

1985—2010 年南京市耕地变化轨迹及驱动力分析

刘桂林^{1,2}, 张落成^{1①}, 张倩³ (1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 南京林业大学风景园林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 随着经济的快速发展,城市化程度加剧,南京市的土地利用发生了巨大变化。基于 1985—2010 年覆盖南京市的 Landsat MSS/TM 卫星影像,利用最大似然法获取南京市历年土地利用数据,将其归纳为耕地和非耕地 2 类。基于分类结果,提取并归纳了恒定耕地、恒定非耕地、转变为耕地、转变为非耕地和短暂时耕地 5 种耕地类型的变化趋势,借助景观水平上的斑块占景观面积的比例以及散布与并列指数来分析 5 种耕地类型变化趋势的景观格局时空动态,以说明耕地扩张和遗弃的时空轨迹。结果表明:(1) 1985—2010 年,耕地面积减少 40.42%;(2) 恒定耕地面积在方位 3 所占比例最大,为 56.89%,转变为非耕地主要分布在方位 1、6 和 8,揭示了城市扩张的主要方向;(3) 恒定耕地类型主要分布于六合区,面积为 895.92 km²,转变为非耕地主要分布于江宁区;(4) 恒定非耕地集中于市中心附近,而恒定耕地则远离市中心分布;(5) 恒定耕地仍占主导地位,转变为非耕地具有较高破碎度。短暂时耕地面积不稳定,较易发生土地撂荒乃至土地退化;(6) 人口与产业重心转移、经济发展、政策和城市扩张是显著影响耕地空间格局的关键因素。

关键词: 变化轨迹分析; 耕地; 遥感; 驱动力; 南京市

中图分类号: X144 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2013)06-0688-07

Trajectory and Driving Forces of Change in Farmland in Nanjing During the Period From 1985 to 2010. LIU Guilin^{1,2}, ZHANG Luo-cheng¹, ZHANG Qian³ (1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Landscape Architecture of Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: With rapid economic development, urbanization of Nanjing is accelerated vigorously, thus causing tremendous change in land use in the region. Based on Landsat MSS/TM images of the region from 1985 to 2010, land use data of the past years were acquired using the maximum likelihood method and sorted into two categories, farmland and non-farmland. Based on the classification, the land was further sorted into five groups, that is, permanent farmland, permanent non-farmland, transforming into farmland, transforming into non-farmland and tentative farmland, in light of their natures of land use, showing trends of the change in land use. Spatio-temporal dynamics of the landscape patterns of the five groups of land in change were analyzed using the percentage of landscape index (PLAND), and the interspersion and juxtaposition index (IJI) to show spatio-temporal trajectories of the farmland in expansion and desertion. Results show that (1) the farmland decreased in area by 40.42% from 1985 to 2010; (2) permanent farmland in Azimuth 3 was the highest in area, accounting for 56.89% of the total; transformation into non-farmland occurred mainly in Azimuths 1, 6 and 8, which reveals the main direction of urbanization; (3) permanent farmland was mainly distributed in Luhe District, making up 895.92 km² and transformation into non-farmland occurred mainly in Jiangning District; (4) permanent non-farmland was mainly located in the urban region while permanent farmland was in the opposite direction; (5) permanent farmland was still in dominancy, land under transformation into non-farmland was highly fragmented and tentative farmland was not stable in area and susceptible to desertion and even degradation; and (6) shifting of the population and industrial centers, economic development, policies and urban expansion were the key factors significantly affecting change in farmland.

Key words: trajectory analysis; farmland; remote sensing; driving force; Nanjing

土地是最基本的自然资源,保持一定数量的耕地是人类赖以生存和发展的基础^[1]。耕地资源稀缺以及人地关系冲突日益成为中国农业生产和社会经济发展的障碍^[2]。国际地圈-生物圈计划和全

收稿日期: 2013-03-23

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(41130750); 国家自然科学基金(40971072)

① 通信作者 E-mail: lchzhang@niglas.ac.cn

球变化人文计划两大国际项目共同提出了土地利用与覆被变化问题^[3]。作为全球环境变化研究前沿和热点的土地利用与覆被变化研究,随着遥感技术的进步而得到长足发展^[4],而土地利用/覆被变化的定量描述也成为土地变化科学的关键问题之一^[5]。

