

基于主体功能区规划的中国城乡建设用地扩张 时空特征遥感分析

刘纪远¹, 刘文超^{1,2}, 匡文慧¹, 宁佳¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 21世纪以来,随着中国社会经济的快速发展,城乡建设用地不断扩张,对社会经济和生态环境造成了一系列影响。为了国家可持续发展目标的实现,必须对国土开发空间布局做出科学的规划。为此,一些学者开展了国家主体功能区规划方案研究,其研究成果支持了国家主体功能区规划的制定,该规划于2010年底颁布实施。为分析各类主体功能区在规划颁布前后城乡建设用地变化的特征,评估规划对区域开发的指导作用,及时发现规划实施中的问题,有必要采取有效手段对不同类型主体功能区的国土开发活动进行监测和评估。为此,本研究团队在已完成的2000年和2010年两期全国土地利用变化数据库的基础上,更新了2013年全国土地利用数据库,生成分期的城乡建设用地空间数据集;并对国家尺度各类主体功能区,以及东部、中部、西部、东北4大区域在主体功能区规划颁布前10年间(2000-2010年)和后3年内(2010-2013年)城乡建设用地扩张特征与差异进行了对比分析。结果表明:① 总体而言,2013年优化开发区、重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区城乡建设用地在该类主体功能区国土面积中的占比明显不同,体现了国土开发按照不同主体功能布局的梯级特征。② 与2000-2010年相比,2010-2013年优化开发区城乡建设用地年增长率明显降低,重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区建设用地年增长率均大幅增加;其中重点开发区和农产品主产区的城乡建设用地年均扩张面积已经超过了优化开发区;重点生态功能区城乡建设用地年均扩张面积和动态度仍处于最低的水平。③ 在区域尺度,优化开发区中,长江三角洲地区建设用地年均增量明显高于其他优化开发区;重点开发区中,西部地区在年增加面积和增加速率两方面均高于其他区域;农产品主产区中,东部、中部和西部地区内城乡建设用地年增加面积均超过前10年的2倍,西部地区的年增加速率更是达到前10年的3倍以上;重点生态功能区中,中部地区城乡建设用地的年变化率和动态度的增长均最为显著。④ 2010-2013年中国城乡建设用地扩张的空间格局和变化特征,在总体上体现了主体功能区规划的梯级开发特征。但是,局部优化开发区、农产品主产区和重点生态功能区建设用地的扩张速度过快,必须切实加强空间管控。研究表明,采用空间格局变化的分析方法,开展主体功能区规划颁布前后两个时期城乡建设用地扩张特征与分阶段区域差异的分析,清晰刻画出不同功能区 and 不同地区建设用地变化规律及其与主体功能区规划的契合程度,证明了该分析方法的有效性,可据此为未来国土开发空间格局的优化和城乡建设发展提供科学依据。

关键词: 主体功能区; 卫星遥感; 土地利用变化; 城乡建设用地扩张; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201603001

收稿日期: 2015-12-14; 修订日期: 2016-01-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC03B00); 国家自然科学基金项目(41371409) [Foundation: National Key Technology R&D Program, No.2013BAC03B00; Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.41371409]

作者简介: 刘纪远(1947-), 男, 研究员, 博士生导师, 中国自然资源学会名誉理事长, 中国地理学会会员(S110001625M), 主要从事资源环境遥感与土地利用/覆盖变化及其宏观生态效应研究。E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn

1 引言

人类对陆地生态系统以及景观的改变导致了全球气候和环境变化,继而影响着生物圈维持生命的能力。随着全球变化研究的不断深入,土地利用与土地覆盖变化(LUCC)作为全球气候和环境变化的重要原因受到国内外研究人员和专家学者的广泛关注^[1-5],已成为全球变化研究的重点领域。1995年,“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球环境变化的人文领域计划”(IHDP)共同拟定并发表了《土地利用/土地覆盖变化科学研究计划》,提出了土地利用变化的机制、土地覆盖变化的机制、建立区域和全球尺度的模型3个研究重点^[6-7]。2005年末,IGBP和IHDP共同提出了全球土地计划(Global Land Project, GLP),GLP进一步提出了LUCC的规律与机制、LUCC的影响与效应,以及LUCC动力学及其生态效应建模等研究重点,力求在方法上实现对陆地系统中人与环境耦合关系的量测和模拟,从而帮助人类增进对陆地系统变化及其社会经济后果的理解^[8]。此后,以人地耦合关系为核心的土地利用与土地覆盖研究成为国内外学者关注的焦点问题^[9-10]。

20世纪70年代以来,中国社会经济快速发展,城市化、工业化进程加快,导致中国的土地资源利用始终处于快速的变化过程中。国土空间开发普遍存在开发利用的低效浪费和违背空间属性的盲目开发现象^[11-12],造成生态环境日趋恶化。为有效保护和开发国土资源,樊杰等提出了一套以服务国家自上而下的国土空间保护与利用的政府管制为宗旨且具有实用性、创新性和前瞻性的中国主体功能区划方案。2010年,该方案被国务院作为“全国主体功能区规划”发布,随后在全国人大发布的第十二个国民经济与社会发展五年规划中上升为“主体功能区战略”,2013年在中共中央十八届三中全会决议中被确定为“主体功能区制度”^[13]。该方案从地域功能的角度,将国土空间按开发内容分为4种类型和两个层级,其中4种类型分别是城市化区域、农产品主产(粮食安全)区域、重点生态功能(生态安全)区域、自然和文化遗产保护区域等;两个层级为国家级和省区级^[14-15];按开发方式分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域4类主体功能区。各类主体功能区开发方式、保护内容及首要发展任务均各不相同。

开展国家尺度长时间序列高精度的土地利用/覆盖变化遥感监测,并获取土地利用/覆盖变化的相关信息,对研究中国不同主体功能区城乡建设用地扩张特征具有重要意义^[16-17]。本研究团队在已完成的2000年和2010年两期全国土地利用变化数据库的基础之上^[18-20],更新了2013年全国土地利用数据库并生成分期的城乡建设用地扩张空间数据集。基于以上数据集,分析2000年至今中国城乡建设用地扩张的时空特征,并对比2000-2010年和2010-2013年中国不同主体功能区城乡建设开发格局的异同及其与主体功能区规划的契合程度,进而为国土空间管控和城乡建设发展提供政策依据。

2 数据与方法

2.1 土地利用数据集

在已建立的2000年和2010年两期全国土地利用变化数据库的基础^[18-20]上,利用遥感图像计算机屏幕人机交互直接判读为核心的全国土地利用遥感制图技术方案,更新了2013年的全国土地利用变化数据库。具体方法是通过2010年与2013年遥感影像对比,在2010年土地利用数据的基础上,判定并勾画变化区域并标注类型变化的动态信息编码,该编码能够同时反映变化斑块在2010年和2013年前后两个时段的土地利用类型。在

此基础上建成了2013年全国1:10万比例尺土地利用数据库,并生成了两期(2000-2010年、2010-2013年)城乡建设用地扩张空间数据集。遥感数据源主要是Landsat TM影像,在Landsat TM数据无法覆盖或质量较差的区域,使用资源三号卫星影像和Google Earth影像等数据进行补充,以提高判读和制图精度。通过图形切割处理和面积平差计算,分别计算出全国耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地、未利用地等6个一级类型及25个二级类型的土地面积。为保证数据的质量与精度,在2013年数据解译前期对全国范围内开展野外调查,并对野外调查资料与外业实地记录,按照10%的县数比例随机抽取图斑开展精度验证。经验证,土地利用一级类型综合评价精度达到94.3%以上,二级类型分类综合精度达91.2%以上,满足1:10万比例尺用户制图精度。

