研究采用特尔非法对南京市十几年来各时间段基础设施建设及耕地保护的力度量化^[11]，得到各主要时间段基础设施建设力度及耕地保护力度分别为：1978~1985 年：“1.00”和“1.00”；1986~1990 年：“1.15”和“1.20”；1991~1995 年：“1.20”和“1.05”；1996~1999 年：“1.30”和“1.15”；2000~2001 年：“1.55”和“0.85”；2002 年：“1.65”和“0.85”。将其与 3 种主要用地类型各年份的变化量绘制成图 3 和图 4。

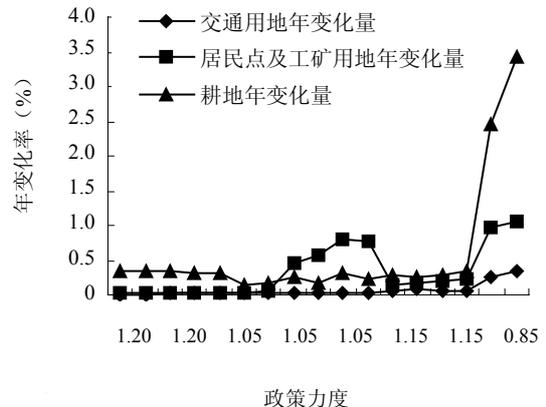


图 4 南京市主要用地类型年变化量随耕地保护建设力度值变化

Fig. 4 Annual variation of the main types of land-use with the intensity of farmland conservation

地的扩张形成了经济发展规模效应和集约效应，促进了经济的增长。但同时这也造成了一系列负面影响。主要表现在建设用地的迅速扩张和耕地面积急剧减少，耕地资源的保护不力且难度加大以及生态环境受到城市、社会和经济发展的强烈冲击上。

为了解决上述的问题，应以提高土地整体利用效率为前提，在“开源节流”的基础上，协调经济发展、人口增长与耕地保护的矛盾。“开源”主要体现在两方面：①调整种植制度、加强土壤保护与改良、

引进高产优质作物品种以充分挖掘农用地的生产潜力；②通过土地复垦、整理和开发等工作，综合开发利用土地的后备资源。“节流”主要体现在集约化利用非农用地，提高非农用地的经济产出能力上。通过优化产业布局、调整农村居民点布设等措施，提高土地利用效率。此外，为了保护生态环境，还应合理布局产业及环境保护规划，严格控制污染物排放，发展循环经济，实现废弃污染物的减量化、再利用和资源化（3R）。

3 结论

(1) 以 1985、1992、1996、2000、2002 年 5 个典型年份南京市各土地利用类型面积资料为基础数据，运用景观生态学方法对南京市土地利用结构的时间变化进行定量分析，能够很好地揭示南京市十几年来土地利用结构特征的变化规律。

(2) 南京市土地利用结构特征变化规律为：土地利用结构的多样性、均匀度、单位面积上的交通用地面积均呈增加趋势，而优势度呈减弱趋势，尤其是 2000 年到 2002 年这些变化更加明显。此外，2002 年南京市土地利用组合类型分析结果在原先耕地、水域、居民点及工矿用地的基础上增加了林地。这意味着南京市土地利用结构更趋于多样化和平均化，土地利用的异质性加强。

(3) 南京市土地利用结构特征的变化受到经济发展、人口增加、基础设施建设、产业结构调整、

土地政策波动等因素的影响。

参考文献

- 1 周生路, 黄劲松. 东南沿海低山丘陵区土地利用结构的地域分异研究. 土壤学报, 2003, 40 (1): 37 ~ 45
- 2 刘彦随, 方创琳. 区域土地利用类型的胁迫转换与优化配置. 自然资源学报, 2001, 16 (4): 334 ~ 340
- 3 刘立诚. 新疆土地类型结构及其合理利用. 新疆大学学报, 1994, 11 (1): 91 ~ 96
- 4 Wang SQ, Zhou Y, Dong YH, Yang LZ. Design and applications of land resources and ecological environment information system. Pedosphere, 2002, 12 (4): 373 ~ 381
- 5 苏璧耀. 南京市土地生产潜力研究. 南京师范大学学报(自然科学版), 1995, 18 (4): 155 ~ 161
- 6 陆跃进, 周生路. 南京城区土地出让价格时空变异研究. 土壤, 2003, 35 (3): 216 ~ 221
- 7 王胜. 景观结构特征数量化方法概述. 河北林果研究, 1999, 14 (2): 126 ~ 132
- 8 唐礼俊. 佘山风景区景观空间格局分析及其规划初探. 地理学报, 1998, 53 (5): 429 ~ 437
- 9 刘闯. 区域土地数量结构分析模型及其应用. 中国土地科学, 1989, (3): 31 ~ 38
- 10 李团胜, 肖笃宁. 沈阳市城市景观结构分析. 地理科学, 2002, 22 (6): 717 ~ 723.
- 11 关劲峤, 黄贤金, 刘红明, 刘晓磊, 陈雯. 太湖流域水环境变化的货币成本及环境治理政策实施效果分析. 湖泊科学, 2003, 15 (3): 275 ~ 279

VARIATION OF LAND-USE STRUCTURE IN NANJING OVER THE LAST DECADE

ZHOU Sheng-lu¹ ZHU Qing¹ ZHAO Qi-guo²

(¹ Department of Urban and Resource Science, Nanjing University, Nanjing 210093;

² Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Based on the 1985, 1992, 1996, 2000 and 2002 statistics of acreages of land under different land use, this paper adopted the structural quantitative analysis method of the landscape ecology in its research on variation of land-use structure in Nanjing from 1985 to 2002. And then driving forces and mechanisms of the variation were analyzed. The results showed: ①this method could reveal law of the variation; ②the variation was characterized by: increased diversification, evenness and heterogeneity, which was especially distinct from 2000 to 2002; ③the variation was strongly subject to influence of the factors, such as economic development, increasing population, infrastructure construction, industrial restructuring and change in land policy.

Key words Landscape ecology; Land-use structure, Temporal changes, Nanjing City