从遥感数据源上分析,尽管高空间分辨率遥感影像在辐射精度、空间分辨率和土地利用类型分类精度等方面具有更多优势,但由于其价格昂贵、时间序列较短而不太适合区域、国家或全球的土地利用监测。在区域和全球尺度上,高时间分辨率的遥感数据(如 SPOT/VEGETATION、NOAA/AVHRR 和 EOS/MODIS)被广泛用于监测年内和年际间土地利用变化过程,然而该数据在空间分辨率上受到限制。因此,中等空间分辨率的遥感数据(如 Landsat data、SPOT/HRV 和 CBERS/CCD 等)被广泛应用于土地利用遥感监测。

土地利用变化遥感监测方法主要包括双时相变化和时间序列分析 2 类。双时相变化监测基于 2 个时相以上的遥感影像,利用诸多算法来获取耕地的时空动态信息,该方法的研究应用较为广泛^[6-10]。尽管该方法可以获取耕地时空动态信息,但对耕地变化过程和趋势的动态化深层次表达的监测能力较弱。因此,国内外学者提出了土地利用/覆被变化时间轨迹的方法^[11-12],即每个像元所属的土地利用类别在多于 2 个时相上所呈现的演替过程^[13]。该方法一般基于各期遥感解译结果来构建分类结果的每个栅格在时间序列上的变化,从而使得各栅格具有时间动态特性。该方法已经开始应用于土地利用变化研究^[14-17],然而在快速城市化地区耕地的时空动态分析方面却鲜有报道。

由于南京市经济高速发展,城市扩张加剧,造成耕地面积锐减,其时空变化明显,是一个典型代表区。为了详细地揭示快速城市化背景下耕地的时空动态变化,引入了时间变化轨迹方法来揭示南京市耕地的时空动态、趋势及驱动机理。

1 研究区概况

南京市是江苏省与整个长江三角洲地区重要的政治、经济和文化中心,属于北亚热带季风气候区,四季分明,年平均气温 16℃,年降水量 1 034 mm。现辖玄武、建邺、鼓楼、秦淮、雨花、栖霞、江宁、六合、浦口、溧水和高淳 11 个区。辖区总面积 6 597 km²,市区面积 4 730 km²。在 1983 年以前,南京市城市化区域增长缓慢,以平均每年不到 2

km² 的速度增长;改革开放后城市化区域增长速度加快,特别是 20 世纪 90 年代末以后,中心城区每年平均扩展速度超过 10 km²^[18]。

2 研究方法

2.1 数据来源

从美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)官方网站(<http://www.usgs.gov/>)上下载覆盖南京市的 1985—2010 年 Landsat MSS/TM 遥感影像。根据遥感影像的云量覆盖、影像噪声和农作物的种植历史,选取 1985—2010 年 6 个时期的遥感影像(表 1)。

利用 Google Earth 软件下载南京市高分辨率遥感影像。采用手持 GPS 采集南京市土地覆盖信息,用于土地利用分类的精度检验。收集并整理了南京市 1985—2010 年的统计年鉴。

表 1 选取的遥感数据源

Table 1 Selected sources of remote sensing data

卫星	传感器	轨道号	空间分辨率/m	获取日期
Landsat 5	MSS	129/37, 129/38	79	1985-04-24
Landsat 5	TM	120/37, 120/38	30	1990-10-15
Landsat 5	TM	120/37, 120/38	30	1995-10-13
Landsat 5	TM	120/37, 120/38	30	2000-05-03
Landsat 5	TM	120/37, 120/38	30	2007-07-26
Landsat 5	TM	120/37, 120/38	30	2010-08-19

2.2 遥感数据解译

2.2.1 遥感数据预处理

利用 1:25 万地形图对 2010 年 TM 影像进行几何精校正,并以此作为参考图像,采用二次多项式转换方程对 1985、1990、1995、2000 和 2007 年的影像进行几何精校正,平均误差控制在 0.5 个像元以内。为了保持空间尺度的一致性,将 MSS 影像重采样至 30 m。