本研究将城乡建设用地进一步分为3个二级土地利用类型进行分析,分别为城镇用地、农村居民点用地和工矿交通建设用地。其中城镇用地指大城市、中等城市、小城市及镇以上的建成用地;农村居民点用地指镇以下的居民点用地;工矿交通建设用地指独立于各级居民点以外的厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地,以及交通道路、机场、码头及特殊用地。

2.2 国家级主体功能区区划

主体功能区数据主要来源于国务院发布的《全国主体功能区规划》及中国主体功能区划(V1.0)方案^[13]。主体功能区按开发方式分为优化开发区、重点开发区、限制开发区和禁止开发区,其中限制开发区又分为农产品主产区和重点生态功能区两类。其中,优化开发区是综合实力较强,经济规模较大,城乡建设体系比较健全,内在经济联系紧密和科技基础创新能力较强的地区,包括环渤海地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区等;重点开发区通常是具备较强的经济基础,城乡建设体系初步形成和能够带动周边地区发展的区域,包括长江中游地区、冀中南地区、中原经济区等18个地区;限制开发区主要是限制大规模高强度城市建设的农产品主产区和重点生态功能区;禁止开发区是禁止进行工业化和城市化开发的严格生态保护区^[13]。由于禁止开发区是叠加在前三类功能区之上的一种功能类型区,而且面积较其他三类功能区而言相对较小,因此本文未考虑此类型。主体功能区按地域功能层级分为国家级和省级两类,本文重点研究国家级主体功能区,省级主体功能区暂未考虑。中国主体功能区划(V1.0)方案主要以县级行政区划为单元,但部分区域由于考虑与其他指标和规划的协调性,一个县级行政区划中有两个或以上主体功能区划类型。本研究严格按照县级行政区划为单元,当某一单元含有两个或以上主体功能区划类型时,则将其剔除,仅保留全县为同一类主体功能区划类型的县份(图1,表1)。这样将更有利于分析区域城乡建设用地扩张变化的特征与差异。

2.3 全国主要发展区域的划分

为了更好地揭示各主体功能

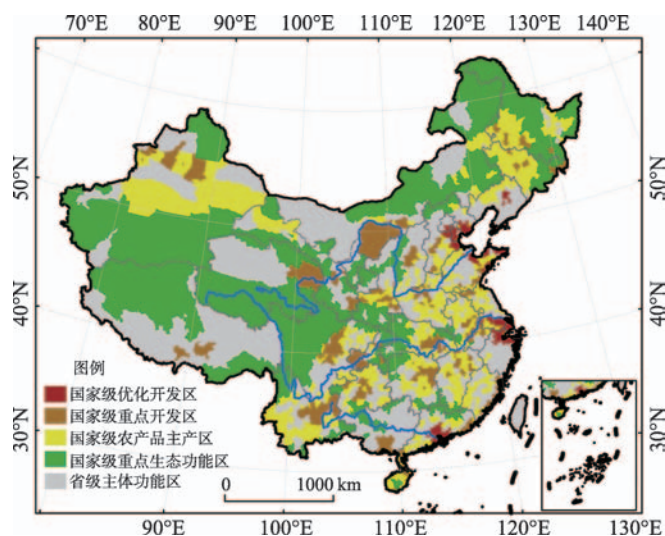


图1 中国主体功能区划^[13]

Fig. 1 Major Function-oriented Zones of China (Fan Jie, 2015)

区区域特征及区域间差异, 根据中国区域协调发展的战略布局, 将全国分为东部沿海、中部、西部、东北4大区域 (图2)。优化开发区主要集中于东部沿海地区, 关于优化开发区的具体分析将其进一步细分为京津冀地区、长江三角洲地区、珠江三角洲地区、辽中南地区和山东半岛地区。

2.4 建设用地年变化率及建设用地动态度

为了更好地揭示城乡建设用地扩张的速率和强度, 采用“建设用地年变化率”和“建设用地动态度”两个指标, 二者单位均为%/yr。其中建设用地年变化率计算公式为:

$$K=\left\{\sum_{ij}^n\left(\frac{\Delta S_{ij}}{S_i}\right)\right\} \times \frac{1}{t} \times 100 \% \quad (1)$$

式中: S_i 为监测开始时间建设用地总面积; ΔS_{ij} 为监测开始至监测结束时段内建设用地与其他类土地利用类型相互转化面积的总和; t 为时间段; 建设用地年变化率 K 反映了与 t 时段对应的研究区建设用地变化速率。

建设用地动态度的计算公式为:

$$S=\left\{\sum_{ij}^n \frac{\Delta S_{ij}}{S_a}\right\} \times \frac{1}{t} \times 100 \% \quad (2)$$

式中: S_a 为研究区总面积; ΔS_{ij} 为监测开始至监测结束时段内建设用地与其他类土地利用类型相互转化面积的总和; t 为时间段; 建设用地动态度 S 反映了与 t 时段对应的研究区建设用地变化的剧烈程度。

3 结果与分析

3.1 2013年全国各主体功能区城乡建设用地格局分析

2013年国家级主体功能区内共有城乡建设用地 $17.22 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土面积的 1.79%。优化开发区、重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区内建设用地面积分别为 $3.74 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $4.25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $7.61 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $1.63 \times 10^4 \text{ km}^2$, 分别占该类主体功能区国土面积的 27.02%、6.27%、4.18% 和 0.43% (表2), 总体上体现了国土开发按照不同主体功能布局的梯级特征。城乡建设用地二级类在不同主体功能区中所占比重也明显不同。优化开发区中城镇用地占比达到 50.82%, 表明其发展模式以城市化为主; 重点开发区中城镇用地、农村居民点和工矿交用地比例分别为 36.40%、44.41% 和 19.19%, 表明重点开发区呈现出城市、农村及工矿业发展并重的局面; 而农产品主产区和重点生态功能区中农村

表 1 中国主体功能区划基本情况

国家级功能类型	区县个数		土地面积	
	数量	百分比(%)	数量(万 km ²)	百分比(%)
优化开发区	134	8.50	13.87	2.15
重点开发区	361	23.46	67.76	10.51
农产品主产区	692	41.98	181.90	28.21
重点生态功能区	419	26.06	381.25	59.13

