

1995-2015年江苏省土地利用功能转型特征及其协调性分析

张晓琳¹, 金晓斌^{1,2,3}, 范业婷¹, 刘 晶¹, 单 薇¹, 周寅康^{1,2,3}

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室, 南京 210023; 3. 江苏省土地开发整理技术工程中心, 南京 210023)

摘要:土地利用功能转型可实现土地利用功能协调,是实施区域可持续发展的重要途径。从功能协调角度构建土地利用功能转型分析框架,利用江苏省1995年、2000年、2005年、2010年和2015年5期遥感影像及相关资源利用和社会经济数据,构建三级土地利用功能评价体系,以县域为评价单元,通过三角模型和空间相关分析等方法,定量解析江苏省土地利用功能时空演变特征及其与土地可持续利用目标的协调状况。研究结果显示:(1)研究期内,江苏省土地利用功能总水平提升减慢,其中生产、生活功能不同程度提升,生态功能明显下降。(2)生产、生活功能空间集聚不突出,生态功能的热点、冷点区域呈“Y”型集聚分布。(3)不同功能区功能协调性态势不一,重点开发区和限制开发区可持续发展态势总体良好,优化开发区可持续发展程度较弱并持续恶化。建议江苏省在落实发展蓝图和空间规划的过程中,应优先推进苏南现代化示范区建设,重点实施重点开发区生活功能转型、Ⅰ类限制开发区生产功能转型策略,并严格落实禁止开发区的生态保护责任等差别化管理策略。

关键词:土地利用功能;土地利用转型;功能协调;可持续发展;江苏省

工业革命以来,伴随经济社会高速发展,人类以前所未有的速度创造财富,引发了一系列环境问题。保障人类经济社会持续发展,维护区域生态环境,即“可持续发展”理念被相继提出^[1]。为实现全球可持续发展,2012年联合国召开“里约+20”峰会,通过了《我们希望的未来》,制定了全球可持续发展战略框架。2015年,联合国提出17项可持续发展目标,希望到2030年实现经济发展、社会包容、环境协调的全球可持续发展。2016年,中国发布“十三五”规划纲要,将联合国可持续发展目标纳入“十三五”规划和国家中长期整体发展规划。土地资源作为“人口—社会—环境”巨系统的基础,实现土地资源可持续利用意义重大^[2]。为了推动这一目标的实现,国际地圈—生物圈计划(IGBP)和全球环境变化人文因素计划(IHDP)共同开展全球土地计划(Global Land Project),旨在从人类—社会—生态耦合系统的角度测量、模拟和理解土地系统的利用与变化^[3]。

土地利用转型作为分析土地利用/覆被变化(LUCC)的新路径^[4],其核心是探讨如何管理好土地资源进而实现土地利用可持续发展^[5]。土地利用转型最早由英国利兹大学Grainger^[6]在研究以林业为主的国家土地利用形态时提出,之后龙花楼等^[7]将相关研究引

收稿日期: 2018-11-12; 修订日期: 2019-02-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD06B02)

作者简介: 张晓琳(1994-),女,河北邢台人,硕士,主要从事土地利用规划研究。E-mail: 2933793970@qq.com

通讯作者: 金晓斌(1974-),男,甘肃兰州人,博士,副教授,博士生导师,主要从事土地利用变化与土地资源管理研究。E-mail: jinxb@nju.edu.cn

进中国。土地利用转型是受经济社会发展影响而产生的土地利用形态变化^[7]。关于土地利用形态,最初指某一区域特定时期内主要土地利用类型构成的结构^[7],之后被拓展为某一土地利用类型占比^[8]。随着研究深入,土地利用形态又被进一步分为显性形态和隐性形态,其中显性形态为特定时期下区域土地利用类型的组成结构,而隐性形态依附于显性形态且需要分析才能获得^[9]。近年来,又有学者对土地利用形态提出新认识。在土地空间属性和非空间属性的相互作用下,曲艺等^[10]提出土地利用形态多维,需要结合空间信息综合分析;宋小青^[11]认为土地利用形态主要体现在其空间和功能变化方面,其中空间形态主要包括土地利用的景观格局和经营格局,功能形态指不同土地利用功能的组合形式。土地利用转型的驱动力主要源于土地功能^[12],各种土地类型利用方式和利用强度的结果,也都体现在深层次的功能表达上。分析土地利用的形态,从其隐性形态的功能角度出发更有利于揭示土地利用状态及其变化。分析土地利用功能随时间的变化(即土地利用功能转型),管控土地利用隐性形态转型,对提高土地资源管理科学决策具有重要作用。关于土地利用功能转型的驱动因素研究^[11],包括社会、经济、环境等方面。受驱动因素不同,土地利用功能转型在区域上表现为主导功能差异性,配合主体功能区划,地域功能类型可分为以生产、生活功能为主的城市化区域、以农产品供给功能为主的农产品主产(粮食安全)区域、以生态功能为主的重点生态功能(生态安全)区域、自然和文化遗产保护区域等四大类^[13]。在空间形态演变规律上表现为土地利用功能集聚或分散,伴随着土地利用集约度与生态系统管理二者的协同演化^[11]。在时间演变规律上表现为某项功能弱化或增强的明显趋势,其中山区农村土地利用功能转型伴随劳动力投入减少和集约度下降,呈现生态功能恢复趋势,而城市周围土地的土地利用功能转型将呈现生态功能弱化趋势^[14]。目前土地利用功能转型的研究多集中于土地利用功能定量识别^[15-17]、土地利用功能转型特征^[18-20]及其与生态环境响应^[21-23]等方面,对长时期土地利用功能转型下的区域认识和实践指导还有进一步完善的空间。为加强实践指导的针对性,需在识别区域土地利用功能的基础上分析土地利用功能之间的协调关系。现有研究多认为系统协调度即代表子系统耦合度,其评价价值与系统综合评分成正比^[24-27]。然而,土地利用的可持续性是根据可持续发展内涵^[1]、区域特点动态变化,现有研究一定程度上存在耦合度因子取值不明、功能强弱定义不清等问题,单纯根据协调度数值判断功能协调具有局限性。

改革开放以来,人口、产业向东部沿海和大城市不断集聚,推动形成了京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等核心区域。江苏省作为长三角经济区的重要组成部分,在经济社会快速发展的同时,能源消费和环境压力不断增大。在经济新常态阶段,江苏省仍处于发展重要战略机遇期,土地利用变化带来的开发强度过高、后备资源紧缺、环境质量下降、地区发展不平衡等难题亟待解决。为解决这一难题,江苏省提出节约集约用地“双提升”行动、“两聚一高”方略、“1+3”功能区战略等规划,进一步提高了对土地开发、利用、保护的要求。基于较长时间尺度下全域土地利用功能状况及其变化特征的分析,在土地可持续利用目标下科学指导空间规划、引导土地利用具有积极意义。基于此,本文拟立足功能协调视角,构建江苏省土地利用功能转型分析框架,利用时空分析方法和改进的协调度模型判断土地利用功能转型及其协调程度。希冀为促进区域土地资源优化配置、引导土地整治实践等提供参考和借鉴。

1 土地利用功能解析与协调

1.1 土地利用功能解析

土地利用系统是多子系统耦合而成的复合系统,其中子系统即为土地自然生态子系统、土地社会子系统、土地经济子系统^[28]。结合系统论的“要素—结构—功能”原理,土地利用系统结构是由各用地类型所形成,结构不同产生的结构效应也不同,共同决定着土地利用功能。土地具有多功能属性^[15,29],土地利用过程中一般都具有若干能够体现自身结构特征的主体功能,故土地功能分类应以主导功能为重点^[17]。“三生”功能(生产功能、生活功能和生态功能)与可持续发展目标紧密联系,以其作为土地利用主导功能的划分方式已为学界所接受^[29-30]。