覆盖南京市的两景 Landsat 遥感数据成像时间是同一天,故利用 ENVI 4.8 遥感图像处理软件进行镶嵌,然后再基于南京市行政区界线进行裁剪。

2.2.2 土地利用信息的提取

在参考国内外各种土地利用信息分类标准的基础上,结合研究区的实际状况及遥感影像的空间分辨率,将土地利用类型划分为耕地、林地、园地、水域、建设用地和未利用地 6 大类。利用 ENVI 4.8 软件,选取相应的类别样本,对 6 个时相的遥感数据进行主成分分析、归一化植被指数和归一化水体指数等图像处理,并采用纹理信息中的标准差以及数字高程模型(DEM)等辅助数据作为遥感分类的特

征波段。为了保持数据的一致性,将以上特征波段归一化为0~255。基于决策树分类器对6个时相的图像分别进行分类,并利用分类后处理方法来过滤一部分噪声信息,提取5类土地利用信息后,采用人机交互方法对分类数据进行人工修改。最后将土地利用分类结果重分类为耕地与非耕地。

2.2.3 分类结果精度的检验

根据随机布设的400个地面采样点及从Google Earth软件下载的高分辨率影像中选取的样本点,建立混淆矩阵,计算总体分类精度及Kappa系数2个指标,得到最终分类结果。分类结果的总体精度均在85%以上,Kappa系数也高于0.840,解译精度均满足土地利用变化监测的要求(表2)。

表2 土地利用分类精度检验

Table 2 Accuracy analysis of land use classification

年份	总体精度/%	Kappa 系数
1985	94.1	0.867
1990	88.9	0.845
1995	90.6	0.859
2000	92.1	0.873
2007	93.4	0.868
2010	91.9	0.861

2.3 耕地变化轨迹分类与归纳

土地利用变化时间轨迹可简单地用各时相所属土地利用类型按时间顺序构成的排列来表示(图1)^[19]。基于耕地/非耕地栅格数据,赋予耕地和非耕地的代码为1和0,进而在每个像元所属的“耕地/非耕地”类型的基础上进行时间轨迹的计算。例如,图1中加粗显示的轨迹编码为“0—0—0—0—0—0”,表示1985—2010年间像元均为耕地信息,其轨迹编码可表示为000000。

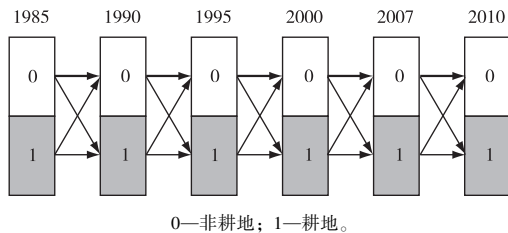


图1 全部耕地变化轨迹的时间顺序排列
Fig.1 Chronological order of the change trajectories of all the farmland

若在m个时相内存在n种土地利用类型,那么可能出现的变化轨迹种类 N_t 可以表示为 $N_t = n \times n \times \dots \times n = n^m$ 。该研究中,n和m的值分别为2和6,

故可能存在的变化轨迹有64种。

2.4 耕地变化轨迹的归纳

将全部变化轨迹重新分为5种类型:(1)恒定耕地,属未变化类型,6个时期始终为耕地,其变化轨迹表示为111111;(2)恒定非耕地,属未变化类型,6个时期始终为非耕地,其变化轨迹为000000;(3)转变为耕地,指总体变化趋势呈非耕地向耕地转变趋势,通常指在5a中,前期为非耕地而后期转变为耕地的区域,典型变化轨迹如000111;(4)转变为非耕地,表明耕地退化与占用导致其面积缩小,典型变化轨迹如111000;(5)短暂性耕地,不属于前面4种变化类型,典型变化轨迹为101010。

2.5 耕地变化轨迹景观格局分析

众多景观指数对数据的空间分辨率比较敏感,并且部分指数之间存在一定的相关性^[20-21]。因此,基于FRAGSTATS 3.3软件,选取景观水平上的斑块占景观面积的比例(percentage of landscape, PLAND, R_{PLAND})和散布与并列指数(interspersion and juxtaposition index, IJI, I_{ij})2个指数来分析耕地变化趋势的破碎化程度、斑块连贯性和离散性。上述景观指数的公式及含义在文献[22-24]中已有详细介绍(表3)。

表3 用于耕地时空变化的景观格局指数描述

Table 3 Description of spatio-temporal variation of farmland with landscape pattern indices