注: 区县个数来源于国家测绘地理信息局提供的 2012 版中国县域行政边界矢量数据的统计结果, 且统计结果未按照市辖区合并行政区。土地面积为县域数据统计结果。

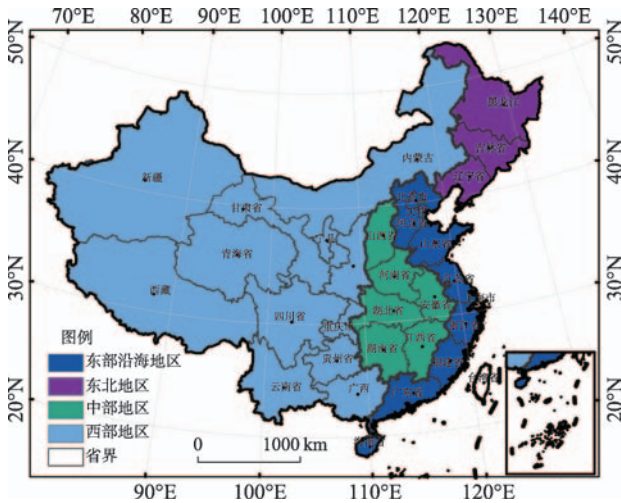


图 2 中国主要发展区域的划分

Fig. 2 The distribution on major development zones

居民点占比分别为71.03%、68.01%，表明此二类主体功能区以农村建设为主（表3）。因此，城乡建设用地二级类的占比能够清晰体现出不同主体功能区的发展定位。

在空间上，2013年优化开发区城乡建设用地主要分布于京津冀地区的北京和天津、长江三角洲地区及珠江三角洲地区，在辽中南地区和山东半岛地区也有零星分布。重点开发区城乡建设用地主要分布于东部沿海地区的天津市滨海地区、河北省南部以及山东省和江苏省交界地带，中部地区的山西省中部、河南省北部及湖北省东部地区，此外在西部地区的四川省中部、陕西省中部和重庆市也有较为集中的分布。农产品主产区城乡建设用地主要分布于东部沿海地区的河北省、山东省和江苏省大部分地区，中部地区的河南省和安徽省大部分地区以及东北地区西部。重点生态功能区城乡建设用地分布则较为分散，零星分布于全国大部分地区（图3）。

3.2 2000-2010 年和 2010-2013 年全国各主体功能区城乡建设用地扩张特征与区域差异对比

在空间上，2000-2010年全国建设用地扩张广泛分布于东部沿海地区及中部地区，并在东北地区南部和西部地区的甘肃省南部、四川省东部以及重庆市等地区有较为明显的扩张。其中建设用地扩张最为明显的地区主要位于京津冀地区的北京和天津、长江三角洲地区、珠江三角洲地区以及西部地区的重庆市和四川省成都市等地，此外，中部地区的各省会城市周边建设用地扩张也较为明显（图4a）。2010-2013年全国建设用地扩张最明显的地区位于长江三角洲，其次为环渤海地区，东北地区大部分地区建设用地扩张并不显著（图4b）。

从数量上看，与2000-2010年相比，4类主体功能区建设用地2010-2013年年变化面积均有不同程度的增加（图5b），其中2000-2010年优化开发区建设用地年变化面积最高，而在2010-2013年，优化开发区年变化面积增速明显降低，转为重点开发区建设用地年变化面积最高（表4）。与研究期前10年相比，后3年优化开发区年增长率明显降低，其他各类主体功能区的建设用地年变化率均明显提高（图5c），其中以重点开发区年变化

表2 2013年中国各主体功能区城乡建设用地面积及在该类主体功能区国土面积中的占比

Tab. 2 Area and percentage of built-up area of Major Function-oriented Zones in 2013

	主体功能区面积(万 km ²)	建设用地面积(万 km ²)	占国土面积比例(%)
优化开发区	13.87	3.74	27.02
重点开发区	67.76	4.25	6.27
农产品主产区	181.90	7.61	4.18
重点生态功能区	381.25	1.63	0.43

表3 2013年中国各主体功能区城乡建设用地二级类占比

Tab. 3 The percentage of sub-classes of built-up area from Major Function-oriented Zones in 2013

	城乡建设用地面积(万 km ²)	城镇用地比例(%)	农村居民点比例(%)	工矿交通用地比例(%)
优化开发区	3.74	50.82	31.82	17.35
重点开发区	4.25	36.40	44.41	19.19
农产品主产区	7.61	18.33	71.03	10.64
重点生态功能区	1.63	16.85	68.01	15.14

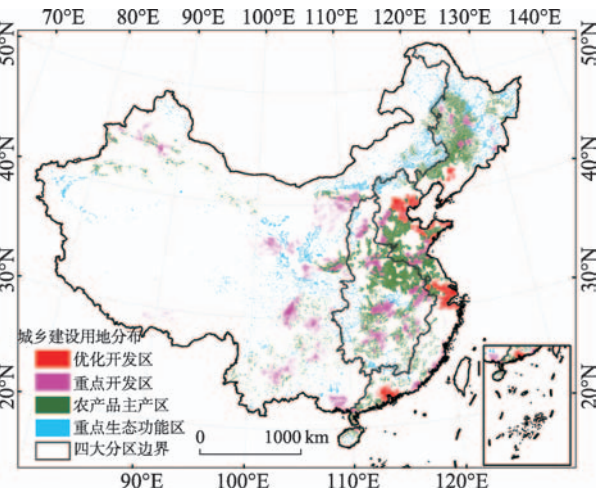


图3 2013年中国各主体功能区城乡建设用地空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of built-up area from Major Function-oriented Zones in 2013

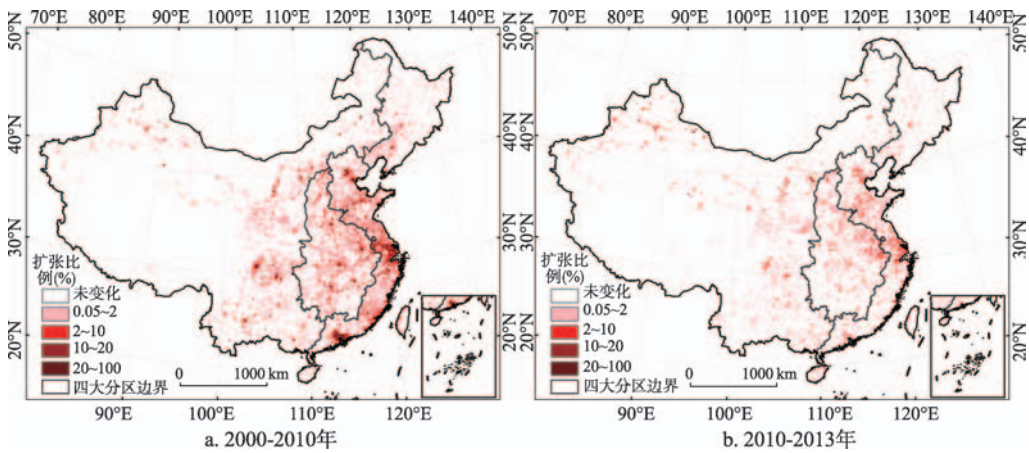


图4 2000-2010年和2010-2013年中国各主体功能区城市扩张空间分布

Fig. 4 Urban expansion for Major Function-oriented Zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

率最高，重点生态功能区年变化率增速最快，其后3年建设用地年变化率为前10年的2.79倍，但其年均扩张面积仍处于最低水平（表4）。此外，研究期后3年各类主体功能区动态度均有所提高，其中优化开发区略有提高，重点生态功能区提高最为明显（图5d），但从数值上看，2010-2013年建设用地动态度依然是优化开发区最高，虽然其动态度与前10年基本持平，但仍比其他3类主体功能区高出数倍（表4）。

