

引用格式: 乔伟峰, 毛广雄, 王亚华, 等. 近32年来南京城市扩展与土地利用演变研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(2): 200-209. [Qiao W F, Mao G X, Wang Y H, *et al.* 2016. Research on urban expansion and land use change in Nanjing over the past 32 years. Journal of Geo-information Science, 18(2): 200-209.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00200

近32年来南京城市扩展与土地利用演变研究

乔伟峰^{1,3,4}, 毛广雄², 王亚华^{1,4*}, 陈月娇¹

1. 南京师范大学新型城镇化与土地问题研究中心, 南京 210023; 2. 淮阴师范学院城市与环境学院, 淮安 223300; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

Research on Urban Expansion and Land Use Change in Nanjing over the Past 32 Years

QIAO Weifeng^{1,3,4}, MAO Guangxiong², WANG Yahua^{1,4*} and CHEN Yuejiao¹

1. New Urbanization and Rural Land Problem Research Center, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. School of Urban and Environment, Huaiyin Normal University, Huai'an 223300, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: Based on the highly accurate classification results of 6 years extracted from the remote sensing images from 1980-2012, a detailed research of the long cycled and multi-period of the land use layout and structure evolution caused by urban expansion in the expansion areas of Nanjing was implemented. The expansion intensity equal fan analysis method and transfer matrix data mining method were applied in this paper. During the application of the transfer matrix, the meaning of land use net change, swap change and total change was analyzed, the calculation method was summarized, and the calculation model of land use dynamic degree was improved to better depict the dynamic change of land use. The results show that the direction of the urban expansion was extremely uneven among the 5 periods in the 32 years. The main direction of expansion had shifted from northeast to southeast and then to southwest, and the expansion intensity had expanded considerably after the year of 2000. In the constitution of the total changes, the proportion of the net change in the arable land was close to the proportion of the swap change, and the arable land area was under a net reduction. In the meantime, the transfer of its spatial position was also significant. The net change played a main role in the urban construction land, urban green land, mining land and bare land, while the scope of water and rural construction land was mainly represented by the swap change. After the year of 2000, the average annual total change in the arable land and urban construction land of each period is significantly higher than before, and reached its highest value in 2004-2008 while dropped afterwards in 2008-2012. The land use dynamic degree in each kind of land use is relatively high over the past 32 years, and the dynamic degree values of the urban green land, rural construction land and urban construction land were higher than 90%. Studies of the total land use dynamic degree reflect that the urban expansion in Nanjing over the past 32 years has experienced four main stages: the accelerated evolution, the gradually slow in changing, the rapid evolution, and the integration and reconstruction.

Key words: transfer matrix; urban expansion area; land use change; Nanjing

***Corresponding author:** WANG Yahua, E-mail: wangyahu@njnu.edu.cn

收稿日期 2015-08-19; 修回日期: 2015-09-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371172, 41271135); 中国博士后科学基金面上项目与重点资助项目(2014M561040、2015T80127); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(164320H101)。

作者简介: 乔伟峰(1975-), 男, 江苏徐州人, 博士后, 副教授, 主要从事土地资源管理和GIS应用研究。

E-mail: qiaoweifeng@njnu.edu.cn

*通讯作者: 王亚华(1975-), 男, 江苏东台人, 博士, 高级实验师, 主要从事土地利用与城乡发展研究。

E-mail: wangyahu@njnu.edu.cn

摘要 基于1980–2012年6个时相的遥感影像分类成果,运用扩展强度的等扇分析和土地利用转移矩阵对南京市城市扩展区由城市扩展引起的土地利用布局、结构演化进行了长周期、多时段的研究。结果表明:32年间5个阶段城市扩展的方向极不均匀,城市经历了东北–东南–西南的扩展演化过程,2000年之后的扩展强度显著扩大;在总变化量的构成中,耕地净变化量和交换变化量所占的比重较为接近,在面积净减少的同时,空间位置的转移也较为突出;城市建设用地、城市绿地、采矿用地与裸地以净变化为主,水面、村镇建设用地以交换变化为主;2000年后,各时段耕地和城市建设用地年均总变化量远高于2000年之前,以2004–2008年的值最高,2008–2012年有所回落;32年间各单项类型动态度均较高,城市绿地、村镇建设用地和城市建设用地均达90%以上;综合动态度的结果揭示32年来南京城市的扩展历经了加速演变–变化趋缓–剧烈演变–整合重构4个主要阶段。

关键词 城市扩展;土地利用演变;转移矩阵;南京市

1 引言

近30年来,随着全球化进程的加速,以建设用地扩展为主要内容的城市规模扩大成为各国参与国际竞争的重要内容^[1–2]。中国是世界上最大的发展中国家,自1978年实施改革开放政策以来,随着经济的高速发展,城镇化进程大大加快,城市规模迅速扩展^[3–5]。在城市周边地区,城市扩展是土地利用演变的最主要因素,城市扩展必定占用周边地区的大量土地,使得城市扩展区的土地利用结构发生巨大变化。当前,国内外学者在城镇扩展方面的研究中,涉及城市扩展的特点^[6]、城市扩展的模式^[7]、城市扩展阶段划分^[8]、城市扩展的区域差异^[9]、城市扩展的动力^[10–11]和相关对策研究等^[12],关注城市扩展及由此带来的土地利用布局变化^[13]、耕地减少和粮食安全问题^[14],研究涉及各个尺度,包括全国^[15]、城镇群^[16–18]和重点城市^[7–8,19–22]。进入21世纪以来,基于RS技术和GIS技术的城市空间形态、空间扩展定量化研究得到了更加充分的发展与完善^[23–24]。