景观指数	计算公式	范围
散布与并列指数	$I_{ij} = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} \times 100$	>0~100
斑块占景观面积的比例	$R_{PLAND} = 100 \times \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$	>0~100

m为景观类型数; e_{ik} 为斑块i和k的总边缘长度,m; a_{ij} 为第i个景观类型中第j个斑块面积, m^2 ; A为景观类型总面积, m^2 。

3 结果与分析

3.1 南京市耕地变化的时空格局动态分析

基于上述土地利用遥感分类方法,获取了1985—2010年南京市耕地/非耕地分类图。通过分析可知,1985—2010年耕地面积的变化趋势呈现先增加后减小的趋势,25a间耕地面积共减少40.42%(图2)。该过程包括1985—1990年耕地面积增加和1990—2010年耕地面积持续减少2个阶段。1985—1990年南京市耕地面积处于增加趋势,增加约8.71%。1990—2010年耕地面积大幅度缩

减,20 a 间减少近 45.19%。其中,2007—2010 年耕地减少幅度最大,为 16.98%;1990—1995 年减少幅度最小,为 7.77%。

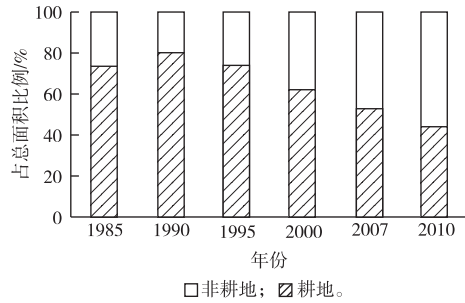


图 2 1985—2010 年南京市耕地面积的变化
Fig. 2 Change in farmland area in Nanjing from 1985 to 2010

3.2 耕地变化轨迹时空分布分析

在各期耕地/非耕地分类图的基础上,探测获取了南京市 1985—2010 年耕地变化轨迹图(图 3)。

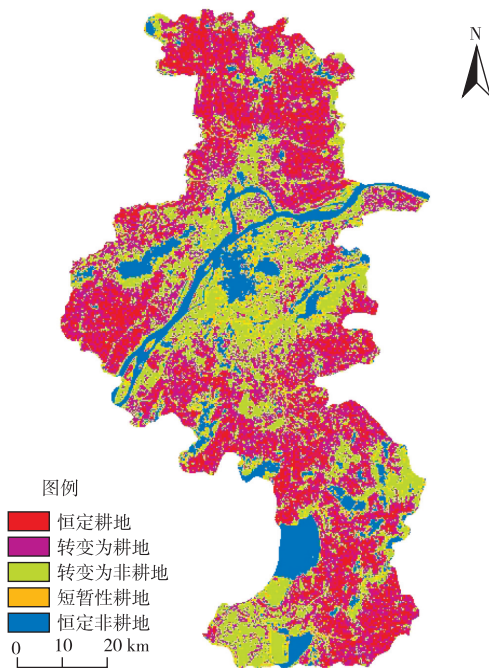


图 3 耕地变化轨迹
Fig. 3 Trajectories of changes in farmland

为了详细地阐述耕地变化的时空动态分布,以新街口商业区作为南京市中心,东西方向为横轴,南北方向为纵轴,将南京市分为 8 个方位(图 4),分析不同方位各耕地变化轨迹类型面积所占比例(图 5)。在方位 3,恒定耕地面积所占比例最大,为 56.89%;而方位 1 恒定耕地面积比例最小。在方位

