

2010-2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征

刘纪远¹, 宁 佳¹, 匡文慧¹, 徐新良¹, 张树文², 颜长珍³, 李仁东⁴,
吴世新⁵, 胡云锋¹, 杜国明⁶, 迟文峰¹, 潘 涛⁵, 宁 静⁶

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,
兰州 730000; 4. 中国科学院武汉测量与地球物理研究所, 武汉 430077; 5. 中国科学院新疆生态与地理
研究所, 乌鲁木齐 830011; 6. 东北农业大学, 哈尔滨 150030)

摘要: 土地利用/覆被变化是人类活动对地球表层及全球变化影响研究的重要内容。本文基于 Landsat 8 OLI、GF-2 等遥感图像和人机交互解译方法, 获取的土地利用数据实现了中国 2010-2015 年土地利用变化遥感动态监测。应用土地利用动态度、年变化率等指标, 从全国和分区角度揭示了 2010-2015 年中国土地利用变化的时空特征。结果表明: 2010-2015 年中国建设用地面积共增加 $24.6 \times 10^3 \text{ km}^2$, 耕地面积共减少 $4.9 \times 10^3 \text{ km}^2$, 林草用地面积共减少 $16.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。2010-2015 年与 2000-2010 年相比, 中国土地利用变化的区域空间格局基本一致, 但分区变化呈现新的特征。东部建设用地持续扩张和耕地面积减少, 变化速率有所下降; 中部建设用地扩张和耕地面积减少速度增加; 西部建设用地扩张明显加速, 耕地面积增速进一步加快, 林草面积减少速率增加; 东北地区建设用地扩展持续缓慢, 耕地面积稳中有升, 水旱田转换突出, 林草面积略有下降。从“十二五”期间国家实施的主体功能区布局来看, 东部地区的土地利用变化特征与优化和重点开发区的国土空间格局管控要求基本吻合; 中部和西部地区则面临对重点生态功能区和农产品主产区相关土地利用类型实现有效保护的严峻挑战, 必须进一步加大对国土空间开发格局的有效管控。

关键词: 土地利用变化; 时空特征; 卫星遥感; 主体功能区; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201805001

1 引言

土地利用/覆被变化是表征人类活动对地球表层系统影响的最直接的表现形式, 在全球环境变化过程中扮演着非常重要的角色^[1-3]。人类活动通过对生物圈与大气圈的交互, 直接或间接地影响地表反照率、比辐射率、地表粗糙度、光合有效辐射以及蒸散发等地表生物物理参数, 进而对地表辐射能量平衡、生物地球化学循环以及生态系统服务功能产生深远影响^[4-6]。土地利用/覆被变化也是表征人类活动对全球变化响应的重要因素之一, 是模拟全球气候效应和生物地球化学效应的重要输入参数, 其时空过程的量测、模

收稿日期: 2017-08-19; 修订日期: 2018-01-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0506501); 国家重点基础研究发展计划(2014CB954302) [Foundation: National Key Research and Development Program, No.2017YFC0506501; National Key Basic Research Program of China, No.2014CB954302]

作者简介: 刘纪远(1947-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事资源环境遥感与土地利用/覆被变化及其宏观生态效应研究。E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 匡文慧(1978-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土地利用/覆被变化、城市生态学研究。E-mail: kuangwh@igsnrr.ac.cn

拟与动力学机制的理解已经成为科学界关注的前沿内容。1995年“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球变化人文因素计划”(IHDP)共同制订的“土地利用/覆被变化科学研究计划”以及2005年发布的全球土地计划(Global Land Project, GLP),将土地利用/覆被变化作为全球变化研究的核心内容^[7-11]。2012年由国际科学理事会(ICSU)和国际社会科学理事会(ISSC)发起“未来地球(Future Earth)”研究计划,土地利用/覆被时空过程量测是加深其研究计划动态星球(Dynamic Planet)的理解以及未来可持续目标实现的重要内容^[12]。土地利用/覆被变化的监测与模拟已逐渐成为研究关注的焦点。