21世纪前10年和后3年相比，4类国家级主体功能区建设用地面积均呈现持续增加趋势，后3年增加的总面积均小于前10年增加的总面积，但不同主体功能区年变化面积和年变化率差异较大。优化开发区建设用地在前后两个阶段年变化面积基本持平，略有增长，但年变化率略有下降。优化开发区建设用地的扩张主要表现在大中型城市的扩张，建设用地的面积增加主要来源于城市建设用地侵占城市周边和郊区的耕地。在优化开发区内部，东部沿海和东北地区建设用地扩张呈现出“南方减缓，北方持平，中部继

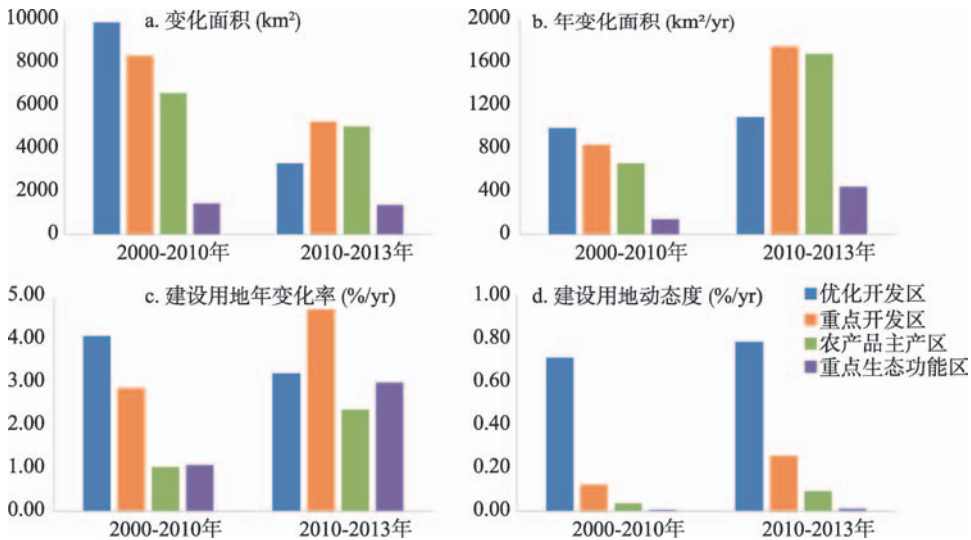


图5 2000-2010年及2010-2013年中国各类主体功能区城市扩张相关指标统计

Fig. 5 The charts of urban expansion related indexes from Major Function-oriented Zones in 2000-2010 and 2010-2013

表4 2000-2010年和2010-2013年中国各类主体功能区城市扩张相关指标统计

Tab. 4 The related indexes of urban expansion from Major Function-oriented Zones in 2000-2010 and 2010-2013				
功能区类型	各类主体功能区总面积(km ²)	指标	2000-2010年	2010-2013年
优化开发区	138677.75	变化面积(km ²)	9863.24	3277.02
		年变化面积(km ² /yr)	986.32	1092.34
		建设用地年变化率(%/yr)	4.07	3.20
		建设用地动态度(%/yr)	0.71	0.79
重点开发区	677553.16	变化面积(km ²)	8300.64	5238.82
		年变化面积(km ² /yr)	830.06	1746.27
		建设用地年变化率(%/yr)	2.86	4.68
		建设用地动态度(%/yr)	0.12	0.26
农产品主产区	1819041.33	变化面积(km ²)	6551.95	5016.57
		年变化面积(km ² /yr)	655.19	1672.19
		建设用地年变化率(%/yr)	1.02	2.35
		建设用地动态度(%/yr)	0.04	0.09
重点生态功能区	3812537.64	变化面积(km ²)	1449.10	1337.47
		年变化面积(km ² /yr)	144.91	445.82
		建设用地年变化率(%/yr)	1.07	2.98
		建设用地动态度(%/yr)	0.004	0.012

续加速”的空间格局。与前10年相比，2010-2013年重点开发区建设用地年变化面积和年变化率增加幅度较大，基本上是前10年的两倍。建设用地的增加主要表现在城镇用地和农村居民点的扩张。在全国尺度上，重点开发区建设用地扩张呈现出“西部和东北急剧加速，东部沿海和中部增速基本持平”的趋势。与前10年相比，2010-2013年农产品主产区建设用地的年变化面积和年变化率明显增加，其中年变化面积增加了约1.5倍，年变化率增加了约1.3倍。农产品主产区建设用地扩张呈现出“全区明显增速，西部急剧加速”的趋势。而重点生态功能区后3年与前10年相比建设用地的年变化面积增加了约2倍，年变化率增加了约1.8倍。重点生态功能区建设用地扩张呈现出“全区增速显著，西部急剧加速，东北增速放缓”的趋势。农产品主产区和重点生态功能区中建设用地的增加包括城镇用地和农村居民点的扩张，但这两个区内农村居民点所占比例较大，建设用地扩张也主要源于农村居民点的扩张。

从整体上看，全国优化开发区的城乡建设用地扩张速率得到有效控制，建设用地年变化率明显下降，但由于其主体功能区总面积小，且建设用地扩张面积较大这一特点，导致其建设用地动态度在研究时期的后3年依然维持最高。这在一定程度上表明，主体功能区规划颁布以来，优化开发区的城市化进程已开始由单纯的城镇用地面积扩张向城市化结构优化方向良性发展。重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区的建设用地年变化率和动态度在2010-2013年均有很大程度的提高。重点开发区建设用地高速率和高强度的扩张反映了重点开发区城市化进程的加快，这是国家主体功能区战略中重点区域开发政策落实的最直接表现。虽然农产品主产区和重点生态功能区建设用地年变化率和动态度在研究期后3年整体上依然较低，但与前10年相比，增长速率过快，并不符合国家主体功能区战略中其“限制开发”的功能定位。

3.3 2000-2010年和2010-2013年优化开发区城乡建设用地扩张特征与区域差异对比

从空间上看，2000-2010年全国优化开发区建设用地扩张非常显著，尤其是长江三角洲地区、珠江三角洲地区各省市以及北京、天津和沈阳地区，城市周边建设用地扩张在

10 km×10 km 栅格尺度上面积比例均超过 10%，而在一些经济发展较快的城市，如广州、深圳、北京、天津、上海、苏州、无锡等，每 10 km×10 km 范围内建设用地扩张面积比例甚至超过 20%（图 6a）。与前 10 年相比，2010-2013 年优化开发区建设用地扩张速度在很多地区均有所减缓，其中以珠江三角洲地区最为明显，在北京、天津两市周边地区建设用地均呈现一定程度扩张，而长江三角洲地区建设用地在主体功能区规划颁布后的 3 年间仍然有很大程度的扩张（图 6b）。

从数量上看，珠江三角洲地区建设用地年变化面积从研究期前 10 年的 261.44 km²/yr 迅速减少至 104.28 km²/yr，在 5 个对比区域内减少幅度最大；而长江三角洲地区建设用地年变化面积从研究期前 10 年的 414.34 km²/yr 快速增长至 634.96 km²/yr，在 5 个对比区域内增幅最为明显。其他区域增减幅度并不显著（图 7b）。与 2000-2010 年相比，2010-2013 年除辽中南地区和山东半岛地区建设用地年变化率有小幅增加外，其余 3 个地区建设用地年变化率均有所下降，其中珠江三角洲地区下降最为明显，其后 3 年建设用地年