2、3、5 和 7,恒定耕地面积比例较大。恒定非耕地主要分布于方位 1 和 4,转变为非耕地主要分布于方位 1、6 和 8,该结果揭示了城市扩展的主要方向。

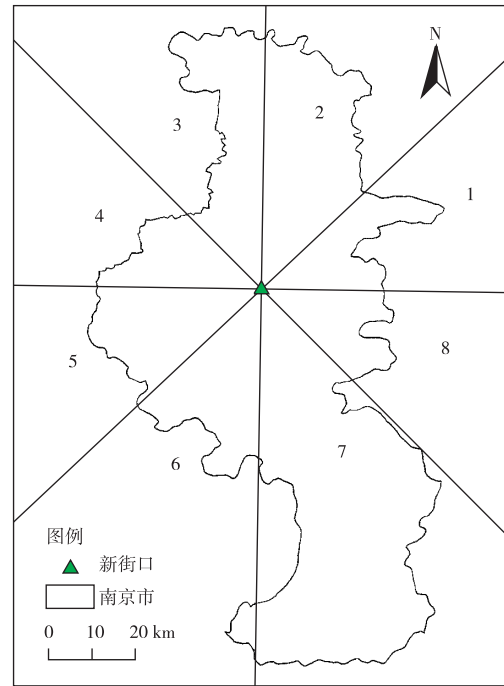


图 4 耕地变化的方位划分
Fig. 4 Division of azimuths for changes in farmland

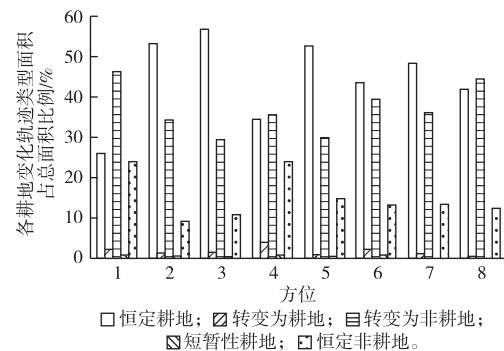


图 5 不同方位耕地变化轨迹
Fig. 5 Trajectories of changes in farmland in different azimuths

将位于江南的建邺区、鼓楼区、玄武区、秦淮区、雨花区和栖霞区命名为江南 6 区,也是南京市的主城区。按照南京市的行政区域边界,分区统计耕地变化轨迹的时空分布(图 6)。经过统计分析发现,六合区恒定耕地面积最大,为 895.92 km²,表明六合区耕地面积居全市第 1,且较为稳定,没有发生变化;其次是江宁区,恒定耕地面积为 696.37 km²,而江南 6 区的恒定耕地面积最小。江宁区转变为非

耕地面积最大,表明该区域城市化进程最快,大量耕地转变为建设用地;溧水区与高淳区的转变为非耕地面积也较大,除了城市化的原因之外,耕地转变为水产养殖池塘也是重要原因。

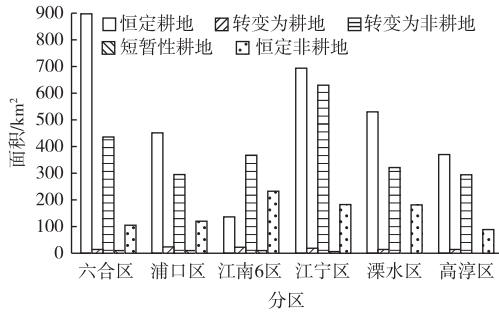


图6 各县(区)的耕地变化统计
Fig. 6 Statistics of changes in farmland in the various counties or districts

3.3 耕地变化轨迹景观格局分析

恒定耕地的 PLAND 指数值最大,为 47.49,表明耕地依然是整个南京市的基础(图7)。其次为转变为非耕地类型,其 PLAND 指数值为 36.12,充分揭示了耕地锐减的现象;恒定非耕地 PLAND 指数值为 13.99,该类型主要包括城乡建设用地、河流和林地等土地覆盖类型;转变为耕地和短暂性耕地 PLAND 指数值分别为 1.70 和 0.70。短暂性耕地指变化最不稳定的耕地类型,主要是由于农业产业结构调整所致。

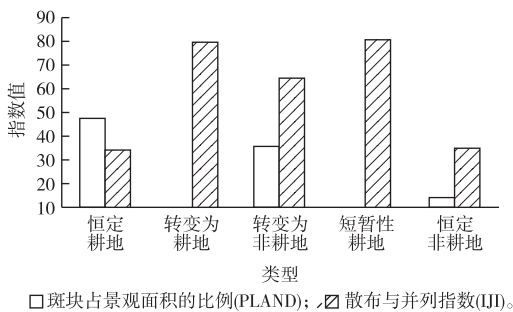


图7 耕地变化轨迹类型的景观格局分析
Fig. 7 Landscape pattern analysis of farmland change trajectories