(1) 生产功能。以可持续发展目标中的经济目标为主,包括消除贫困、消除饥饿、体面工作和经济增长、负责任的消费和生产等具体目标,分为直接供给的生物物质和间接生产的非生物物质功能,主要体现其经济产值。生物物质生产功能对应农、林、牧、渔业等生产用地,非生物物质生产功能主要是工矿仓储用地,而商服用地更多体现生活功能。依据用地类型和经济产值,生产功能可分成直接供给的农、林、牧、渔业产值及间接生产的工业产值。

(2) 生活功能。以可持续发展目标中的社会目标为主,包括良好健康与福祉、优质教育、性别平等、清洁饮水与卫生设施、工业创新和基础设施、缩小差距、可持续城市和社区、和平正义与强大机构、促进目标实现的伙伴关系等具体目标,分为直接承载的居住承载、交通便利功能,以及间接保障的生活服务功能,主要体现其社会效益。依据用地类型和社会效益,生活功能可分成直接供应的居住承载、交通便利功能,间接提供的休闲娱乐、文化教育、医疗卫生以及其他的生活服务功能。

(3) 生态功能。以可持续发展目标中的环境目标为主,包括廉价清洁能源、气候行动、水下生物、陆地生物等具体目标,分为直接供应的有形生态产品和间接供给的无形服务功能。土地利用系统受水、土、气、生等自然要素影响,具有水源涵养、控制土壤侵蚀、调节气候、维持生物多样性等多种生态服务功能,是维持人类生存的自然基底。依据生态用地类型和效用,生态功能可分为直接供给的能源、产水量、固碳量(释氧量)等生态产品,间接供给的土壤保持、生物保护、气候调节和景观保育等生态服务。

不同区域的土地利用功能分类难以穷尽且不唯一,应综合考虑区域特点、发展目标、发展阶段,因地制宜选取主导的土地利用功能。关于土地利用功能解析见图1。

1.2 土地利用功能协调分析

社会经济发展等宏观因素和地理区位、自然条件等微观因素的复杂影响、相互作用推动形成土地利用功能转型^[5,8,11]。在复杂的土地利用功能转型机制作用下,区域土地利用功能呈现协调或失调格局。合理的土地利用功能转型,可实现区域土地利用功能协调,进一步促进区域土地利用可持续^[31]。实现区域土地利用功能协调需基于特定经济社会发展阶段以及生态环境特征,结合规划和相关政策,对土地利用功能进行生态—生产—生活效益导向下的多目标优化配置组合,是实现地区可持续发展的必要条件。根据区域特点和功能需求,区域土地利用功能协调表现为理想功能强弱以及对其中某项或某几项功能的侧重。土地利用功能转型是促进土地利用功能协调,实现土地利用可持续的重要手段之一。土地利用功能转型可实现土地利用功能协调,是实施区域可持续发展的重要路径。

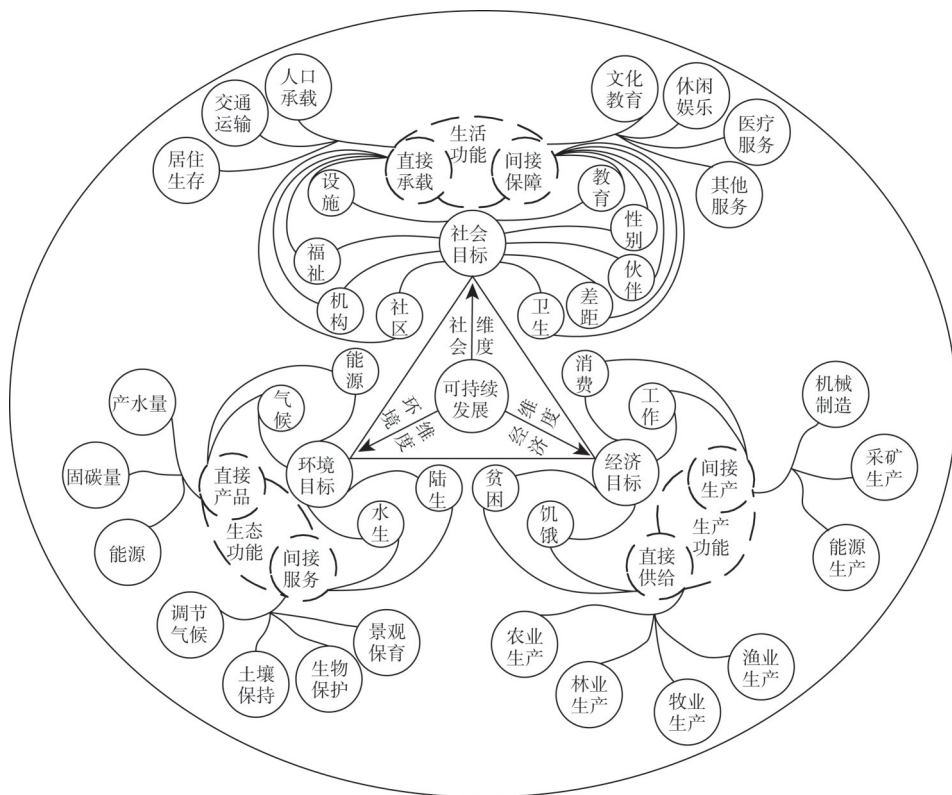


图1 土地利用功能解析

Fig. 1 Analysis of land use functions

主体功能区划是中国国土空间开发与保护格局的规划蓝图，已上升为主体功能区战略和主体功能区制度^[13]。主体功能区在纵向上分为不同行政管理层级的主体功能区，在横向上分为优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发四类主体功能区^[13]。不同主体功能区的可持续发展目标不同，土地利用功能各有侧重。依据区域特点、发展阶段和发展过程，以可持续发展为目标，优化开发区应以社会目标为重，以改善生活功能为先，在维护生活功能前提下提升生产、生态功能；重点开发区应以经济和社会目标为重，以优化生产、生活功能为先，兼顾生态功能；限制开发区应以环境和经济目标为重，以保障生态功能为先，在生态环境容量的约束下适度提升生产功能；禁止开发区应着重环境保护，以保障生态功能为根本，尽可能降低生产、生活功能。

以优化开发区为例，实现功能协调需满足两个条件：一是生活功能提到显著提升并占据重要位置，实现理想功能配比；二是各项功能均处于较高水平，功能得到充分发挥。图2展示了某优化开发区土地利用功能协调的过程，其中不同颜色代表不同的功能，圆圈大小代表功能的强弱。假定通过土地利用现状分析，该区土地利用功能格局表现为生产功能>生态功能>生活功能，各功能处于较低水平，存在一定的结构失调。依据区域特点、发展阶段和发展过程，该区应以社会目标为重点，优先发展生活功能并相应提升其他各项功能。为实现功能协调，该区土地利用功能转型可分为两个阶段：第一阶段，通过提升生活、生态功能，降低生产功能的方式，优化土地利用功能结构，实现理想功能配比；第二阶段，通过提升生产、生活、生态功能方式，充分发挥各项功能。