关于城市扩展区中由城市扩展引致的土地利用演化的长周期、多时段研究,当前文献较少涉及。本研究以城镇扩展、土地利用变化研究热点区域——长江三角洲中心城市之一南京市为研究对象,以南京市城市扩展区为研究范围,以城市扩展引起的区域土地利用布局和结构变化为切入点,采用多时相的遥感分类成果和GIS技术,通过等扇分析和转移矩阵等研究方法,分析长周期内的城市扩展方向、扩展强度、扩展阶段特征及由此带来的城市周边土地占用和城市扩展区土地利用结构变化特点。本研究对于探寻研究区城市扩展与土地利用演变的关系和研究城市规模控制边界等具有重要意义。

2 研究区域特征与数据源

2.1 研究区域

南京市位于江苏省西南部,介于东经118°22′~

119°14′、北纬31°14′~32°37′之间。作为长江三角洲最为重要的经济中心之一,其城市空间扩展及土地利用演变具有一定的典型性和代表性。2012年南京市辖11个区和2个县,本研究的范围为南京市的市辖区,亦是南京市的城市扩展区,总面积4733 km²。该区域是南京市城市发展和土地利用变化最快的区域,自1978年改革开放以来,南京市的城市建成区范围由以老城区为主的区域扩展为当前一个主城、3个副城(东山、仙林、江北)的布局,且形成了主城、副城相接的发展格局。研究范围的选择以县区级行政界线为边界,包括了全部城市扩展区域,以开展区域城市扩展与土地利用结构演变的研究(图1)。

2.2 研究数据

考虑到数据的可获得性、分辨率的一致性和数

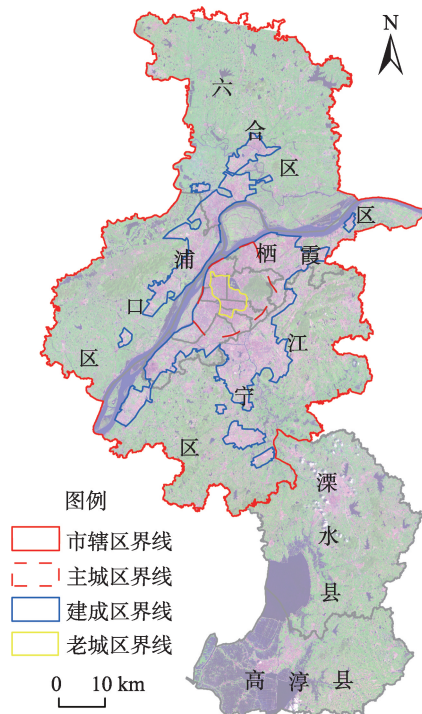


图1 研究范围

Fig. 1 The scope of study

据的连续性,选择美国 Landsat 系列卫星影像作为本研究的数据源,数据来自美国地质勘探局(United States Geological Survey, USGS)网站,景号 120/038 和 120/037 的遥感数据说明见表 1。

遥感数据获取后,对 1980 年的 MSS 影像采用最大似然监督分类法提取影像信息,对 TM/ETM+ 影像采用基于知识与规则的分层信息提取方法进行

行分类^[25]。分类时将土地利用类别尽量细化,最终形成耕地、林地、水面、城市建设用地、城市绿地、村镇建设用地、采矿用地与裸地 7 类。对于 TM/ETM+ 影像,在 7 类逐一进行高精度的提取后,对各类进行镶嵌处理,形成各年份的南京市土地利用分类图(图 2),采用混淆矩阵(误差矩阵)法,以总体精度和 Kappa 系数为评价指标进行精度评估,分类总体精度高于 87%,Kappa 系数也高于 0.84^[26]。

表 1 遥感数据说明

Tab. 1 Instruction of the remote sensing data

数据采集时间	传感器	分辨率/m	
		多光谱	全色
1980-09-10	MSS	80	
1990-08-31	TM	30	
2000-09-16	TM	30	
2004-04-04	ETM+	30	15
2008-08-19	ETM+	30	15
2012-05-28	ETM+	30	15