进入21世纪以来,随着社会经济持续快速发展,国家进入了快速城市化和工业化阶段,由此迈入战略转型关键时期。为有效保护和开发国土资源,优化开发结构,加强国土空间格局管控和生态保护,“十二五”期间,国家实施了一系列国土空间管控策略。2010年,国务院发布了“全国主体功能区规划”,规划将国土空间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,各区将依据各类主体功能区定位选择合理的开发和保护方式^[13]。期间实施的生态文明建设规划,突出国家重点生态功能区、生物多样性保护优先区、自然保护区等重要生态空间的保护和管理。国家实施的一系列重大战略决策等因素,会对土地利用变化产生深刻的影响。遥感卫星影像由于具备长时间监测能力、较高空间分辨率等特点,已成为土地利用变化监测的重要数据源之一^[14]。因此,基于遥感卫星影像数据,开展国家尺度长时间序列高精度的土地利用变化监测,获取国家尺度土地利用的时空格局和变化特征,对于科学有效制定未来国家国土空间管控策略以及实施可持续发展目标具有重要的战略意义^[15-17]。

为掌握和揭示中国土地利用变化的时空格局和动态特征,以卫星遥感影像数据为基础,研究组已建成1990年中国国家尺度土地利用变化数据库,并且每隔5年采用同类卫星遥感信息源,持续开展国家土地利用变化数据更新^[18-23]。近期,研究组发布了2010-2015年新的一期国家土地利用变化数据库动态监测最新研究成果。截至目前,已经建成1990年至2015年共6期国家土地利用1:10万现状矢量数据库和1 km比例成分分类栅格数据库。本文首次系统揭示了2010-2015年中国土地利用变化的时空格局和新特征,可为掌握国家“十二五”期间土地利用变化的科学规律提供重要基础,并为全球变化及可持续发展研究提供有价值的空间信息。

2 数据与方法

2.1 国家尺度土地利用变化数据更新

以遥感卫星影像数据为基础,基于Landsat 8 OLI、GF-2等遥感卫星数据,参考刘纪远等^[18-22]中国土地利用遥感制图分类系统,通过构建的高分辨率遥感—无人机—地面调查观测技术体系,结合基于地学知识的人机交互解译方法,获得2015年土地利用矢量现状数据集,进而得到2015年1 km栅格百分比土地利用数据集(图1),建成1990年、1995年、2000年、2005年、2010年和2015年6期过去25年中国土地利用数据库。基于上述数据库,提取2000-2010年与2010-2015年土地利用变化图斑,制图、统计和分析2010-2015年中国土地利用变化的总体特征和不同类型变化差异特征。

为保证各时期土地利用数据解译质量和一致性,数据集进行统一的质量控制和核对检查:① 全国范围内分区分组开展野外考察,实地调查各省土地利用情况,获取大量的外业调查记录、相机照片和无人机航拍图像。② 在分区内部,按照地类分层随机采样,通过与GF-2、无人机图像以及野外调查资料实地验证,进行数据质量改进。③ 在全国范

围内进行统一集成、质量检验,在同行专家的认定下进行数据质量改进,最终通过混淆矩阵进行分类精度及总精度评价。土地利用现状一级类型综合评价精度达到93%以上,二级类型分类综合精度达90%以上,满足1:10万比例尺用户制图精度。

2.2 空间分区

为了更好地体现土地利用变化的区域特征及区域差异,本文将全国分为东部、中部、西部、东北4大区域进行分析。其中,东北地区包括黑龙江省、吉林省、辽宁省,面积约为79.0万km²;东部地区包

括北京市、天津市、河北省、山东省、江苏省、上海市、浙江省、福建省、广东省、海南省、台湾省、澳门特别行政区、香港特别行政区,面积约为95.5万km²;中部地区包括山西省、河南省、安徽省、湖北省、湖南省、江西省,面积约为102.8万km²;西部地区包括内蒙古自治区、宁夏回族自治区、陕西省、重庆市、贵州省、广西壮族自治区、云南省、四川省、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区、西藏自治区,面积约为682.7万km²。