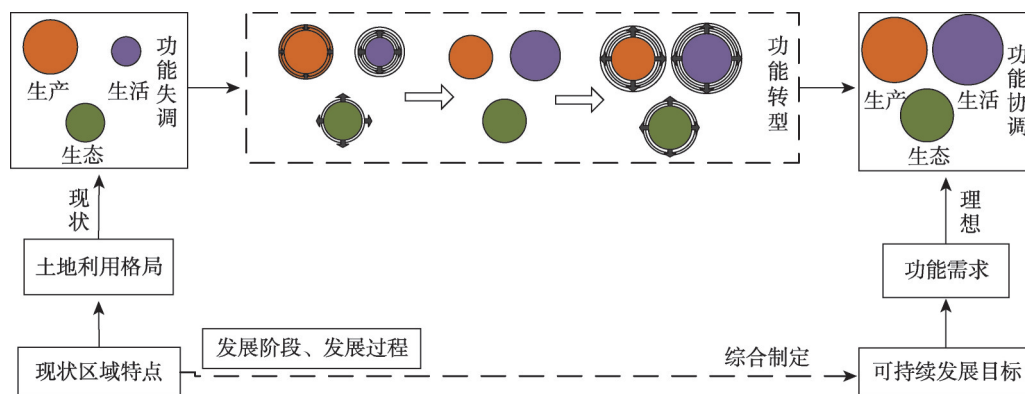


图2 土地利用功能协调过程

Fig. 2 The coordination process of land use function

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况与数据来源

2.1.1 研究区概况

江苏省处于中国大陆东部沿海地区中部， $116^{\circ}18' \sim 121^{\circ}57'E$ 、 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}20'N$ 之间，是长江经济带节点区域（图3）。江苏省东临黄海，西接安徽，北连山东，东南与浙江和上海接壤，国土面积 10.7 万 km^2 ，占中国土地面积的 1.1% ；总体地势平坦，平原面积占比 68.8% ；江河湖泊密布，水面化率达 16.9% ；海岸线绵长，大陆岸线长 953.9 km ，沿海滩涂面积约 6520.6 km^2 。在行政区划上，江苏省共有13个地级市，下辖55个市辖区、26个县级市和24个县。在主体功能区划上，优化开发区、重点开发区、限制开发区和禁止开发区分别占省域国土面积的 17.50% 、 19.40% 、 59.76% 和 3.34% 。结合行政区划，将优化开发区、重点开发区、限制开发区划分到县区（图3）。

江苏经济水平位于全国前列，2016年地区生产总值为7.61万亿元，人均GDP达9.54万元。江苏省提出“十三五”期间要率先全面建成小康社会，着力建设“强富美高”新江苏。但国土资源利用形势严峻，主要表现为全省耕地资源紧缺，人均耕地面积仅为 0.053 hm^2 ；国土开发强度远超全国水平，已接近 21% ；局部地区生态系统较脆弱，生境质量有所下降等方面。

2.1.2 数据来源

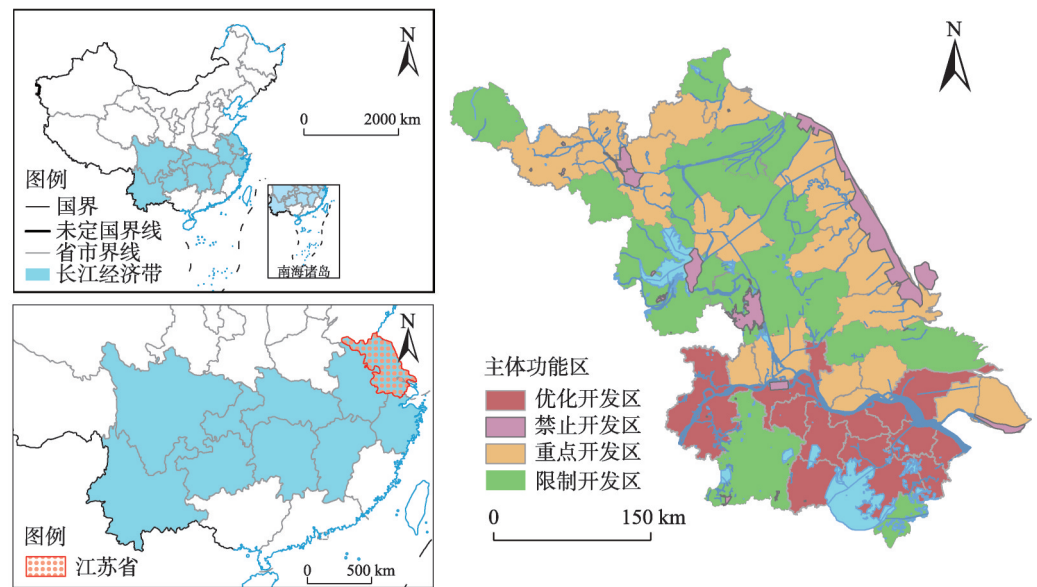
数据来源及其说明见表1，所有数据均统一行政区边界（2010年，高斯—克吕格投影，1980年西安坐标系）。

2.2 研究方法

基于土地利用功能解析，针对江苏省特点建立土地利用功能评价体系；利用三角模型和空间分析方法，得到土地利用功能时空变化；再结合主体功能区定位，测算土地可持续利用框架下功能协调度的理想值，分区提出土地利用功能转型策略。

2.2.1 土地利用功能评价体系

中国经济由快速增长阶段转向高质量发展阶段。面对“两个率先”（率先全面建成小康社会和率先基本实现现代化）的发展目标，江苏省在土地资源管理中面临区域资源供需不平衡、土地开发利用不合理、土地开发利用与环境保护不协调、土地投入产出不平



注：本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号为GS(2016)2884号的标准地图制作，底图无修改。

图3 研究区位置示意图
Fig. 3 Location of the study area

表1 数据来源及说明
Table 1 Data sources and description

数据类型	数据产品	来源	空间分辨率
土地利用数据	土地利用现状遥感监测数据	中国科学院资源环境科学数据中心	1 : 10 万
遥感影像数据	Landsat 4 TM	地理空间数据云	30 m
	Landsat 8 OLI_TRIS		
社会经济数据	江苏省省统计年鉴	江苏省统计局	县级
江苏省环境保护区	长三角（江苏省）1 : 25 万环境保护区空间数据（2013 年）	国家地球系统科学数据共享服务平台	1 : 25 万
DEM	ASTER GDEM V2 版	地理空间数据云	30 m
NDVI	MYDND1M 中国 500M NDVI 月合成产品	地理空间数据云	500 m
NPP	MOD17A3H	http://www.noaa.gov/	1 km
土壤数据	全国第二次土壤普查数据集	中国土壤数据库	1 : 100 万
降水量	江苏农业基本气象资料月值、年值数据集	中国气象局气象数据中心	4 km
蒸散量	MOD16A3H	http://www.noaa.gov/	500 m
叶面积指数	MOD15A2H	http://www.noaa.gov/	1 km
根系深度	——	文献[32]	土地利用/ 覆盖类型

注：部分年代缺失的地区数据，由相邻年份插值获得。

衡等问题。面向土地可持续利用目标，应把解决发展不平衡不充分问题作为基本出发点，以体现物质基础、精神需求的土地利用功能为重点构建相应的评价体系。具体而言：（1）生产功能是以土地作为劳动对象直接或间接获取的各种产品或价值的功能，体现土地经济子系统的经济价值。由于土地利用的多宜性、生产的多样性等现实问题，土

地利用的生产能力难以通过一种或几种产品进行细化^[29]。为进行相关功能量化表征,目前采用的分析方法包括产值法^[25]、复合指标法^[16,20]、产能系数法^[17]等。从可操作性和客观性角度出发,本文选取农业、林业和工业产值来代表不同生产功能。(2)生活功能是土地直接或间接提供的基本物质、生活保障功能,体现土地社会子系统的社会效益,分成直接供应的居住承载、交通便利功能及间接提供的休闲服务功能。其中,居住承载功能,直接体现在人的聚集度上,以人口密度表示^[33];交通便利间接体现在客、货运量上,考虑运输量难以体现对个人的效用,故以人均客运量和货运量综合表示;休闲服务功能主要体现在第三产业,故以第三产业从业人员比例表示^[16]。(3)生态功能是维持人类生存的直接生态产品或服务,体现土地自然生态子系统生态服务功能,具体表征为水、土、气、生等要素对应形成的水源涵养、土壤保持、气候调节、生物保护的功能。综上所述,将土地利用功能分为生产功能、生活功能和生态功能等3项一级功能,并进一步细分为农产品供给功能、居住承载功能、水源涵养功能等10项二级功能,共11项具体指标。