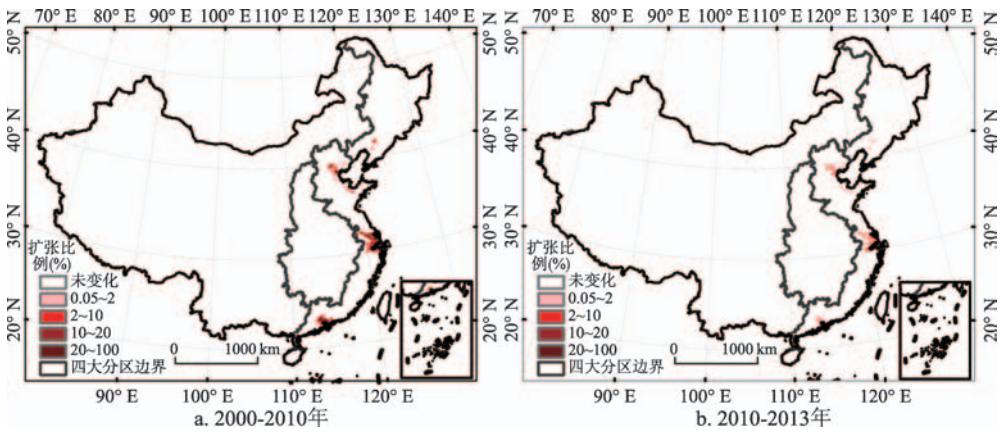


图 6 2000-2010 年和 2010-2013 年中国优化开发区城市扩张空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of urban expansion in optimal development zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

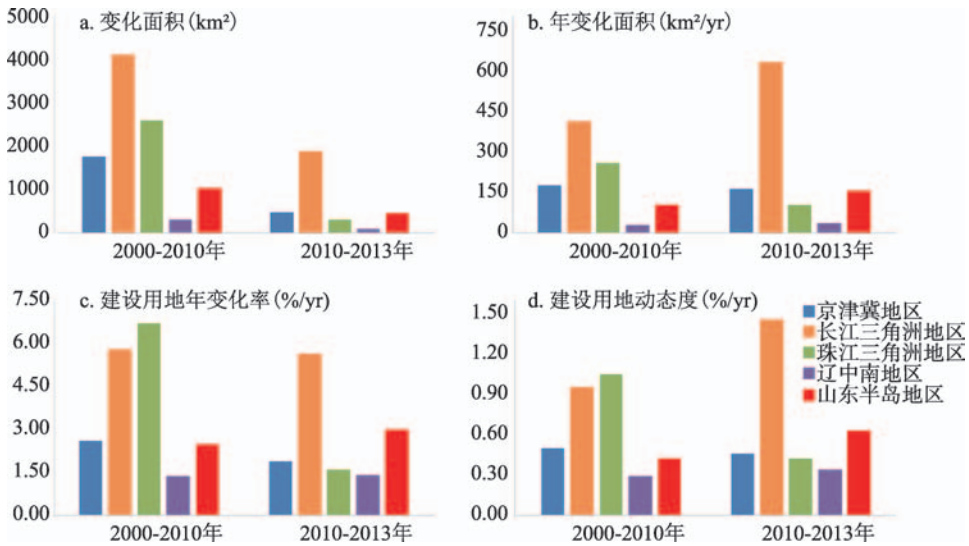


图 7 2000-2010 年和 2010-2013 年中国优化开发区城市扩张相关指标统计

Fig. 7 Urban expansion statistics of optimal development zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

变化率与前10年相比减少了5.1 %/yr, 山东半岛建设用地年变化率后3年比前10年增加了0.51 %/yr, 增幅最大(图7c)。从建设用地动态指标来看, 研究期前后建设用地变化最为剧烈的地区为长江三角洲地区和珠江三角洲地区, 其中长江三角洲地区后3年建设用地动态增加了0.51 %/yr, 达到了1.46 %/yr; 而珠江三角洲地区后3年建设用地动态减少了0.63 %/yr, 降至0.42 %/yr, 其他区域动态增减变化不大(图7d)。

从整体上看, 珠江三角洲地区在主体功能区规划颁布以来, 城市扩张速度与强度较前期均有一定程度的减缓, 其建设用地扩张模式得到一定程度的优化; 与之相反长江三角洲地区和山东半岛地区, 这两个地区的城市扩张速度与强度不减反增, 尤其以长江三角洲地区最为明显, 其年均增量明显高于其他优化开发区。而京津冀地区和辽中南地区城市扩张速度与强度在主体功能区规划颁布前后基本持平。

3.4 2000-2010年和2010-2013年重点开发区城乡建设用地扩张特征与区域差异对比

从空间上看, 2000-2010年间全国重点开发区城市扩张主要分布于东部沿海地区、中部地区和西部地区城市周边, 其中, 扩张较剧烈的地区主要包括东部沿海地区的山东省和江苏省交界地区、东北地区的吉林省长春市和黑龙江省哈尔滨市、中部地区的山西省中部、河南省北部、湖北省东部、湖南省东北部、江西省北部和安徽省中南部地区以及西部地区的内蒙古鄂尔多斯市、四川省成都市、重庆市、云南省昆明市与玉溪市及新疆乌鲁木齐市周边地区(图8a)。2010-2013年重点开发区城市扩张的空间分布状况与前10年基本保持一致, 增长最为明显的地区主要包括安徽省东中南部、内蒙古鄂尔多斯市、四川省成都市和新疆乌鲁木齐市(图8b)。

从数量上看, 建设用地年变化面积在4大分区内均有不同程度的增加, 研究期后3年较前10年增加最为明显的是西部地区, 从326.17 km²/yr增加至832.77 km²/yr; 此外, 东北地区年变化面积虽然总量较小, 但与前10年相比, 其增加幅度最大, 约为2.85倍。东部沿海地区和东北地区增加幅度较小(图9b)。2010-2013年间, 建设用地年变化率最高的是西部地区, 达到6.65 %/yr, 而较前10年增幅最大的是东北地区, 从1.10 %/yr增至2.82 %/yr(图9c)。就建设用地动态而言, 2010-2013年依然是东部沿海地区最高, 为0.63 %/yr, 而增加幅度最大的是东北地区和西部地区, 其后3年动态分别为前10年的2.86倍和2.57倍(图9d)。

整体上, 主体功能区规划颁布后, 重点开发区的城乡建设用地年均扩张面积已经超过了优化开发区, 同时其扩张速度和强度在4大分区内也均呈现增加态势, 其中以西部

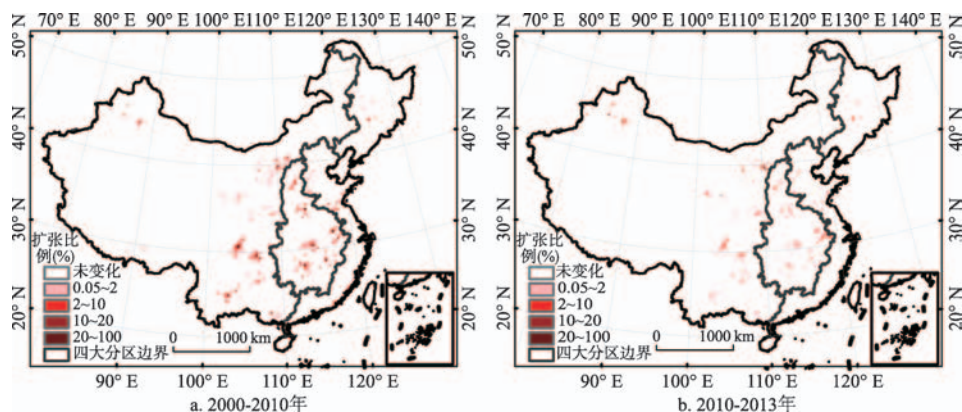


图8 2000-2010年和2010-2013年中国重点开发区城市扩张空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of urban expansion in key development zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