IJI 指数反映了各耕地斑块类型的空间关联程度。恒定耕地和恒定非耕地类型的 IJI 指数较小,均小于 35,表明 2 种类型具有较高的空间联系度,最为稳定。转变为耕地和转变为非耕地 2 种类型的 IJI 指数分别为 79.72 和 64.71。而短暂性耕地的 IJI 指数最大,为 80.51,也验证了该类型具有极不稳

定的特点,其空间关联度最低。

3.4 耕地变化轨迹的驱动力分析

引起耕地变化的驱动力因素大体上包括自然与人文因素 2 类。自然因素主要包括降水和温度等;而人文因素主要包括城市化、农业产业结构调整、政策和农业劳动力等。1985—2010 年南京市自然条件基本上没有重大变化,因此,自然因素的影响完全可以忽略不计。而人文因素的影响却异常明显,极大地影响了南京市耕地的时空分布。据此,选取城市化、农业产业结构调整、政策和农业劳动力这几个因素来阐述南京市耕地变化的驱动力。

3.4.1 城市扩张

城市化进程加快,城市扩张速度加快,一批大学城(如仙林大学城、江宁大学城)及新区(如河西新区)的开发以及各区建设用地的扩张,都影响着南京市耕地的时空变化。1988 年以来,南京市城市向西南、东部扩张,并主要集中于江南一片,其中江宁是城市扩张地区^[25]。选取 1985、2000 和 2010 年 3 个时间截面来分析南京市的城市扩展状况(图8)。

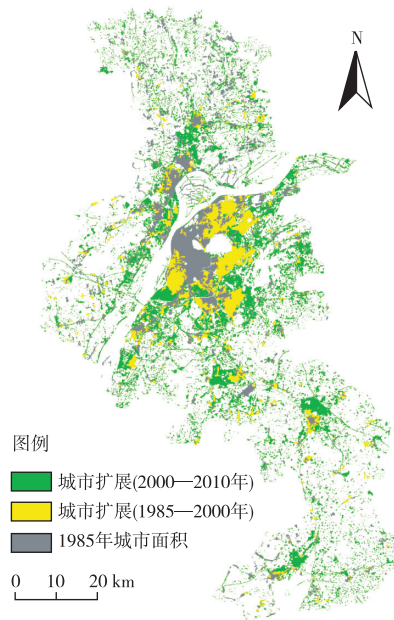


图8 1985—2010 年南京市的城市扩展
Fig. 8 Map of urban expansion of Nanjing from 1985 to 2010

1985—2000 年,城市扩展的区域主要分布在南京旧城区的四周,2000—2010 年,城市进一步向四周扩展,主要集中于江宁区,这与南京市的城市规划相符。城市扩展的区域主要占据了原先的耕地。2000—2010 年,南京市南部的溧水区和高淳区城市扩展也较为剧烈,农村城镇化加速了耕地的流失。

南京市各级开发区的企业准入机制门槛较低,土地利用集约度较低,造成大量优质耕地的流失。近年来随着经济的高速发展,大量国家基础设施(如高速公路)占用了大量耕地。此外,南京市的乡镇企业较为发达,然而其分散的空间布局造成大量耕地的非农化流转。

3.4.2 农业劳动力转移及产业重心转移

1985—2010年,随着经济的发展,农业劳动力数量下降49.2%(图9)。同时,农业人口的年龄层次也发生变化,大量适龄农业人口转变为非农人口,并进入城市从事其他非农行业,造成农业人口锐减。农业从业人口的锐减造成农业生产活动的改变,直接影响耕地的时空变化。

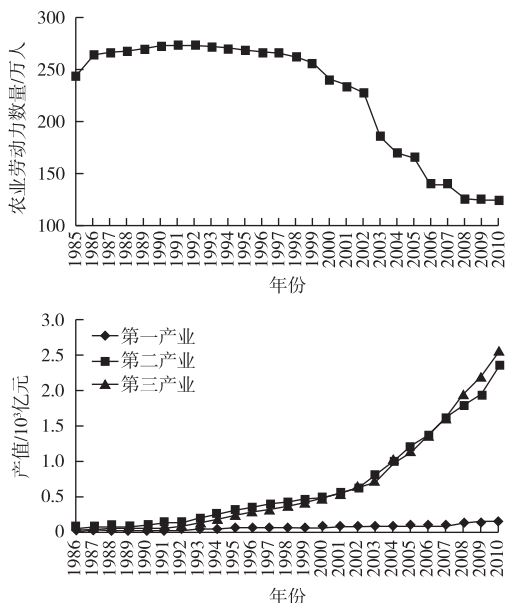


图9 1985—2010年南京市农业劳动力和三大产业产值比例的变化

Fig. 9 Changes in agricultural labour and ratio of outputs of the three major industries in Nanjing from 1985 to 2010