依据江苏省国民经济和社会发展规划要求,到2020年江苏省地区生产总值达到10万亿元左右(2015年价,下同),年均增长7.5%;服务业增加值占比达到53%左右;单位工业增加值二氧化碳排放量降低19%,工业主要污染物排放量降低10%。按照2015年为基期(下同),以年均增长7.5%作为生产功能目标,以增加值占比为53%作为生活功能目标,以增加值提升19%作为生态功能目标,相应的功能目标值可算出。相关指标释义和量化结果见表2。

2.2.2 三角模型

三角模型可对三个相互联系的方面进行可视化表达,具有直观、简明等优点,被广泛应用于资源利用、环境变化等领域^[37]。生产功能是基础,生活功能是目标,生态功能是保障,共同构成土地利用系统^[25]。将生活功能作为土地利用系统目标,在三角模型中用顶点表示。在土地利用过程中生产、生态功能将会受到不同程度影响,因此对非生产功能、非生态功能进行相应转化,使之构成三角模型中另外2个顶点。这样,土地利用系统的生活功能、非生态功能、非生产功能三者构成了此消彼长的关系,符合构建三角模型的原理^[38-40]。通过在三角图中对三项指标间的相互关系进行描述,可显化土地利用功能状态及其变化过程(图4)。

图4中,三角形为等边三角形, X 、 Y 、 Z 轴分别代表非生产功能($NPFI$)、生活功能(LFI)和非生态功能($NEFI$)。各坐标轴沿逆时针方向从0到1划分刻度,按0.2的间隔分别设置为低、较低、中等、较高和高。相应的三角形内部可分为五个区域(A~E),分别表示不同的协调状态(图4、表3)。同时根据三种功能的相对比例变化,又可确定T1~T7共7种变化趋势^[25]。

2.2.3 空间格局分析方法

本研究采用空间自相关的方法对区域土地利用功能进行空间分析。空间自相关可用于探析功能区的空间集聚特征,包括全局空间自相关和局部空间自相关^[41]。

全局空间自相关用来衡量整体空间自相关程度,采用Moran's I 来表征。计算方法见式(1):

表2 土地利用功能分类体系及表征指标说明

Table 2 Classification system and characterized indexes description of land use functions

目标层	准则层	解释	表征指标	单位	量化方法	目标值	指标性质
生产功能 (经济 产值)	农产品供给功能	生产及提供农产品的能力	农业产值	亿元	统计年鉴获得	82.13	+
	工矿生产功能	生产及提供工业产品的能力	工业产值	亿元	统计年鉴获得	3076.52	+
	林产品供给功能	生产及提供林产品的能力	林业产值	亿元	统计年鉴获得	4.25	+
生活功能 (社会 效益)	居住承载功能	为人类需要提供居住承载的能力	人口密度	人/km ²	参考文献[20]	1067.78	+
	交通便利功能	为人的出行、货物运输提供社会保障的能力	万人货运量	万t	复合指标法	3857.88	+
			万人客运量	万人	参考文献[16]	4067.44	+
	休闲服务功能	为人类生活需要提供休闲服务的能力	第三产业人员比例	%	统计年鉴获得	53.6	+
生态功能 (生态 服务)	水源涵养功能	水资源供给服务的能力	产水量	mm/km ²	InVEST模型 参考文献[32]	746.73	+
	土壤保持功能	土壤侵蚀控制的能力	土壤侵蚀量	t/km ²	RUSLE模型 参考文献[34]	482.34	-
	气候调节功能	缓解气候变化的能力	固碳量	g/m ²	$NC \times \beta \times \sum NPP$ 参考文献[35]	233.91	+
	生物保护功能	生物多样性保护的能力	生境质量	—	InVEST模型 参考文献[36]	0.24	+

注：计算生态服务功能时，将研究区划分为1 km×1 km栅格，并将所有指标统一到该空间尺度下。

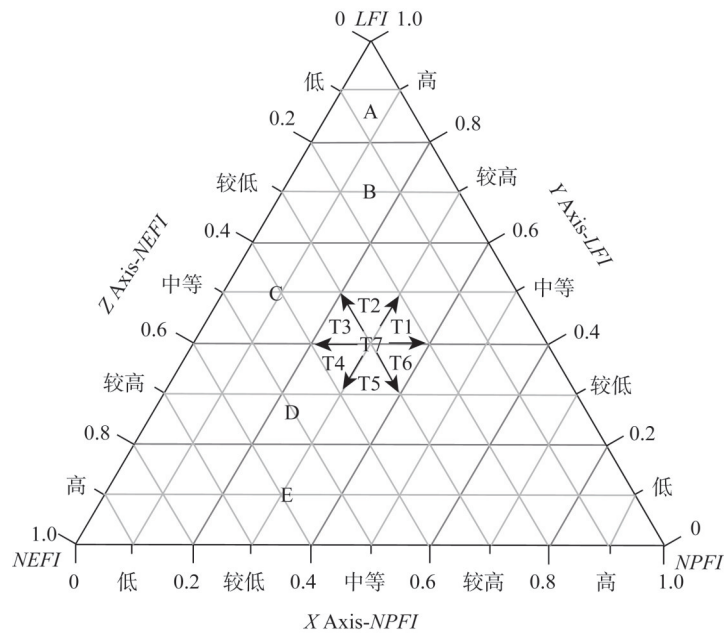


图4 土地利用系统功能状态及变化

Fig. 4 Status and change of land use function

表3 土地利用系统功能状态

Table 3 Status of land use multi-functionalization of a land use system

区域	指标数值范围			功能水平
	<i>LFI</i>	<i>NPFI</i>	<i>NEFI</i>	
A	0.8~1.0	0~0.2	0~0.2	高水平
B	0.6~0.8	0~0.4	0~0.4	中高水平
C	0.4~0.6	0~0.6	0~0.6	中水平
D	0.2~0.4	0~0.8	0~0.8	中低水平
E	0~0.2	0~1.0	0~1.0	低水平

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

式中: x_i 和 x_j 分别是变量 x 在相邻配对空间点的取值; \bar{x} 是平均值; w_{ij} 是相邻权重(若空间点 i 和 j 相邻, $w_{ij}=1$, 否则 $w_{ij}=0$); n 是空间点总数。Moran's I 系数的取值为 $[-1, 1]$, 小于0表示负相关, 等于或接近于0表示不相关, 大于0表示正相关。

局部自相关采用热点分析方法, 利用 Getis-Ord G_i^* 统计识别具有统计显著性的热点和冷点。通过显著统计学意义的 z 得分和 p 值, 分析热点与冷点在空间上发生的聚集位置。计算方法见下式:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n}} \quad (3)$$

式中: G_i^* 统计量是 z 得分; w_{ij} 是要素 i 和 j 之间的空间权重(相邻为1, 不相邻为0); S 为标准差。若 $G_i^* > 0$ 并且通过显著性检验, G_i^* 越高, 则表明热点聚集越密集; 如果 $G_i^* < 0$ 并且通过显著性检验, G_i^* 越低, 表明冷点的聚集越密集。

2.2.4 协调度模型

耦合可表征系统间或系统内要素相互影响和相互作用的动态关联关系^[26]。为有效体现系统功效及各子系统间的协同效应^[26-27], 按照以下步骤进行协调度计算:

(1) 数据标准化。根据指标性质, 采用极差标准化方法对各指标值进行标准化处理, 以消除度量单位和指标极性的影响。

(2) 指标赋权与指标综合。为消除权重确定过程中的主观性, 采用熵值法确定各指标权重。根据指标评价结果和权重设置, 分别计算生产功能(*PFI*)、生活功能(*LFI*)和生态功能(*EFI*)的综合值。

(3) 协调度计算。采用协调度模型^[26]计算各子系统的协调状况。计算方法见下式:

$$D=\sqrt{C\times T}$$

(4)

$$C=\left[\frac{U_1\times U_2\times U_3}{\left(\frac{U_1+U_2+U_3}{3}\right)}\right]^{\frac{1}{3}}$$