3 城市扩展与土地利用演变分析方法

3.1 研究分析方法

(1) 扩展强度的等扇分析

扩展强度指数是指研究区域在研究时期内的城市用地扩展面积占研究区总面积的百分比。城市扩展强度指数实质是用研究区土地总面积对其

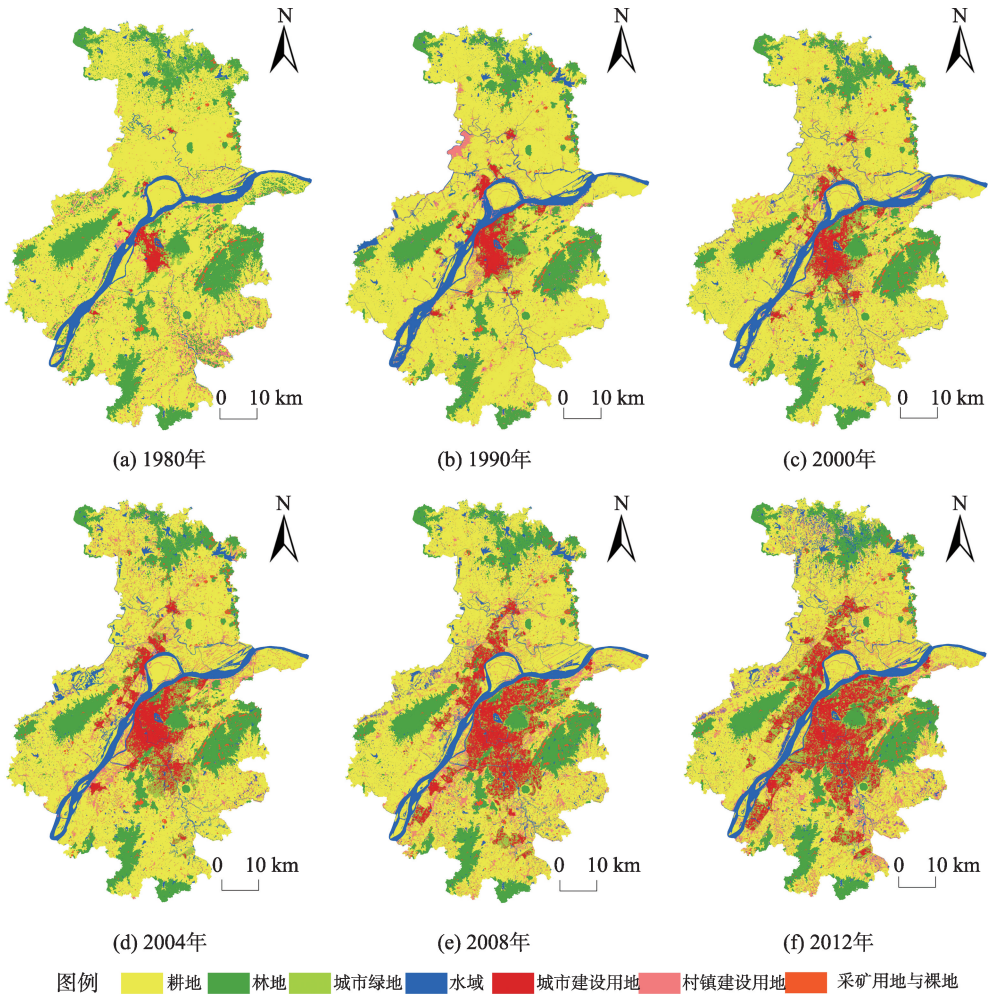


图 2 南京市土地利用分类图(1980-2012年)

Fig. 2 Land use classification maps of Nanjing from 1980-2012

年平均扩展速度进行标准化处理,使不同时期城市土地利用扩展的速度具有可比性^[7]。扩展强度指数的表达式为式(1):

$$R = [(A_e - A_b) / T] \times 100 / S \quad (1)$$

式中: R 为扩展强度; A_b 为研究初期城市用地面积; A_e 为研究末期城市用地面积; T 为时间间隔; S 为城市建成区总面积。

等扇分析方法指以研究区中心为圆心,选取适当角度将研究区划分成若干相等的扇形区域,与各时期城市用地扩展信息进行GIS叠加,通过计算不同方位的扩展强度可描述扩展强度的方向差异。

(2) 基于土地利用转移矩阵的分析

土地利用转移矩阵反映研究区某一时段各类面积之间相互转化的动态过程(表2)。表中期初类型与期末类型之间的部分即为土地利用转移矩阵。转移矩阵中各行上的元素表示转移前的类向转移后的类流向信息。转移矩阵各行之和为类型期初面积,各行之和减去对角线元素值为类型期内减少量;转移矩阵各列之和为类型的期末面积,各列之和减去对角线元素值为类型期内增加量。

① 类型变化量

类型变化量包括净变化量、交换变化量、总变化量3类^[27]。各土地利用类型的净变化量为某类期末面积与期初面积之差的绝对值。对于 a 类型来说,净变化量 N 的计算公式为式(2):

$$N = \left| \sum_{j=1}^n S_{ia} - \sum_{j=1}^n S_{aj} \right| \quad (2)$$

由于土地利用的特性,仅仅采用净变化量进行分析难以反映土地利用真实的动态演变过程。需通过定量和定位的空间分析方法,揭示隐含的信息。土地利用的交换变化量就是定量分析一个类

在一个地方转换为其他类,同时在另外的地方又有其他的类转换为该类的方法^[28]。对 a 类说,交换变化量 S 的计算公式为式(3):

$$S = 2 \times \min((\sum_{i=1}^n S_{ia} - S_{aa}), (\sum_{j=1}^n S_{aj} - S_{aa})) \quad (3)$$

总变化量是净变化量和交换变化量之和,代表某土地利用类型景观的总变化量。对于 a 类来说,总变化量 T 的计算公式为式(4):

$$T = N + S = \sum_{i=1}^n S_{ia} + \sum_{j=1}^n S_{aj} - 2S_{aa} \quad (4)$$

② 类型动态度

类型动态度分为单项类型动态度和综合土地利用动态度。

单项类型动态度反映某类在转移时段的活跃程度,即某种土地利用类型转化为其它非该种土地利用类型的面积之和与研究时段初该种土地利用类型面积之比,但这一定义中,对于那些转化慢,但增长快的土地利用类型动态变化程度被严重低估,因此,采用某类型的总变化量与总变化量和未变化量的和之比对该指标进行改造。对于 a 类来说,单项类型动态度 D 的计算公式为式(5):

$$D = \frac{T_a}{T_a + S_{aa}} \times 100\% \quad (5)$$

综合动态度反映研究区域内总的景观活跃度,即一定时期内发生变化的土地面积占区域土地总面积之比,在土地利用演变驱动因素以人文因素为主导的地区,该指标能在一定程度上反映人类对土地利用的影响程度。综合动态度 D_z 的计算公式为式(6):

$$D_z = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} - \sum_{i=1}^n S_{ii}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij}} \times 100\% \quad (6)$$