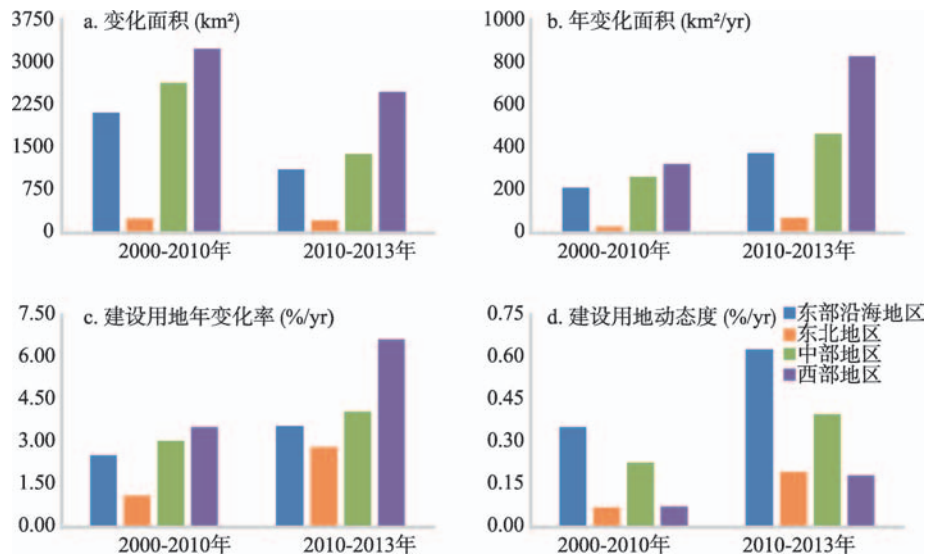


图9 2000-2010年和2010-2013年中国重点开发区城市扩张相关指标统计

Fig. 9 Urban expansion statistics of key development zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

地区和东北地区最为剧烈，西部地区建设用地年增加面积和增加速率两方面均高于其他区域。东部沿海地区和中部地区增加速度较缓，各大区城市扩张形势基本符合主体功能区规划要求。

3.5 2000-2010年和2010-2013年农产品主产区城乡建设用地扩张特征与区域差异对比

从空间上看，2000-2010年间全国农产品主产区建设用地扩张较为分散，零星分布于东部沿海地区、中部地区、东北地区南部和西部地区的东南角一带。虽然农产品主产区内的建设用地扩张覆盖全国，但总量较小，其中扩张速度较快的地区包括东部沿海的河北省和山东省交界地带、江苏省和福建省大部分地区，东北地区的辽宁省、吉林省西部，中部地区的河南省、安徽省、湖南省及湖北省，西部地区的四川省、云南省、贵州省及新疆北部地区（图10a）。相较前10年，2010-2013年农产品主产区城市扩张面积较小，且主要集中在河南、山东和安徽一带（图10b）。

从数量上看，2010-2013年全国农产品主产区建设用地年变化面积最大的是东部沿海

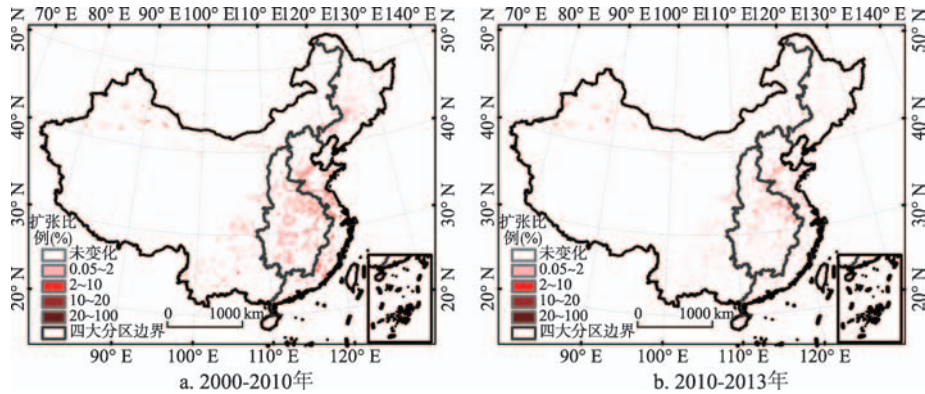


图10 2000-2010年和2010-2013年中国农产品主产区城市扩张空间分布

Fig. 10 Spatial distribution of urban expansion in agricultural production zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

地区, 为590.47 km²/yr, 增长速度最快的是西部地区, 为442.36 km²/yr, 约为前10年的3.77倍, 此外, 东北地区和中部地区也有比较明显的增长(图11b)。西部地区2010-2013年建设用地年变化率较前10年增加速度更快, 年变化率数值也更高, 为5.79 %/yr, 其他3个大区建设用地年变化率均有不同程度的增长(图11c)。农产品主产区内建设用地动态始终是东部沿海地区最高, 研究期前10年和后3年分别为0.11 %/yr和0.22%/yr, 而西部地区动态增幅最大, 从前10年的0.01 %/yr增加至后3年的0.05 %/yr, 增幅近5倍。此外, 中部地区动态升高也比较明显, 前10年仅为0.05 %/yr, 而后3年增至0.14 %/yr(图11d)。

整体上, 主体功能区规划颁布后, 农产品主产区的城乡建设用地年均扩张面积已经超过了优化开发区, 其中东部沿海、中部和西部地区内城乡建设用地年增加面积均超过前10年的2倍, 西部地区的年增加速率更是达到前10年的3倍以上。此外, 城市扩张速度和强度在4大分区内也明显增加, 其中西部地区最为剧烈。除局部地区以外, 各大区城市扩张年变化率和动态明显小于重点开发区, 基本符合主体功能区规划要求。

3.6 2000-2010年和2010-2013年重点生态功能区城乡建设用地扩张特征与区域差异对比

从空间上看, 全国重点生态功能区建设用地扩张面积相对较小且分散, 10 km×10 km栅格内建设用地扩张百分比均在2%以下, 其中2000-2010年建设用地扩张主要集中在中部地区的湖北省东部及湖北省、湖南省、重庆市交界地带以及西部地区内蒙古东部和甘肃省南部及陕西省大部分地区(图12a)。而在2010-2013年间, 重点生态功能区建设用地扩张面积非常小(图12b)。

从数量上看, 各大区内重点生态功能区建设用地扩张量均较小, 西部地区年变化面积最大, 研究期前10年和后3年分别为82.58 km²/yr和294.69 km²/yr, 且其增速较快; 其次是中部地区, 其后3年建设用地年变化面积是前10年的3.01倍(图13b)。建设用地年变化率方面, 中部地区在2010-2013年达到6.66 %/yr, 年变化率最快, 且在此期间重点生态功能区建设用地年变化率明显超过农产品主产区和重点开发区(图13c); 而在西北地区建设用地年变化率增幅最大, 后3年约为前10年的3.23倍。重点生态功能区建设用