(5)

$$T=aU_1+bU_2+cU_3$$

(6)

式中： D 为协调度， $D\in[0,1]$ ； C 为耦合度， $C\in[0,1]$ ； T 为土地利用系统功能评价综合得分； U_1 、 U_2 、 U_3 分别为生产功能、生活功能和生态功能； a 、 b 、 c 为相应功能的重要程度，且 $a+b+c=1$ 。当 U_1 、 U_2 、 U_3 达到该区理想功能比时， C 值最大。

3 结果分析

3.1 土地利用功能结构分析

3.1.1 土地利用多功能结构分析

在各项土地利用功能值计算的基础上，借鉴文献 [16] 对相应的功能实现率（某一年份某项土地利用功能的实现程度）、功能变化动态度（不同年份各类土地利用功能的相对变化程度）、功能标准差（土地利用功能之间的差异性）和功能变化优势度（一定时期土地利用功能变化的差异性）进行测算，计算结果见表4。（1）功能实现率方面。以功能目标值为最大值，江苏省总功能水平在2005年实现了由低度持续向中度持续发展，2015年的功能实现率为0.568，仍处于中度持续阶段，有待进一步提升。（2）功能变化动态度方面。各项功能变化动态度逐渐降低，近年来降幅尤为剧烈，说明土地利用总功能由1995-2010年的快速提升阶段转向2010-2015年的缓慢提升阶段。（3）功能标准差方面。1995-2010年逐渐减小，这可能是因为区域土地利用功能重心由生态功能转向生活、生产功能，而导致各功能间差异缩小。2010-2015年，由于生产功能增长尤为剧烈，区域功能标准差明显增大。（4）功能变化优势度方面。1995-2015年经历先增后减过程，土地利用功能之间差异先增大后减小，说明土地利用从趋于单一转向多元化发展。

从图5可以看出，江苏省2015年的二级功能以生产功能为主，生态功能最弱，功能间最高值与最低值差距达33倍，各功能利用存在明显失衡。这与以经济发展为主导的土地资源配置存在直接联系。

3.1.2 一级功能结构分析

利用三角模型，采用Grapher软件描述土地利用功能状态及变化趋势。由图6可见，研究期内江苏省土地利用功能虽得到提高，但是仍处于中低水平，可进一步分为两个阶段：第一阶段（1995-2000年），处于E区域，即低水平；第二阶段（2000-2015年），处

表4 土地利用各功能分析
Table 4 Analysis of land use functions

指标	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年
功能实现率	0.262	0.359	0.445	0.558	0.568
功能变化动态度/%	37.08		23.84	25.44	1.81
功能标准差	0.024	0.019	0.021	0.017	0.049
功能变化优势度	0.254		0.667	0.381	0.152

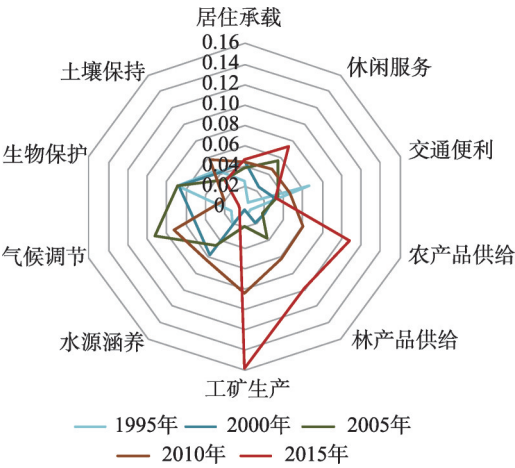


图5 江苏省土地利用多功能评价
Fig. 5 The assessment of land use functions in Jiangsu province

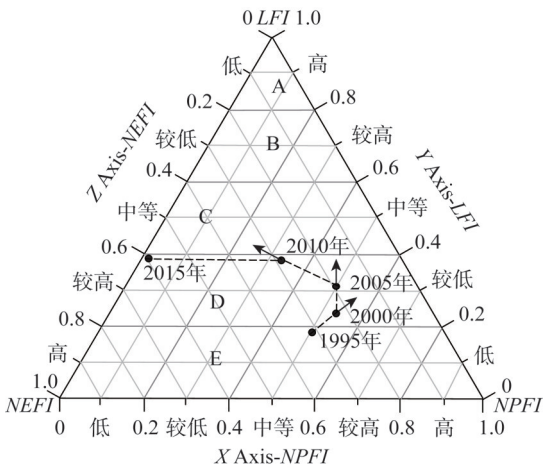


图6 江苏省土地利用功能状态及变化
Fig. 6 Status and change of land use functions in Jiangsu province

于D区域，即中低水平。从功能变化趋势来看，研究期内江苏省土地利用功能变化存在两个拐点（2000年和2005年），呈现三个较明显趋势，即T1、T2、T3。1995-2000年，呈现趋势T1，即生活功能和生态功能上升，生产功能下降；2000-2005年，呈现趋势T2，即三项功能均上升；2005-2015年，呈现趋势T3，即生活功能和生产功能上升，生态功能下降。

3.2 土地利用功能空间分析

以县市行政单位（市辖区并入所在市）作为研究单元（共63个），以ArcGIS 10.2为平台，采用全局空间自相关分析方法，计算相应的Moran's *I*指数，计算结果见表5。从表5看出，江苏省土地利用生态功能存在显著正的空间自相关性，生态功能较高的市县，其周围市县的生态功能也较高；而生活、生产功能的*P*值未通过5%显著水平检验，空间集聚效应不显著。

生态功能Moran's *I*指数值整体上呈现逐渐上升的趋势，表明1995年以来，江苏省土地利用生态功能高值和低值区在空间上集聚性增强。为进一步分析研究区生态功能冷点和热点空间格局演化特征，计算 G_i^* 指数，根据Manual分类法划分为7个等级，见图7。整体来看，研究期内一、二级冷热点区空间格局保持相对稳定，生态功能的热点（高值区）与冷点（低值区）呈“Y”型分布。具体而言，生态功能热点区域主要集中在洪泽湖和太湖附近，形成“双核”空间结构；冷点区主要集中在徐州、连云港等苏北地区，

表5 全局空间自相关计算结果
Table 5 The results of Global Moran's *I*

功能	年份				
	1995	2000	2005	2010	2015
生产功能	-0.0497	-0.0009	-0.0433	-0.0899	0.1411
生活功能	0.0995	0.2398***	0.1143	0.1409	0.2193**
生态功能	0.3492***	0.3852***	0.4007***	0.4201***	0.3935***