1985—2010年,第二、三产业产值保持高速增长,分别增加2 274.66和2 515.90亿元。然而,第一产业产值增长缓慢,仅为129.28亿元(图9)。三大产业产值的变化反映了农业在整个产业体系中地位的下降,而产业产值的变化促使从业人口比例的转变。第二、三产业的迅速发展以及种粮效益较低,造成农村剩余劳动力向城镇及其他产业转移,进而造成耕地的非农化进程。

3.4.3 农业结构调整

除了农业在三大产业中地位的变化,农业产业内部不同类型农业产业结构的调整也造成耕地的

转型。由于各类农业产业的增值性不同,市场行情也会驱动农民重新调整农业生产结构,从而使得耕地向优质高效果蔬菜苗木等特色园艺用地和养殖水面转换^[26],造成耕地流失。在南京市南部的溧水区和高淳区,由于受自然条件的影响,水产养殖业较为发达,并且水产养殖业的增值性较传统种植业高,因此,2个区的水产养殖业发展迅速,大量耕地被开垦为养殖水面,造成耕地面积减小。有些地区的养殖水塘却转变为耕地,因此造成耕地的不稳定性变化。

3.4.4 政策驱动

1998和2004年国家2次修改土地管理法,确立了土地用途管制、耕地占补平衡和基本农田保护等制度,并相继颁布《土地管理法实施条例》、《闲置土地处置办法》、《耕地占补平衡考核制度》等法规^[27],这些政策减缓了耕地流失,并使部分非耕地转变为耕地。2007年国务院《政府工作报告》提出的18亿亩耕地红线从源头上控制了耕地数量。南京市政府制定了土地利用总体规划来保护耕地,并就基本农田保护与管理提出了一系列意见^[28]。

农业税费改革和农业补贴政策的实施延缓了耕地非农化进程。税费改革改变了农业生产的收益分配,加速耕地向比较效益高的养殖水塘转变;而农业补贴政策则提高了粮食生产的比较效益,从而稳定并提高粮食生产,减缓耕地非农化速度^[29]。

4 结论

(1)基于6期耕地分类结果,利用时间轨迹分析方法,提取并归纳了恒定耕地、恒定非耕地、转变为耕地、转变为非耕地和短暂性耕地5种类型的变化趋势来说明耕地扩张和遗弃的时空轨迹,剖析了南京市耕地的时空动态过程。

(2)恒定耕地的PLAND指数最大,表明耕地仍然是南京市土地利用类型的主要组成部分,从而使得恒定耕地面积在各种变化轨迹类型中为最大。恒定耕地类型主要分布于六合区,面积为895.92 km²。转变为非耕地主要分布在城乡结合部,特别是江宁区,主要是由于快速城市化与工业化所致。恒定非耕地集中于市中心附近,而恒定耕地则远离市中心分布。短暂性耕地的IJI指数高于其他4种类型,表明该类型土地撂荒乃至土地退化。

(3)1985—2010年,南京市耕地面积减少40.42%,主要是由于城市扩张、人口及产业重心转移、农业产业结构调整以及农业和土地政策造成的。

参考文献:

- [1] 杨桂山.长江三角洲近50年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J].自然资源学报,2001,16(2):121-127.
- [2] 张磊,吴炳方,朱亮,等.三峡工程建设期库区耕地的时空变化及驱动力分析[J].地球信息科学学报,2011,13(3):297-304.
- [3] TURNER H B L, SKOLE D, SANDERSON S. Land Use and Land Cover Change Science/Research Plan[R]. IGBP Report No.35 and HDP Report No.7. Stockholm: IGBP, 2005.
- [4] 刘旭华,王劲峰,刘明亮,等.中国耕地变化驱动力分区研究[J].中国科学:D辑:地球科学,2005,35(11):1087-1095.
- [5] TURNER B L II, MATSON P A, MCCARTHY J J, et al. Illustrating the Coupled Human-Environment System for Vulnerability Analysis: Three Case Studies[J]. Proceedings of the National Academies of Sciences, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [6] SHI W J, TAO F L, LIU J Y. Changes in Quantity and Quality of Cropland and the Implications for Grain Production in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Food Security, 2013, 5(1): 69-82.
- [7] LIU J Y, LIU M, TIAN H, et al. Spatial and Temporal Patterns of China's Cropland during 1990-2000: An Analysis Based on Landsat TM Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 98(4): 442-456.
- [8] 田光进,周全斌,赵晓丽,等.中国城镇扩展占用耕地的遥感动态监测[J].自然资源学报,2002,17(4):476-480.
- [9] 赵庚星,林戈.黄河口耕地遥感动态监测及其生态环境安全分析[J].水土保持学报,2004,18(2):37-40.
- [10] 邓帆,李仁东,王海芳.2000—2007年湖北省耕地变化的遥感调查与分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(10):1171-1175.
- [11] COPPIN P, JONCKHEERE I, NACKAERTS K, et al. Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: A Review[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(9): 1565-1596.
- [12] LU D, MAUSEL P, BRONDIZIO E, et al. Change Detection Techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2365-2407.
- [13] LAMBIN E F. Modeling and Monitoring Land Cover Change Processes in Tropical Regions[J]. Progress in Physical Geography, 1997, 21(3): 375-393.
- [14] KUEMMERLE T, CHASKOVSKYY O, KNORN J, et al. Forest Cover Change and Illegal Logging in the Ukrainian Carpathians in the Transition Period From 1988 to 2007[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6): 1194-1207.
- [15] ZHOU Q, LI B, KURBAN A. Trajectory Analysis of Land Cover Change in Arid Environment of China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(4): 1093-1107.
- [16] ZHOU Q, LI B, KURBAN A. Spatial Pattern Analysis of Land Cover Change Trajectories in Tarim Basin, Northwest China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(19): 5495-5509.
- [17] 段含明,艾里西尔·库尔班,玉米提·哈力克,等.基于多时相CBERS/CCD数据的塔里木河下游植被变化[J].干旱区地理,2010,33(2):263-271.
- [18] 陈爽,刘云霞,彭立华.城市生态空间演变规律及调控机制[J].生态学报,2008,28(5):2270-2278.
- [19] 刘桂林,艾里西尔·库尔班,玉米提·哈力克,等.基于变化轨迹探测的植被景观格局动态分析[J].中国沙漠,2012,32(5):1-7.
- [20] WICKHAM J D, RIITTERS K H. Sensitivity of Landscape Metrics to Pixel Size[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(18): 3585-3594.
- [21] RIITTERS K H, O'NEILL R V, HUNSAKER C T, et al. A Factor Analysis of Landscape Pattern and Structure Metrics[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(1): 23-39.
- [22] MCGARIGAL K, CUSHMAN S A, NEEL M C, et al. FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps[CP]. Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.
- [23] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观指数分类、应用及构建研究[J].应用生态学报,2002,13(1):121-125.
- [24] 刘桂林,艾里西尔·库尔班,艾尔肯·艾白不拉,等.塔里木河下游生态输水后植被景观格局动态研究[J].冰川冻土,2012,34(1):161-168.
- [25] 王茜,张增祥,易玲,等.南京城市扩展的遥感研究[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):554-559.
- [26] 张雷,张洪.中国东部沿海地带人地关系状态分析[J].地理学报,2004,59(2):311-319.
- [27] 陈炳椒,倪凤娣,周维禄,等.重庆市耕地变化及驱动力分析[J].西南农业大学学报:社会科学版,2010,8(4):15-19.
- [28] 南京市国土资源局.市政府关于进一步加强基本农田保护和管理的意见[EB/OL].(2007-02-08)[2013-03-23].http://www.njgt.gov.cn/default.php? mod= article&do= detail&tid= 208891.
- [29] 朱会义,吕昌河.近30年延安市耕地变化的政策背景及其作用机理[J].地理研究,2010,29(8):1510-1518.

作者简介:刘桂林(1985—),男,山东青州人,博士生,主要研究方向为土地利用变化。E-mail: guilinshiwo@163.com