表2 土地利用转移矩阵

Tab. 2 The transfer matrix among the land use types

期初类型	期末类型				期初面积	期内减少面积
	耕地	林地	.....	采矿用地与裸地		
耕地	S_{11}	S_{12}	.....	S_{1n}	$\sum_{j=1}^n S_{1j}$	$\sum_{j=1}^n S_{1j} - S_{11}$
园地	S_{21}	S_{22}	.....	S_{2n}	$\sum_{j=1}^n S_{2j}$	$\sum_{j=1}^n S_{2j} - S_{22}$
.....
采矿用地与裸地	S_{n1}	S_{n2}	.....	S_{nn}	$\sum_{j=1}^n S_{nj}$	$\sum_{j=1}^n S_{nj} - S_{nn}$
期末面积	$\sum_{i=1}^n S_{i1}$	$\sum_{i=1}^n S_{i2}$	.....	$\sum_{i=1}^n S_{in}$	$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n S_{ij}$	-
期内增加	$\sum_{i=1}^n S_{i1} - S_{11}$	$\sum_{i=1}^n S_{i2} - S_{22}$	.....	$\sum_{i=1}^n S_{in} - S_{nn}$	-	-

3.2 扩展结果分析

3.2.1 南京都市区城市扩展及其方向差异性

(1) 城市扩展的总体分析

基于6期土地利用分类图,提取生成不同时间的城市建成区边界。将下列区域确定为城市建成区:①以主城和副城为中心,建筑物与主城和副城连为一体的区域;②虽未和主城和副城连成一体,但作为发挥城市重要职能的机场、开发区、大型国有企业等区域;③完全被建筑物包围起来的山体、水域等。将各期边界进行叠置分析,生成建成区扩展变化图(图3)。

1980–2012年是南京市城市空间扩展与用地结构快速调整的时期,南京市的城市边界发生了显著的变化,建成区范围持续扩展。从1980年的133.75 km²(含紫金山)增长到2012年的960.08 km²,32年间,城市建成区面积净增826.33 km²,面积扩大了6倍多。

1980–1990年和1990–2000年,南京的城市年扩展速度分别为12.24 km²和9.8 km²,但与2000年之后的城市扩展速度相比,仍属于低速扩展阶段。1990–2000年南京市城市面积共增长97.99 km²,期间的扩展强度略低于1980–1990年的扩展强度;

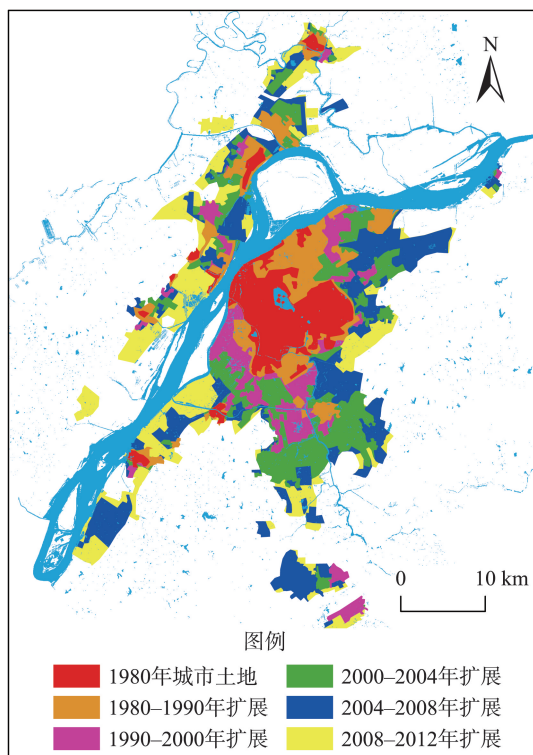


图3 1980–2012年南京建成区扩展变化图

Fig. 3 Map of built-up area expansion in Nanjing

2000年后,随着工业化、城镇化的快速推进,南京市进入到快速城市化阶段,城市建成区面积年均增长达40 km²以上,相当于一个小型城市的规模,2000–2004年、2004–2008年、2008–2012年扩展强度分别为0.95、1.17和1.09,2004–2008年是扩展最快的时期,2008年后随着新一轮土地利用总体规划的实施,扩展强度较2004–2008年有所放缓。随着城市的扩展,南京市的城市形态逐渐演变成“彡”形的格局。

(2) 南京市时空扩展强度分析

在建成区扩展变化图的基础上,以传统的南京市城市中心新街口为圆心,以建成区最远边界为半径作圆,并将圆划分为16个夹角相等的扇形,据此统计南京市不同时段空间扩展强度的方向差异。由于各扇形区域的夹角相等,因此得到的扩展强度在时间和空间上均具可比性。