注：**表示0.001<*P*<0.01，***表示*P*<0.001。

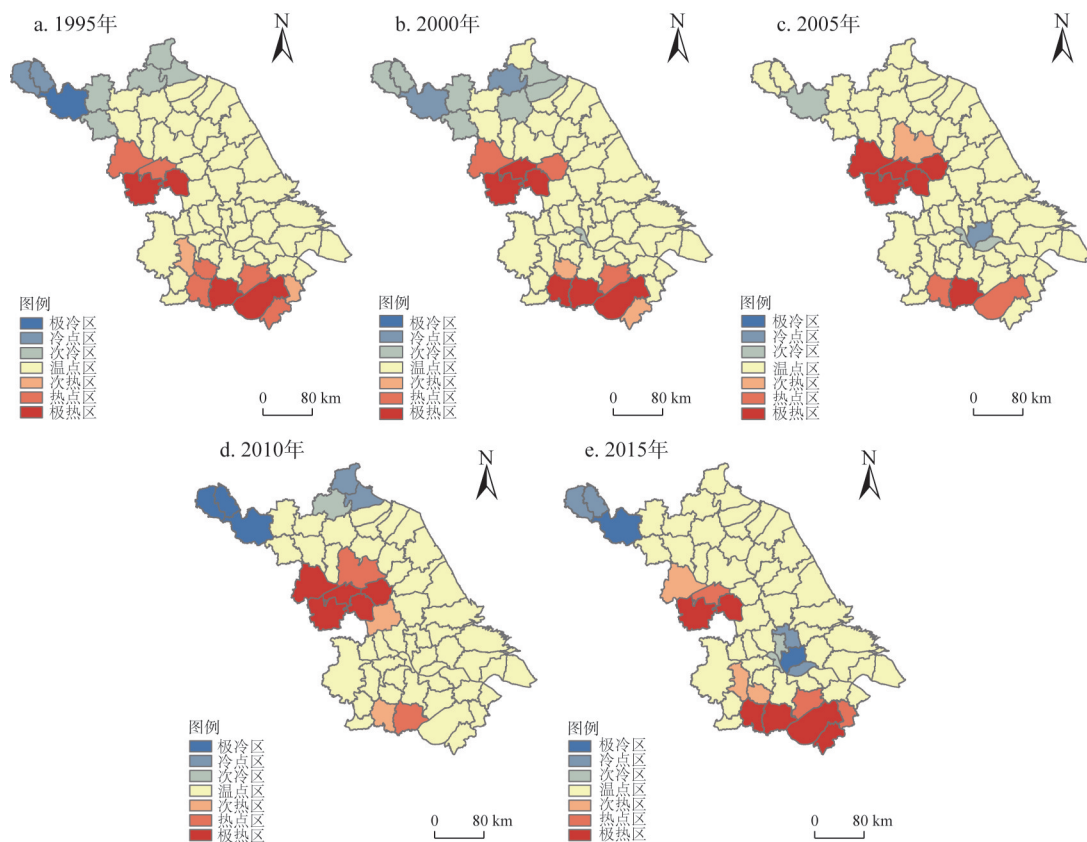


图7 江苏省土地利用生态功能空间格局演化

Fig.7 Evolution of spatial pattern of land use ecological function in Jiangsu province

近年来逐渐扩展到苏中腹地的扬中、泰兴等地。冷点和热点连片分布，热点区域随时间变化不显著，而冷点区域出现反复交替现象。

3.3 土地利用功能协调性分析

理想功能范围由各主体功能区^①目标值加减多年功能值的标准差确定；理想功能比依据理想功能均值之比得到；理想功能权重由功能区各功能开发程度判断。相关变量理想取值结果见表6，土地利用协调演变过程见图8，其中理想协调度区间用阴影表示，协调度趋势线由各年份功能平均值通过线性拟合形成。

(1) 优化开发区。该区以建成具有国际影响的现代服务业和先进制造业基地为目标。经计算，该区理想功能比（生产功能：生活功能：生态功能）为86：260：69。由图8a可见，1995-2015年该区中绝大部分县区的协调度与理想值差距较大，且随时间变化，土地利用功能协调度呈下降趋势，逐渐偏离理想值区间。整体上，1995-2015年的平均耦合度（C）为0.873，功能水平（T）为0.392，整体呈可持续发展状态并逐渐恶化。从各功能平均值看，该区生活功能较低，但其他功能均能达到理想状态，后期应以提高生活功能为发展重点。

^① 依据与禁止开发区分布的紧密程度，将限制开发区分为Ⅰ类限制开发区（禁止开发区面积比例30%以下）和Ⅱ类限制开发区（禁止开发区面积比例30%以上）。

表6 主体功能区相关指标计算结果

Table 6 The results of calculation of relevant indicators in the major function-oriented zone

指标		功能区			
		优化开发区	重点开发区	I类限制开发区	II类限制开发区
功能水平	生产功能	[0.06, 0.27]	[0.07, 0.34]	[0.02, 0.11]	[0, 0.04]
	生活功能	[0.41, 0.99]	[0.08, 0.31]	[0.07, 0.12]	[0, 0.04]
	生态功能	[0.30, 0.39]	[0.31, 0.39]	[0.32, 0.45]	[0.48, 0.75]
功能权重	生产功能	1/10	2/5	2/5	1/10
	生活功能	3/5	2/5	1/5	1/10
	生态功能	3/10	1/5	2/5	4/5
C		1	1	1	1
T		[0.558, 0.738]	[0.202, 0.338]	[0.182, 0.248]	[0.111, 0.608]
D		[0.747, 0.859]	[0.449, 0.581]	[0.426, 0.498]	[0.333, 0.780]

(2) 重点开发区。该区以建成具有较强国际竞争力的制造业基地和建设具有全国影响的新型城镇密集带为目标。理想功能比为 107 : 73 : 70。由图 8b 可见，该区大部分县区 1995-2000 年的协调度处于理想区间，2005 年之后逐步偏离理想值区间。1995-2000 年及 2005-2015 年二个时段下，C 值分别为 0.89 和 0.861，T 值分别为 0.23 和 0.21。受功能水平和耦合度均较低的双重影响，该区逐渐向可持续发展转变。从研究期整体看，总功能水平为 0.221，达到理想区间平均值的 82%，说明该区整体发展状况尚好，未来应在提高总功能水平同时，着重提高生活功能和生产功能。

(3) I 类限制开发区。禁止开发区在该区所占面积 30% 以下，且分布较为分散。该

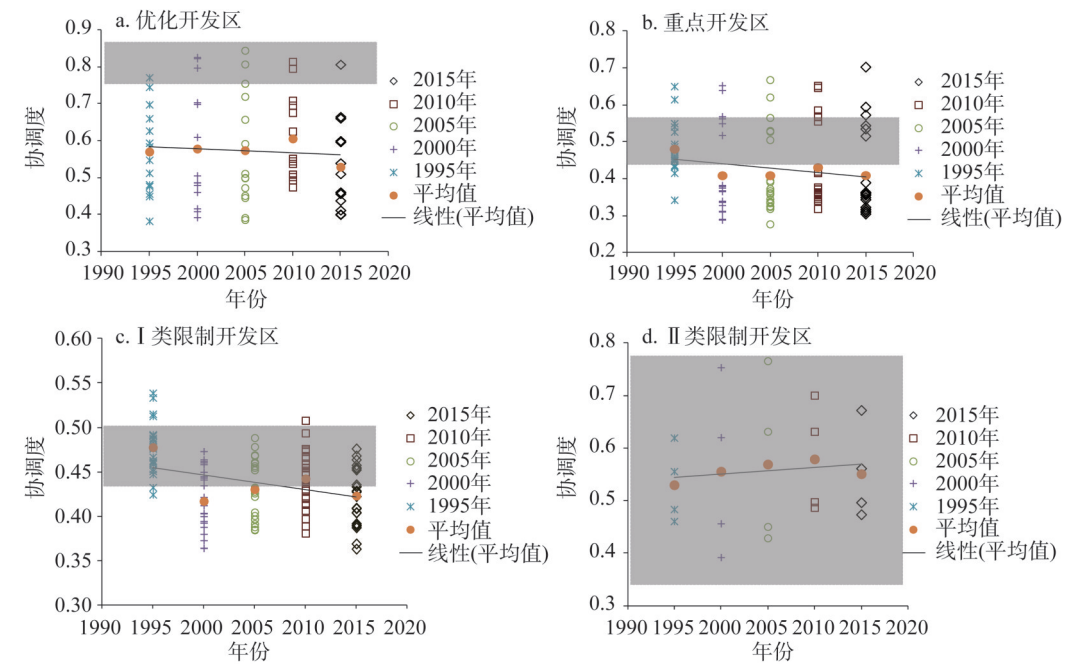


图8 江苏省土地利用功能协调演变过程

Fig. 8 Evolution of land use functional coordination in Jiangsu province

区理想功能比为34:35:77。由图8c可见,大部分县区在1995-2005年的协调度处于理想区间,2010年之后出现偏离,并呈下降趋势。1995-2000年和2005-2015年二个时段下, C 值分别为0.92和0.93, T 值分别为0.21和0.20,均变化微小。从研究期整体看,总功能水平为0.207,达到理想区间。结合各功能平均值,该区发展状况较好,后期应着重提高生产功能。