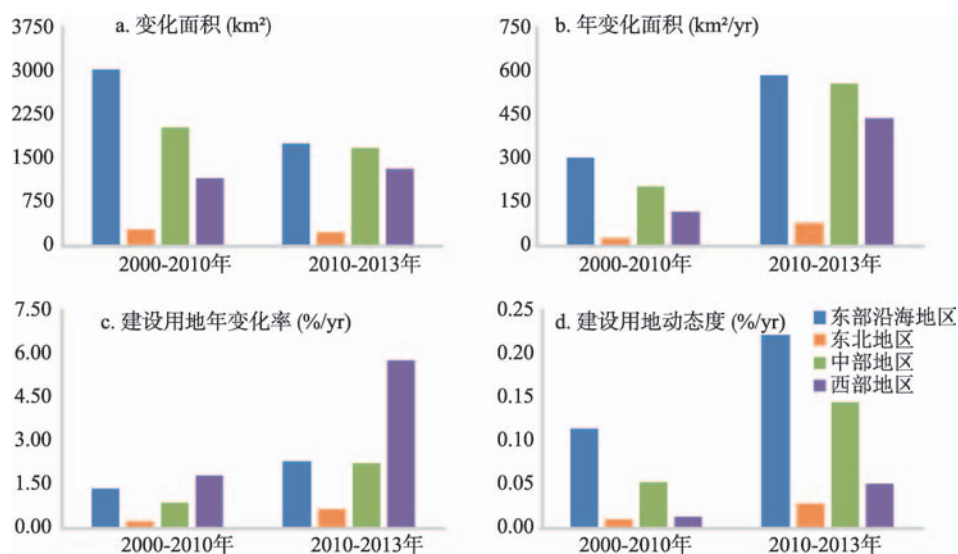


图11 2000-2010年和2010-2013年中国农产品主产区城市扩张相关指标统计

Fig. 11 Urban expansion statistics of agricultural production zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

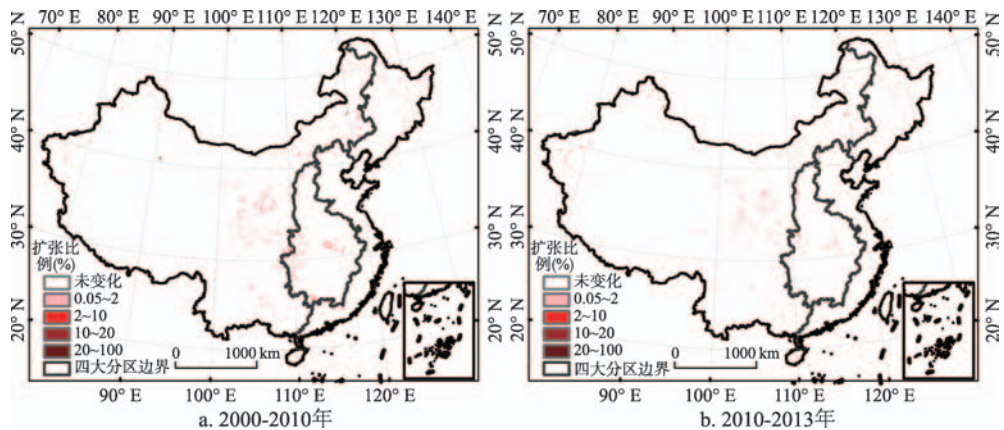


图 12 2000-2010 年和 2010-2013 年中国重点生态功能区城市扩张空间分布

Fig. 12 Spatial distribution of urban expansion in key ecological function zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

地动态度在两个时期内均以东部沿海地区最高，分别为 0.02 %/yr 和 0.04 %/yr，而西部地区增幅最快，后期为前期的 3 倍，但数量较小，2010-2013 年其动态度仅为 0.009 %/yr (图 13d)。

整体上，主体功能区规划颁布后，重点生态功能区的城市扩张速度和强度在 4 大分区均有不同程度的增加，其中西部地区最为剧烈，东北地区增加速度较缓。值得注意的是，中部地区城乡建设用地的年变化率和动态度的增长均十分显著，其建设用地年变化率更是明显高于农产品主产区，甚至高于重点开发区，需进一步加强管控。

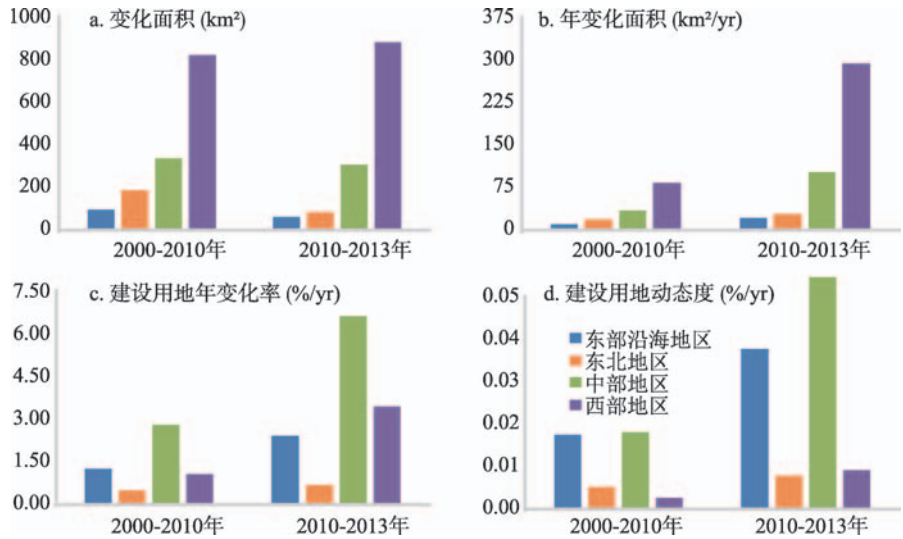


图 13 2000-2010 年和 2010-2013 年中国重点生态功能区城市扩张相关指标统计

Fig. 13 Urban expansion statistics of key ecological function zones in China in 2000-2010 and 2010-2013

4 结论

利用多期遥感数据解译获得的中国土地利用变化数据，结合国家主体功能区规划方案，分析 21 世纪前 10 年与其后 3 年城乡建设用地扩张的空间格局与时空特征，通过建设

用地年变化率及建设用地动态度等指标分区分类对比分析, 揭示了主体功能区规划颁布前后全国范围及东部、中部、西部、东北4大区域内各主体功能区城乡建设用地变化特征及原因。

(1) 2013年全国优化开发区、重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区城乡建设用地在该类主体功能区国土面积中的占比分别为27.02%、6.27%、4.18%和0.43%; 城镇建设用地占比分别为50.82%、36.40%、18.33%和16.85%, 农村建设用地占比规律则与之相反, 体现了国土开发按照不同主体功能布局的梯级特征。

(2) 2010-2013年与2000-2010年相比, 中国优化开发区城乡建设用地年增长率明显降低, 重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区建设用地年增长率均大幅度增加; 其中重点开发区和农产品主产区的城乡建设用地年均扩张面积已经超过了优化开发区, 重点生态功能区城乡建设用地年均扩张面积和城乡建设用地动态度仍处于最低的水平。