计算各扇形区域各时间段的扩展强度,然后绘制扩展强度玫瑰图(图4)进行分析。从结果中可看出,在不同历史时段以及不同扩展方向上,南京城市空间扩展强度差异很大。具体表现为:在1980–1990年南京城市空间扩展主要集中于城市的N、NEE、NE 3个方向上,即城市主要扩展的区域为东北方向,其中扩展强度最大为N方向,扩展强度指数达到0.057,NEE方向最小,仅为0.002;1990–2000年,南京城市主要的扩展方向为SSE和S,这与1980–1990年扩展方向夹角较大,表明该时段南京城市开发出现新的热点,此时段SSE扩展强度最高,为0.055,NW最小,仅为0.001;2000–2004年城市扩展的区域主要集中于城市NE、NEE、SE、SSE、S和NNW,表明这一时段,南京城市建设向周边迅速扩展,在各个方向均有不同程度的建设与开发,但比较而言,城市S、SSE和SE方向扩展更为强烈,扩展强度指数分别达到0.174、0.138和0.124,与前2个时段相比扩展的规模和速度都有比较大的提升,城市扩展进入快车道;2004–2008年,南京城市扩展的主要方向集中在SW、S、SE、NEE和N,扩展的方向较为分散,但是扩展的强度却进一步增强;2008–2012年,南京城市扩展的主要方向为SW、NNW和N,即主要集中于城市的西南方向,主要是南京沿江开发所起到的巨大推动作用所致,该方向扩展强度也达到历史的最高峰(SW为0.282)。总体来看,各阶段城市扩展的方向极不均匀,反映了城市扩展的阶段性分区域重点开发特征。

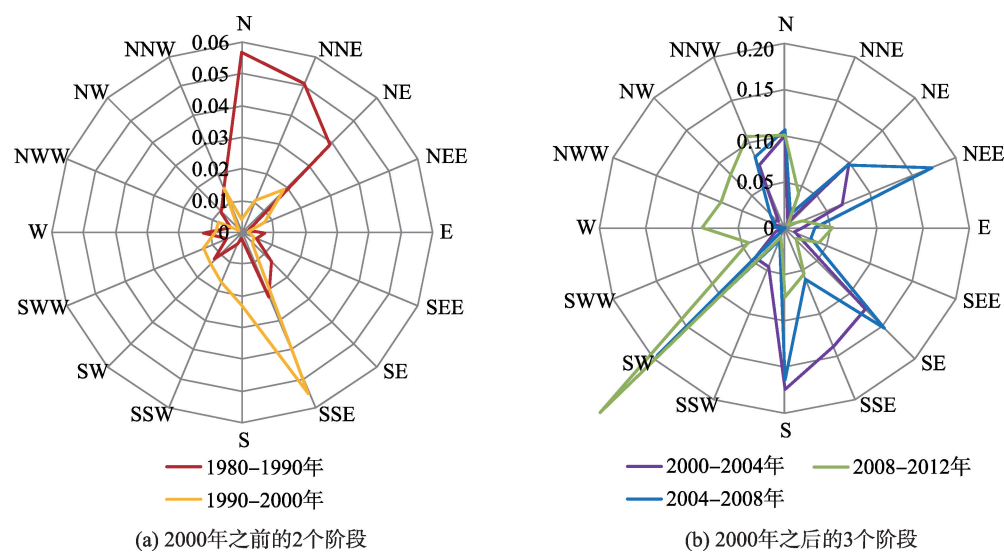


图4 南京市不同时段城市空间扩展强度玫瑰图

Fig. 4 Rose diagram of the urban expansion intensity in different periods in Nanjing

3.2.2 南京都市区土地利用结构演变分析

利用6年的南京城市扩展区土地利用分类数据,按时间顺序进行两两叠置分析,可生成5个不同时段 的类型转移矩阵。叠置分析始末时期的土地利用分类结果生成整个32年间土地利用转移矩阵(表3)。

32年来,南京市耕地主要向城市建设用地、村镇建设用地、水面和城市绿地转变,其中耕地向城市建设用地转变成为这一时期主要的耕地流转方向;林地面积变化也较大,而且林地的转出方向较为多样,其中向耕地和城市建设用地转变的规模较大;水面的变化较为剧烈,主要转变方向为耕地、村镇建设用地和城市建设用地;城市建设用地转出途径较为单一,主要向城市绿地转变,转变的规模也较小,新增城市建设用地的来源主要为耕地;村镇建设用地变化较大,主要转变为耕地、城市建设用

地和水面。

(1)类型变化量

根据式(2)-(4)和表3,计算南京城市扩展区32年来各类土地的净变化量(N)、交换变化量(S)和总变化量(T),计算结果见表4。

1980-2012年耕地的总变化量最大,为167 237 hm^2 ,远远超出其他类的总变化量。在总变化量的构成中,耕地净变化量和交换变化量所占的比重较为接近,在面积净减少的同时,空间位置的转移也较为突出;城市建设用地、城市绿地、采矿用地与裸地等的主导变化是净变化,净变化量占总变化量的比例分别为93%、81%和81%,说明32年间城市建设用地、城市绿地、采矿用地与裸地以数量的增加为主;而水面、村镇建设用地以交换变化为主导,交换变化量占总变化量的72%和67%,表明其变化主要表现为空间位置的转移。