2.3 土地利用变化的度量指标

为了更好地分析土地利用变化特征并揭示土地利用变化的速率和强度,本文对每一类土地利用类型采用4种指标进行度量,分别为该类型土地利用净变化面积、年均净变化面积、年变化率和动态度。第*i*种土地利用类型的年变化率(K_i)的计算公式为:

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

式中: S_i 为监测开始时间第*i*类土地利用类型的总面积; ΔS_{ij} 为监测开始至结束时段内第*i*类土地利用类型与其他土地利用类型*j*相互转换后的净变化面积; t 为时间段;第*i*类土地利用类型年变化率 K_i 反映了与*t*时段对应的研究样区的该土地利用类型的年变化速率。

第*i*种土地利用类型的动态度(D_i)的计算公式为:

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

式中: S_a 为研究区总面积; $|\Delta S_{ij}|$ 为监测开始至监测结束时段内第*i*类土地利用类型与其他类土地利用类型*j*相互转化面积的绝对值; t 为时间段;该土地利用类型的动态度反映了与该时段对应的研究区该土地利用类型变化的剧烈程度。

3 中国土地利用变化的动态特征

基于土地利用变化的动态度模型和地图可视化方法,制图2010-2015年中国土地利用

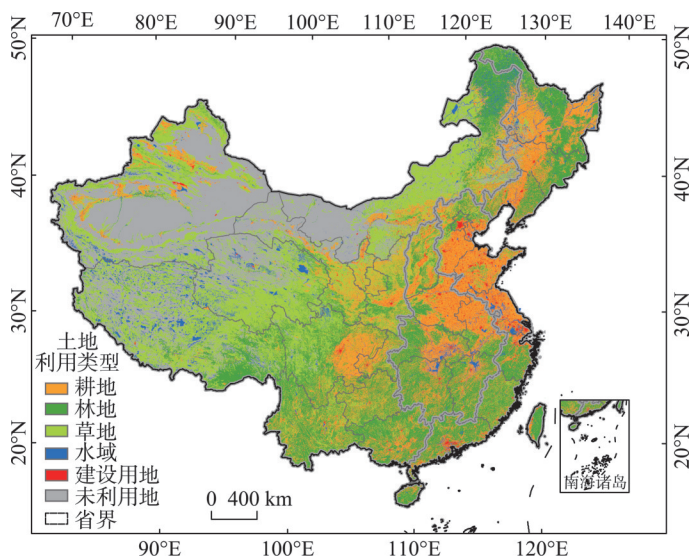


图1 2015年中国土地利用现状图

Fig. 1 National land use map across China in 2015

主要类型转换的空间分布特征（图2）。2010-2015年，中国土地利用变化方式主要以建设用地扩张为主（表1），共有 $2.57\times 10^4\text{ km}^2$ 的其他土地利用类型转为建设用地；其次为耕地开垦，共有 $1.10\times 10^4\text{ km}^2$ 的林草用地转为耕地；再次为旱地和水田互转，共有 $8.3\times 10^3\text{ km}^2$ 的旱地转换为水田，水域收缩和扩大现象也较为明显。

在空间分布上，2010-2015年建设用地扩张在全国范围内均有较明显表现，西部地区建设用地扩张面积最大，约占全国建设用地扩张面积的41.8%，但东部地区和中部地区建设用地扩张区域占比较大，分别占东部和中部区域面积的0.734%和0.669%。林地转为耕地主要发生在东北地区、西部地区，两个区域内林地转为耕地的面积占全国林地转为耕地面积的80%以上。草地转为耕地主要发生在西北部新疆绿洲地区，该区草地转为耕地的面积占全国草地转为耕地面积的95.5%。耕地转为林草用地主要发生在西部黄土高原区，新疆地区和东北地区略有少部分变化，西部地区的耕地转为林草用地面积占全国耕地转为林草用地面积的近80%。旱地和水田互转主要发生在东北地区，东北地区旱地和水田互转的面积占全国旱地水田互转面积的91.7%。水域扩大发生在全国各地河流集中分布的区域，主要集中在西部地区和东北地区。

通过与2000-2010年中国土地利用变化空间分布^[22]进行对比分析发现，东北地区旱地持续转变为水田，但范围明显缩小，集中在三江平原和松嫩平原；东南部沿海地区建设