(4) II类限制开发区。禁止开发区在该区所占面积30%以上,且分布较为集中。根据主体功能定位,该区应以保护生态环境为重点。该区理想功能比为11:8:123,研究期内该区协调度均处于理想区间,土地利用功能协调度呈现上升趋势。

4 结论与讨论

本文从功能协调角度构建土地利用功能转型研究框架,建立基于可持续发展目标的土地利用功能分类体系,利用时空分析方法、改进的协调度模型对近20年来江苏省土地利用功能转型进行分析,研究结论如下:

(1) 江苏省土地利用功能变化显著,总功能水平提升减慢。在土地利用总功能变化方面,1995-2015年江苏省土地利用总功能逐渐提升,由快速提升阶段转向缓慢提升阶段;在土地利用各功能变化方面,土地利用从趋于单一向趋于多元化发展,各功能间差异波动变化,存在较大的不平衡性。

(2) 江苏省土地利用生态功能空间集聚现象突出,生产、生活功能空间集聚效应不突出。江苏省生态功能的热点区与冷点区呈“Y”状分布,其中生态功能热点区域主要集中在江苏省两大湖泊洪泽湖、太湖附近;冷点区主要分布在徐州、连云港市等江苏北部部分地区。热点区域随时间变化不显著,冷点部分区域则呈反复交替现象。

(3) 江苏省主体功能区功能协调变化各不相同,土地利用功能转型模式不一。在功能协调演变方面,重点开发区和限制开发区可持续发展态势总体良好,但优化开发区可持续发展程度较弱并持续恶化。在土地利用功能转型方面,优化开发区应以加快生活功能转型为重点,着力提升土地利用功能的总体水平;重点开发区应以加快生活、生产功能转型为重点,同时提高土地利用功能总体水平;I类限制开发区应以向生产功能转型为重点;II类限制开发区应以提升土地利用功能为重点。

近年来围绕生态文明建设,江苏省提出“两聚一高”方略、“1+3”功能区战略等规划愿景,在规划定位方面,提出了“聚力创新、聚焦富民,高水平全面建成小康社会”的总目标,在推进区域协调发展方面构建了“高效、集约、均衡、永续发展”的美好蓝图。但在相关规划战略实施中却面临土地资源紧张、环境质量下降等现实问题。本研究可为深入分析土地利用可持续态势提供参考,对主体功能定位下引导土地利用功能转型提供借鉴。在相关战略规划制定时,除满足国家相关要求、区域定位外,还应了解区域土地利用功能转型特征、功能协调态势,分优先推进、重点实施、严格落实类型采取差别化的规划策略。根据研究结果,江苏应优先推进苏南现代化示范区建设,重点实施重点开发区、I类限制开发区功能转型策略,严格落实II类限制开发区、禁止开发区生态保护监管职责。优先推进苏南现代化示范区建设,加强创新型区域建设,优化产业结构,推动生活功能转型。在主体功能区规划定位下,完善区域土地利用功能转型策略,重点实施重点开发区向生活功能转型、I类限制开发区向生产功能转型策略。在重点开

发区注意引进优化开发区先进技术,提高重点开发区设施化水平;在Ⅰ类限制开发区注意提高农业生产能力,有条件地区开展高效设施农业,达到“开发”“保护”并进的目。在“1+3”功能区战略实施中,还应特别注意扬子江城市群环境质量下降、土地利用粗放等问题和风险,提升限制开发区、禁止开发区的保护水平。

受基础数据和研究对象的限制,本文构建的土地利用功能评价指标体系还有待完善,相应的土地利用功能协调机制也值得进一步深入。后期,将考虑进一步细化土地利用功能分类体系,深化功能量化方法,拓展区域外部联系,以提升对区域土地利用系统功能协调的认识。

参考文献(References):

- [1] HU Q N. Ecosystem services for meeting sustainable development goals: Challenges and pathways. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, 2015, 2(1): 42-44.
- [2] 赵兴国,潘玉君,丁生,等. 中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征. *农业工程学报*, 2014, 30(3): 196-204. [ZHAO X G, PAN Y J, DING S, et al. Evaluation of regional land use sustainability and its spatial-temporal pattern among provinces in China. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(3): 196-204.]
- [3] 段宝玲,卜玉山. 全球土地计划第二次开放科学大会会议述评. *生态学报*, 2014, 34(10): 2796-2799. [DUAN B L, BU Y S. Review of the second open science conference of the global land project. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(10): 2796-2799.]
- [4] 刘永强,龙花楼. 黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制. *地理学报*, 2016, 71(4): 666-679. [LIU Y Q, LONG H L. Land use transitions and their dynamic mechanism in the Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 666-679.]
- [5] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理. *地理研究*, 2015, 34(9): 1607-1618. [LONG H L. Land use transition and land management. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1607-1618.]
- [6] GRAINGER A. National land use morphology: Patterns and possibilities. *Geography*, 1995, 80(3): 235-245.
- [7] 龙花楼,李秀彬. 区域土地利用转型分析: 以长江沿线样带为例. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 144-149. [LONG H L, LI X B. Analysis on regional land use transition: A case study in transect of the Yangtze River. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 144-149.]
- [8] 龙花楼,李秀彬. 长江沿线样带农村宅基地转型. *地理学报*, 2005, 60(2): 179-188. [LONG H L, LI X B. Rural housing land transition in transect of the Yangtze River. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 179-188.]
- [9] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 131-138. [LONG H L. Land use transition and rural transformation development. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 131-138.]
- [10] 曲艺,龙花楼. 基于开发利用与产出视角的区域土地利用隐性形态综合研究: 以黄淮海地区为例. *地理研究*, 2017, 36(1): 61-73. [QU Y, LONG H L. The integrated research on regional land use recessive morphology from the perspectives of exploitation and output: The case of the Huang-Huai-Hai region. *Geographical Research*, 2017, 36(1): 61-73.]
- [11] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架. *地理学报*, 2017, 72(3): 471-487. [SONG X Q. Discussion on land use transition research framework. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(3): 471-487.]
- [12] VERBURG P H, STEEG J, VELDKAM A, et al. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(3): 1327-1335.
- [13] 樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201. [FAN J. Draft of major function oriented zoning of China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 186-201.]
- [14] 张佰林,高江波,高阳,等. 中国山区农村土地利用转型解析. *地理学报*, 2018, 73(3): 503-517. [ZHANG B L, GAO J B, GAO Y, et al. Land use transition of mountainous rural areas in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 503-517.]
- [15] KONIG H J, PODHORA A, HELMING K, et al. Confronting international research topics with stakeholders on multi-functional land use: The case of Inner Mongolia, China. *Iforest-Biogeoosciences and Forestry*, 2014, 7(6): 403-413.