表3 1980-2012年土地利用转移矩阵/ hm^2

Tab. 3 The transfer matrix of land use in 1980-2012 / hm^2

	耕地	林地	城市绿地	水面	城市建设用地	村镇建设用地	采矿用地与裸地	合计
耕地	187 139	3474	24 214	25 820	40 144	34 381	1118	316 290
林地	14 519	65 890	2045	3785	4645	2735	1175	94 793
城市绿地	72	133	874	145	2817	28	2	4071
水面	10 508	501	1414	8464	2751	2901	75	26 614
城市建设用地	133	256	1163	242	4058	51	3	5906
村镇建设用地	12 784	266	1736	2203	3079	2415	61	22 544
采矿用地与裸地	71	54	18	70	23	21	2864	3120
合计	225 225	70 573	31 465	40 729	57 517	42 531	5298	473 338

表4 1980–2012年各类的变化量/hm²Tab. 4 Amount of change for each land type in 1980-2012 /hm²

	期内减少量	期内新增量	净增量	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>N/T</i>
耕地	129 151	38 086	-91 065	91 065	76 172	167 237	54.45
林地	28 903	4683	-24 220	24 220	9365	33 585	72.12
城市绿地	3197	30 591	27 394	27 394	6393	33 787	81.08
水面	18 150	32 265	14 115	14 115	36 299	50 414	28.00
城市建设用地	1848	53 459	51 611	51 611	3695	55 306	93.32
村镇建设用地	20 129	40 116	19 987	19 987	40 259	60 246	33.18
采矿用地与裸地	256	2434	2178	2178	512	2690	80.98

分5期考察本研究的重点耕地和城市建设用地的变化量(表5、6)。

从表5可看出,32年间在2004–2008年耕地的年均总变化量最大,达17 027 hm²,其次是2000–2004年和2008–2012年,年均总变化量为15 123 hm²和13016 hm²,最低的是1990–2000年,年均总变化量为4518 hm²。总体来说,耕地的年总变化量在2000年前较低,2000年后迅速增长,2004–2008年达到峰值,2008–2012年有所回落。从交换变化量和净变化量来看,2000年后比2000年前都有大幅度的增长,对于32年间城市空间迅速扩展的南京城市扩展区来说,净变化量体现为耕地的净减少,2000–2004年、2004–2008年、2008–2012年3个时段平均年净减量比较接近,年均达6000 hm²以上,反映了2000年以后该地区经济加速发展,建设用地迅速扩展,耕地迅速减少。1980–1990年以交换变化量为主,表明耕地的变化主要表现为空间位置的位

移,2000年后,净变化量占总变化量的比例迅速上升,耕地的变化表现为数量的减少。

由表6可知,城市建设用地年均总变化量在2004–2008年最大,达到6349 hm²,其次是2008–2012年和2000–2004年。总体来说,年均总变化量在2000年之前规模较小,2000年之后规模迅速增加,2004–2008年达到峰值,2008–2012年有所回落。在总变化量的构成中,各时段净变化量比重普遍较大,表明该类的变化主要体现为数量的增加。32年间各阶段的年均新增量都远远大于年均减少量,因此年均净增量都是正值。值得一提的是,城市建设用地的减少主要体现在城市建设用地转化为城市绿地上,因城市正处于快速扩展期,城市建设用地很少转化为其他建设用地。

(2) 土地利用动态度

由表7可知,1980–2012年城市绿地、村镇建设

表5 1980–2012年南京市耕地历年变化量/hm²Tab. 5 Amount of change for the arable land in Nanjing in 1980-2012 /hm²

时段	年均减少量	年均新增量	年均净增量	年均 <i>N</i>	年均 <i>S</i>	年均 <i>T</i>
1980–1990	4248.40	4047.20	-201.20	201.20	8094.40	8295.60
1990–2000	2858.00	1660.10	-1197.90	1197.90	3320.20	4518.10
2000–2004	10 718.00	4405.25	-6312.75	6312.75	8810.50	15 123.25
2004–2008	11 672.75	5354.50	-6318.25	6318.25	10 709.00	17 027.25
2008–2012	9826.75	3189.25	-6637.50	6637.50	6378.50	13 016.00

表6 1980–2012年南京市城市建设用地历年变化量/hm²Tab. 6 Amount of change for the urban construction land in Nanjing in 1980-2012 /hm²

时段	年均减少量	年均新增量	年均净增量	年均 <i>N</i>	年均 <i>S</i>	年均 <i>T</i>
1980–1990	42.00	1006.30	964.30	964.30	84.00	1048.30
1990–2000	265.10	688.20	423.10	423.10	530.20	953.30
2000–2004	416.00	3224.25	2808.25	2808.25	832.00	3640.25
2004–2008	1246.50	5102.25	3855.75	3855.75	2493.00	6348.75
2008–2012	900.25	3670.50	2770.25	2770.25	1800.50	4570.75

用地、城市建设用地、水面等的活跃程度均超过了85%,分别达到97.48%、96.15%、93.16%和85.62%,采矿用地与裸地、耕地和林地的活跃程度稍低,这与南京城市扩展区高强度的人类活动引起的建设行为相关。

由表8可知,综合动态度在2000年前较低,

2004–2008年和2000–2004年最大,分别为4.85%和4.15%,2008–2012年有所回落,城市扩展区用地开发开始向建成区存量用地挖潜和低效用地再开发转变。这反映出南京都市区土地覆被变化在1980–2012年历经加速演变–变化趋缓–剧烈演变–整合重构4个主要阶段。

表7 1980–2012年单项类型动态度/(%)

Tab. 7 The land use dynamic degree in 1980–2012 /(%)

类型	耕地	林地	城市绿地	水面	城市建设用地	村镇建设用地	采矿用地与裸地
D	47.19	33.76	97.48	85.62	93.16	96.15	48.43