(3) 在区域尺度上, 优化开发区中, 长江三角洲地区建设用地年均增量明显高于其他优化开发区; 重点开发区中, 西部地区在年增加面积和增加速率两方面均高于其他区域; 农产品主产区中, 东部、中部和西部地区内城乡建设用地年增加面积均超过前10年的2倍, 西部地区的年增加速率更是达到前10年的3倍以上; 重点生态功能区中, 中部地区城乡建设用地的年变化率和动态度的增长均最为显著。

(4) 2010-2013年中国城乡建设用地扩张的空间格局和变化特征, 总体上体现了主体功能区规划的梯级开发要求。但是局部优化开发区、农产品主产区和重点生态功能区建设用地的扩张速度过快, 必须切实加强空间管控。

(5) 研究表明, 采用空间格局变化的分析方法, 开展主体功能区规划颁布前后两个时期城乡建设用地扩张特征与分阶段区域差异的分析, 清晰刻画出不同功能区和不同地区建设用地变化规律及其与主体功能区规划的契合程度, 证明了该分析方法的有效性, 可为未来国土开发空间格局的优化和城乡建设发展提供科学依据。

参考文献(References)

- [1] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change: science/research plan. Joint publication of the International Geosphere-Biosphere Programme (Report No. 35) and the Human Dimensions of Global Environmental Change Programme (Report No. 7). Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1995.
- [2] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [3] Salazar A, Baldi G, Hirota M, et al. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Global & Planetary Change*, 2015, 128: 103-119.
- [4] Liu Jiyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 3-14. [刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.]
- [5] Shi Peijun, Gong Peng, Li Xiaobing, et al. *Methods and Practice of Land Use/Cover Change*. Beijing: Science Press, 2000. [史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. *土地利用/覆盖变化研究的方法与实践*. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [6] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. IGBP Report 48. IHDP Report 10. IGBP, 1995, Stockholm, 125.
- [7] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land Cover Change Science/Research Plan, IGBP Report No. 35, HDP Report 7. IGBP of the ICSU and HDP of the ISSC, Stockholm and Geneva, 1995.
- [8] GLP. GLP Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19, 2005, Stockholm, 64.
- [9] McMahon G, Benjamin S P, Clarke K, et al. *Geography for a Changing World: A Science Strategy for the Geographic Research of the U.S. Geological Survey, 2005-2015*, Sioux Falls, SD: U.S. Geological Survey Circular, 2005, 1281: 1-76.
- [10] Liu Yaobin, Li Rendong, Song Xuefeng. Grey associative analysis of regional urbanization and eco-environment

- coupling in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 237-247. [刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析. *地理学报*, 2005, 60(2): 237-247.]
- [11] Lu Dadao, Fan Jie. 2050: The Regional Development of China. Beijing: Science Press, 2009. [陆大道, 樊杰. 2050: 中国的区域发展. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [12] Chen Yiyu. Some views on regional adaptation to global change research. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(4): 495-499. [陈宜瑜. 对开展全球变化区域适应研究的几点看法. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 495-499.]
- [13] Fan Jie. Draft of major function oriented zoning of China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 186-201. [樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201.]
- [14] Fan Jie, Sun Wei, Zhou Kan, et al. Major Function Oriented Zone: New method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China. *Chinese Geographical Science*, 2012, 22(2): 1-14.
- [15] Fan Jie, Sun Wei, Yang Zhenshan, et al. Focusing on the major function-oriented zone: A new spatial planning approach and practice in China and its 12th Five-Year Plan. *Asia Pacific Viewpoint*, 2012, 53(1): 85-95.
- [16] Liu Jiyuan. Macro-scale Survey and Dynamic Study of Natural Resources and Environment of China by Remote Sensing. Beijing: China Science and Technology Press, 1996. [刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [17] Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1-12. [刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12.]
- [18] Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(4): 483-494.
- [19] Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 14: 1-11.
- [20] Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli, Wang Xiao, et al. Remote Sensing Monitoring of Land Use in China. Beijing: Star Maps Publishing, 2012. [张增祥, 赵晓丽, 汪潇, 等. 中国土地利用遥感监测. 北京: 星球地图出版社, 2012.]

Remote Sensing-based Analysis of the Spatiotemporal Characteristics of Built-up area across China Based on the Plan for Major Function-oriented Zones

LIU Jiyuan¹, LIU Wenchao^{1,2}, KUANG Wenhui¹, NING Jia¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Since the beginning of the 21st century, built-up area had been increased driven by the rapid social and economic development, which had brought a series of socio-economic and environmental issues. In order to realize the goal of national sustainable development, China needs to scientifically formulate plans for developing and protecting land. Some scholars carried out the research on a draft plan for major function-oriented zones, which supported the implementation of China's national plan for major function-oriented zones since 2010. In order to analyze the characteristics of built-up area in each major function-oriented zone before and after the plan's implement, as well as assess the plan's guiding role in regional development and possible problems in the plan's implementation promptly, it is necessary to adopt effective measures to monitor and evaluate land development activities in each of the major function-oriented zones. Therefore, using a China's Land Use Database (CLUD) during 2000-2010

interpreted from high-resolution remotely sensed images by our team, this study updated the CLUD between 2010 and 2013, and then developed the dataset of built-up area expansions for above two period. We analyzed and compared spatio-temporal characteristics and differences on built-up area expansion for national major function-oriented among China's four developing regions (east, central, west and northeast) in the periods for 2000-2010 and 2010-2013. The results showed the following: (1) On the whole, the percentage of built-up area in each of the major function-oriented zones was significant different, revealing the gradient feature of national land development based on the distribution of the main functions in 2013. (2) Compared to 2000-2010, in the period 2010-2013 annual growth rate in built-up area in optimal development zones decreased significantly, while annual growth rate in built-up area in key development zones, agricultural production zones and key ecological function zones increased significantly, with annual average expanding area of built-up area in key development zones and agricultural production zones exceeding that of optimal development zones, and the annual average expanding area and dynamic degree of built-up area remained lowest in key ecological function zones. (3) At the regional scale, the average annual increase in built-up area in optimal development zones in the Yangtze River Delta region was significantly higher than optimal development zones in other regions; the average area increase and rate of increase of built-up area in key development zones was faster in the western region than in other regions; average annual area growth of built-up area in agricultural production zones in the northeast, central and western regions was twice as high as the previous decade on average, while the annual rate of increase in the western region was three times as high as in the previous decade; the annual rate of change and increase in the dynamic degree of built-up area were most notable in key ecological function zones in the central region. (4) In general, the spatial pattern and characteristics of built-up area expansions in the period 2010-2013 reflected the gradient feature of the plan for major function-oriented zones. But the rate of increase locally in built-up area in optimal development zones, agricultural production zones and key ecological function zones is fast, so the effective measures must be adopted in the implement of national and regional policies. By developing an analytical method to examine regional differences and spatial heterogeneity of built-up area expansions before and after the implement of the plan for major function-oriented zones, this study delineated the adjusting degree on between built-up area expansions from major function-oriented zones and the plan for major function-oriented zones. The conclusions indicated these methods and results were meaningful for future regulation strategies in optimizing national land development in China.

Keywords: Major Function-oriented Zones; satellite remote sensing; land use change; built-up expansion; China