- [16] 王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断: 以广州市为例. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1698-1713. [WANG F, DONG Y X. Dynamic evaluation of land use functions based on grey relation projection method and diagnosis of its obstacle indicators: A case study of Guangzhou city. Journal of Natural Resources, 2015, 30(10): 1698-1713.]
- [17] 陈影, 许焱, 陈亚恒, 等. 基于遥感影像的县域土地功能分类及功能转换分析. 农业工程学报, 2016, 32(13): 263-272. [CHEN Y, XU H, CHEN Y H, et al. Analysis of land function classification and transformation in county based on remote sensing image. Transactions of the CSAE, 2016, 32(13): 263-272.]
- [18] 曲衍波, 姜广辉, 张佰林, 等. 山东省农村居民点转型的空间特征及其经济梯度分异. 地理学报, 2017, 72(10): 1845-1858. [QU Y B, JIANG G H, ZHANG B L, et al. Spatial characteristics of rural residential land transition and its economic gradient differentiation. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(10): 1845-1858.]
- [19] 许凤娇, 吕晓, 陈昌玲. 山东省城乡建设用地转型的时空格局. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1554-1567. [XU F J, LYU X, CHEN C L. Spatial-temporal pattern of urban-rural construction land transition in Shandong province. Journal of Natural Resources, 2017, 32(9): 1554-1567.]
- [20] 孙丕苓, 许月卿, 刘庆果, 等. 环京津贫困带土地利用多功能性的县域尺度时空分异及影响因素. 农业工程学报, 2017, 33(15): 283-292. [SUN P L, XU Y Q, LIU Q G, et al. Spatiotemporal differentiation and driving factors of multi-functionality of land use in county scale in poverty belt around Beijing and Tianjin. Transactions of the CSAE, 2017, 33(15): 283-292.]
- [21] 杨皓然, 吴群. 碳排放视角下的江苏省土地利用转型生态效率研究: 基于混合方向性距离函数. 自然资源学报, 2017, 32(10): 1718-1730. [YANG H R, WU Q. Study on the eco-efficiency of land use transformation in Jiangsu province from the perspective of carbon emission: Based on the mixed directional distance function. Journal of Natural Resources, 2017, 32(10): 1718-1730.]
- [22] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 等. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. 自然资源学报, 2017, 32(6): 961-976. [SHI Y Y, LYU X, HUANG X J, et al. Arable land use transitions and its response of ecosystem services value change in Jiangsu coastal areas. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 961-976.]
- [23] 胡莹洁, 李月, 孔祥斌, 等. 1980-2010年北京市农用地碳储量对土地利用变化的响应. 生态学报, 2018, 38(13): 1-11. [HU Y J, LI Y, KONG X B, et al. Response of agricultural land carbon storage to land use change in Beijing from 1980 to 2010. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(13): 1-11.]
- [24] 唐常春, 樊杰, 陈小良. 基于地域功能的土地利用协调研究: 以长株潭生态绿心暮云镇为例. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1645-1655. [TANG C C, FAN J, CHEN X L. Analysis of land utilization coordination based on territorial function: A case study of Muyun town of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan ecological green heart. Journal of Natural Resources, 2012, 27(10): 1645-1655.]
- [25] ZHOU D, XU J C, LIN Z L, et al. Conflict or coordination? Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis. Science of the Total Environment, 2017, 577: 136-147.
- [26] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式. 自然资源学报, 2017, 32(5): 788-799. [JIANG L, BAI L, WU Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5): 788-799.]
- [27] WANG R, CHENG J H, ZHU Y L, et al. Evaluation on the coupling coordination of resources and environment carrying capacity in Chinese mining economic zones. Resources Policy, 2017, 53: 20-25.
- [28] 牛星. 土地利用系统演化分析与调控管理. 上海: 上海交通大学出版社, 2012. [NIU X. Land Use System Evolution Analysis and Regulation Management. Shanghai: Profile of Shanghai Jiao Tong University Press, 2012.]
- [29] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [LIU J L, LIU Y S, LI Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of "production-living-ecological" spaces in China. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304.]
- [30] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65. [LI G D, FANG C L. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1): 49-65.]

- nica, 2016, 71(1): 49-65.]
- [31] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例. 地理科学, 2017, 37(1): 1-9. [YANG Q K, DUAN X J, WANG L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(1): 1-9.]
- [32] 包玉斌, 李婷, 柳辉, 等. 基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化. 地理研究, 2016, 35(4): 664-676. [BAO Y B, LI T, LIU H, et al. Spatial and temporal changes of water conservation of Loess Plateau in northern Shaanxi province by InVEST model. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 664-676.]
- [33] 方创琳, 贾克敬, 李广东, 等. 市县土地生态—生产—生活承载力测度指标体系及核算模型解析. 生态学报, 2017, 37(15): 5198-5209. [FANG C L, JIA K J, LI G D, et al. Theoretical analysis of the index system and calculation model of carrying capacity of land ecological-production-living spaces from county scale. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(15): 5198-5209.]
- [34] 李天宏, 郑丽娜. 基于 RUSLE 模型的延河流域 2001-2010 年土壤侵蚀动态变化. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1164-1175. [LI T H, ZHENG L N. Soil erosion changes in the Yanhe watershed from 2001 to 2010 based on RUSLE model. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(7): 1164-1175.]
- [35] 杨一鹏, 曹广真, 侯鹏, 等. 城市湿地气候调节功能遥感监测评估. 地理研究, 2013, 32(1): 73-80. [YANG Y P, CAO G Z, HOU P, et al. Monitoring and evaluation for climate regulation service of urban wetlands with remote sensing. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 73-80.]
- [36] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究. 生态学报, 2017, 37(13): 4538-4548. [LIU Z F, TANG L N, QIU Q Y, et al. Temporal and spatial changes in habitat quality based on land-use change in Fujian province. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(13): 4538-4548.]
- [37] XU F L, ZHAO S S, DAWSON R W, et al. A triangle model for evaluating the sustainability status and trends of economic development. *Ecological Modelling*, 2006, 195: 327-337.
- [38] ZHANG J, PU L J, PENG B Z. Regional sustainability evaluation based on triangle model: A case study of Chuzhou, China. *Advanced Materials Research*, 2012, 361: 1476-1480.
- [39] SCHLENKER B R, SCHLENKER P A, SCHLENKER K A. Antecedents of academic engagement and the implications for college grades. *Learning and Individual Differences*, 2013, 27: 75-81.
- [40] ANCKER J S, KERN L M, ABRAMSON E, et al. The triangle model for evaluating the effect of health information technology on healthcare quality and safety. *American Medical Informatics Association Journal*, 2012, 19(1): 61-65.
- [41] 林锦耀, 黎夏. 基于空间自相关的东莞市主体功能区划分. 地理研究, 2014, 33(2): 349-357. [LIN J Y, LI X. MFOZ planning of Dongguan based on spatial autocorrelation by using genetic algorithms. *Geographical Research*, 2014, 33(2): 349-357.]

Spatial-temporal characteristics and coordination status of the land use function transition in Jiangsu province from 1995 to 2015

ZHANG Xiao-lin¹, JIN Xiao-bin^{1,2,3}, FAN Ye-ting¹, LIU Jing¹,
SHAN Wei¹, ZHOU Yin-kang^{1,2,3}

(1. College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Key Laboratory of Coastal Zone Exploitation and Protection, Ministry of Land and Resources,

Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Provincial Land Development and Consolidation Technology
and Engineering Center, Nanjing 210023, China)

Abstract: The land use function transition is an important measure to promote the coordination of land use functions and achieve sustainable regional development. This paper constructs an analysis framework for land use function transition based on sustainable development from the perspective of functional coordination, and uses the five phases of remote sensing images of Jiangsu province in 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015, as well as related resource utilization and socio-economic data to construct the three level evaluation system of land use function. Taking the county as an evaluation unit, through triangle model and spatial correlation analysis, the spatial-temporal evolution characteristics of land use functions are quantitatively analyzed, and the coordination status of land use functions is proposed for sustainable land use in Jiangsu province. This paper has obtained the following main findings: (1) During the research period, the overall level of land use function in Jiangsu province has increased at a slower pace. The production and living functions have enhanced in different degrees, and the ecological function has significantly been reduced. (2) The spatial aggregation of production and living functions of land use in this province has not been obvious, and the areas of ecological functional hot spots and cold spots have a "Y"-shaped pattern of agglomeration distribution. (3) The sustainable development of different functional areas has not been the same. The sustainable development of key development zones and restricted development zones has been generally good. The sustainable development of optimizing development zones has been weak and continued to deteriorate. In the process of implementing development plans and space planning, we suggest that priority should be given to construct the modern demonstrative region in Southern Jiangsu, the key development zones should be focused on the living function transition, the restricted development zones (I type) should be focused on the production function transition, and the forbidden development zones should be implemented strictly to protect the environment.

Keywords: land use function; land use transition; functional coordination; sustainable development; Jiangsu province