表8 32年来各时段南京综合土地利用动态度变化/(%)

Tab. 8 Changes of the total land use dynamic degree in different periods over the past 32 years /(%)

时段	1980–1990	1990–2000	2000–2004	2004–2008	2008–2012
年均 D_z	2.03	1.32	4.15	4.85	3.90

4 结论

运用GIS空间分析对土地利用转移矩阵进行信息挖掘,对南京市城市扩展区的土地利用布局、结构演化进行了长周期、多时段的研究。研究结论如下:

(1)在研究方法上,分析了净变化量、交换变化量和总变化量的含义,归纳了计算方法;对类型动态度的计算模型进行了改造,使其可更好地对各类变化动态情况进行表征。

(2)1980–2012年,南京市建成区面积扩大了6倍多。2000年之后,南京市土地利用进入快速城市化阶段,建成区面积年均增长达40 km²以上,2004–2008年是扩展最快的时期,总体扩展强度达1.17。通过扩展强度的等扇分析发现,32年间5个阶段城市扩展的方向极不均匀,扩展的主要方向经历了东北–东南–西南的演化过程,2008–2012年西南方向的扩展强度达到了历史的最高值0.282。扩展强度的等扇分析反映出南京城市扩展的阶段性和分区重点开发特征,经过32年的扩展,目前南京城市明显表现为形态上的“彳”形。

(3)通过对土地利用转移矩阵的研究,32年来耕地向城市建设用地转变为这一时期主要的耕地流转方向,村镇建设用地和耕地之间进行着较强的相互转化。在总变化量的构成中,耕地净变化量和交换变化量所占的比重较为接近,在面积净减少的同

时,空间位置的转移也较为突出,而城市建设用地、城市绿地、裸地以净变化为主,水面、村镇建设用地以交换变化为主;2000年之后各时段耕地和城市建设用地年均总变化量远远高于2000年之前,且在2004–2008年达到最高值,2008–2012年有所回落;32年间各单项类型动态度均较高,其中城市绿地、村镇建设用地和城市建设用地达到了90%以上;综合动态度的研究反映出32年来南京城市的扩展历经了加速演变–变化趋缓–剧烈演变–整合重构4个主要阶段。

本研究所使用的土地利用分类是Landsat系列影像采用自动分类方法所能达到的尽可能大的类别细度。今后可开展等扇区或分行政区的土地利用结构演变分析,以加强土地利用演变区域分异规律的研究。

参考文献(References):

- [1] Xie Y C, Yu M, Tian G J, *et al.* Socio-economic driving forces of arable land conversion: a case study of Wuxian city, China[J]. *Global Environmental Change*, 2005,15(3): 238–252.
- [2] Zhou Y, Wei Y H D. Globalization, innovation, and regional development in China[J]. *Environment and Planning A*, 2011,43(4):781–785.
- [3] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, *et al.* Economic growth and the expansion of urban land in China[J]. *Urban Studies*, 2010,47(4):813–843.
- [4] Ma R H, Gu C L, Pu Y X, *et al.* Mining the urban sprawl

- pattern: a case study on Sunan, China[J]. *Sensors*, 2008,8(10):6371-6395.
- [5] 曹广忠,刘涛.中国城镇化地区贡献的内陆化演变与解释:基于1982-2008年省区数据的分析[J].*地理学报*, 2011,66(12):1631-1643. [Cao G Z, Liu T. Rising role of inland regions in china's urbanization in the 21st century: the new trend and its explanation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011,66(12):1631-1643.]
- [6] 王新生,刘纪远,庄大方,等.中国特大城市空间形态变化的时空特征[J].*地理学报*,2005,60(3):392-400. [Wang X S, Liu J Y, Zhuang D F, *et al.* Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005,60(3):392-400.]
- [7] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉.基于GIS的北京城市土地利用扩展模式[J].*地理学报*,2000,55(4):407-416. [Liu S H, Wu C J, Shen H Q. A GIS based model of urban land use growth in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000,55(4):407-416.]
- [8] 匡文慧,邵全琴,刘纪远,等.1932年以来北京主城区土地利用空间扩张特征与机制分析[J].*地球信息科学学报*, 2009,11(4):428-435. [Kuang W H, Shao Q Q, Liu J Y, *et al.* Spatio-temporal patterns and driving forces of urban expansion in Beijing central city since 1932. *Journal of Geo-information Science*, 2009,11(4):428-435.]
- [9] 张利,雷军,李雪梅,等.1997-2007年中国城市用地扩张特征及其影响因素分析[J].*地理科学进展*,2011,30(5):607-614. [Zhang L, Lei J, Li X M, *et al.* The features and influencing factors of urban expansion in China during 1997-2007[J]. *Progress in Geography*, 2011,30(5):607-614.]
- [10] 吴宏安,蒋建军,周杰,等.西安城市扩张及其驱动力分析[J].*地理学报*,2005,60(1):143-150. [Wu H A, Jiang J J, Zhou J, *et al.* Dynamics of urban expansion in Xi'an city using Landsat TM/ETM+ Data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005,60(1):143-150.]
- [11] 贺振,赵文亮,贺俊平.郑州市城市扩张遥感动态监测及驱动力分析[J].*地理研究*,2012,30(12):2272-2280. [He Z, Zhao W L, He J P, *et al.* Remote sensing monitoring of urban sprawl based on object-oriented and driving forces analysis: a case study of Zheng city[J]. *Geographical Research*, 2012,30(12):2272-2280.]
- [12] 邢海峰.包头市近10年城市用地扩展的特点,问题及其对策[J].*城市发展研究*,2007,13(6):70-73. [Xing H F, The characteristics, problems & solutions of the urban land expansion of Baotou city in the recent ten years[J]. *Urban Studies*, 2007,13(6):70-73.]
- [13] 王伟武,金建伟,肖作鹏,等.近18年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制[J].*地理研究*,2009,28(3):685-695. [Wang W W, Jin J W, Xiao Z P, *et al.* Urban expansion and its driving forces based on remote sensed data and GIS: a case study of Hangzhou city from 1991 to 2008 [J]. *Geographical Research*, 2009,28(3):685-695.]
- [14] 谈明洪,李秀彬,吕昌河.20世纪90年代中国大中城市建设用地扩张及其对耕地的占用[J].*中国科学:D辑*,2005,34(12):1157-1165. [Tan M H, Li X B, Lv C H. Expansion of construction land and occupation of farmland in large and medium cities of China in the 1990s. *Science in China Series D*, 2005,34(12):1157-1165.]
- [15] 王雷,李丛丛,应清,等.中国1990-2010年城市扩张卫星遥感制图[J].*科学通报*,2012,57(16):1388-1399. [Wang L, Li C C, Ying Q, *et al.* China's urban expansion from 1990 to 2010 determined with satellite remote sensing[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012,57(16):1388-1399.]
- [16] 孙善磊,周锁铨,魏国栓,等.环杭州湾地区城市扩张的遥感动态监测[J].*自然资源学报*,2008,23(2):327-335. [Sun S L, Zhou S S, Wei G S, *et al.* Dynamic monitoring of urban expansion in the region around Hangzhou bay [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008,23(2):327-335.]
- [17] 马荣华,顾朝林,蒲英霞,等.苏南沿江城镇扩展的空间模式及其测度[J].*地理学报*,2007,62(10):1011-1022. [Ma R H, Gu C L, Pu Y X, *et al.* Urban spatial sprawl pattern and metrics in south of Jiangsu province along the Yangtze river[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007,62(10):1011-1022.]
- [18] 王磊,段学军.长江三角洲地区城市空间扩展研究[J].*地理科学*,2010,30(5):702-709. [Wang L, Duan X J. The expansion of urbanization area in Yangtze River Delta [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010,30(5):702-709.]
- [19] 张文忠,王传胜,薛东前.珠江三角洲城镇用地扩展的城市化背景研究[J].*自然资源学报*,2003,18(5):575-582. [Zhang W Z, Wang C S, Xue D Q. Urbanization base of city-land expansion in the Zhujiang river delta[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003,18(5):575-582.]
- [20] 冯健.杭州城市形态和土地利用结构的时空演化[J].*地理学报*,2003,58(3):343-353. [Feng J. Spatial-temporal evolution of urban morphology and land use structure in Hangzhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003,58(3):343-353.]
- [21] 李飞雪,李满春,刘永学,等.建国以来南京城市扩展研究[J].*自然资源学报*,2007,22(4):524-535. [Li F X, Li M C, Liu Y X, *et al.* Urban growth in Nanjing since 1949[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007,22(4):524-535.]

- [22] 高金龙,陈江龙,袁丰,等.南京市建设用地区域扩张模式\功能演化与机理[J].地理研究,2014,33(10):1892-1907. [Gao J L, Chen J L, Yuan F, *et al.* Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing[J]. Geographical Research, 2014,33(10):1892-1907.]
- [23] 杨勇,任志远,李开宇.基于GIS的西安市城市扩展与模拟研究[J].人文地理,2010,25(2):95-98. [Yang Y, Ren Z Y, Li K Y. A study on construction land extension and simulation of Xi'an city based on GIS in Xi'an City [J]. Human Geography, 2010,25(2):95-98.]
- [24] 蔡博峰,张增祥,刘斌,等.基于遥感和GIS的天津城市空间形态变化分析[J].地球信息科学,2007,9(5):89-93. [Cai B F, Zhang Z X, Liu B, *et al.* Analysis of Tianjin urban expansion and spatial morphologic change based on GIS and RS in recent 26 years[J]. Geo-Information Science, 2007,9(5):89-93.]
- [25] 欧立业,何忠焕,马海州,等.基于知识的分层综合分类法在土地利用/土地覆盖遥感信息提取中的应用[J].测绘科学,2008,33(1):173-175. [Ou L Y, He Z H, Ma H Z, *et al.* Research on applications of Object-Oriented for developing meta data standard of geospatial information[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008,33(1):173-175.]
- [26] 乔伟峰.土地利用视角下的南京城市空间多维扩展研究[D].南京:南京师范大学,2013. [Qiao W F. Study on urban spatial multidimensional expansion of Nanjing based on land use perspective[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.]
- [27] 乔伟峰,盛业华,方斌,等.基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例[J].地理研究,2013,32(8):1497-1507. [Qiao W F, Sheng Y H, Fang B, *et al.* Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: a case study of Suzhou, Jiangsu province[J]. Geographical Research, 2013,32(8):1497-1507.]
- [28] 段增强,张凤荣,孔祥斌.土地利用变化信息挖掘方法及其应用[J].农业工程学报,2005,21(12):60-66. [Duan Z Q, Zhang F R, Kong X B. Method for information mining of land-use change and its application[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(12):60-66.]