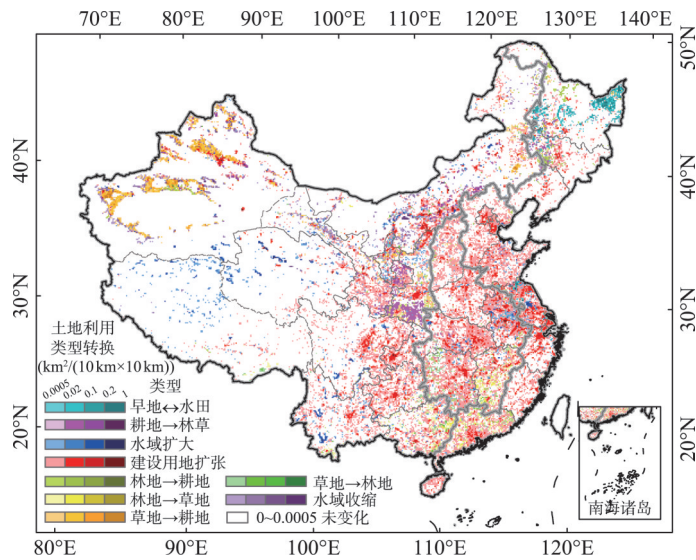


图2 2010-2015年中国主要土地利用类型转换空间分布
Fig. 2 Distribution of dominant land-use conversion in China during 2010-2015

表1 2010-2015年中国不同分区土地利用转移矩阵($\times 10^2\text{ km}^2$)

Tab. 1 Change area of dominant land-use change types in different regions of China during 2010-2015 ($\times 10^2\text{ km}^2$)									
区域转移类型	旱地↔ 水田	耕地→ 林草	其他→ 水域	其他→ 建设	林地→ 耕地	林地→ 草地	草地→ 耕地	草地→ 林地	水域→ 其他
东北地区	76.00	1.06	0.75	10.43	4.17	0.00	3.95	0.02	8.63
东部地区	5.71	2.46	8.81	70.09	1.00	4.05	0.32	1.64	0.26
中部地区	0.31	0.49	6.52	68.74	1.17	4.24	0.18	1.77	0.15
西部地区	0.87	14.67	36.97	107.39	4.61	5.00	94.84	3.60	66.43
总计	82.89	18.68	53.05	256.65	10.95	13.29	99.29	7.03	75.47

用地继续加速扩张，大城市群扩张和小城市及乡镇的扩张并重；中部地区建设用地加速加剧扩张；西部地区退耕还林还草范围缩小，仅集中在内蒙古农牧交错带南部和黄土高原南部地区；西部地区耕地开垦重心集中在西北绿洲农业区，主要是由草地开垦为耕地，而内蒙古中东部和甘肃地区耕地开垦现象少有发生；西部地区建设用地扩张重点集中在四川盆地、黄土高原等经济相对发达的地区；西部地区水域扩张的范围增大。

4 区域土地利用变化的动态特征

4.1 东北地区

2015年，东北地区土地利用类型主要以林地和耕地为主，约有 $33.7\times 10^4\text{ km}^2$ 和 $31.2\times 10^4\text{ km}^2$ ，分别占东北地区总面积的42.7%和39.5%；建设用地面积约有 $3.1\times 10^4\text{ km}^2$ ，约占东北地区总面积的3.9%。2010-2015年，东北地区土地利用变化总面积为 $2.9\times 10^3\text{ km}^2$ ，占整个东北地区面积的0.37%（表2）。东北地区耕地面积持续增加，约增加 $0.5\times 10^3\text{ km}^2$ ，林草面积略有下降，约减少 $0.7\times 10^3\text{ km}^2$ ，建设用地扩张仅为 $1.0\times 10^3\text{ km}^2$ 左右。在东北地区，建设用地扩张面积超过其他土地利用变化类型，但与其他区域相比，东北地区建设用地扩张面积相对较小。

东北地区主要以耕地转为建设用地和未利用地转为耕地为主要土地利用变化类型，分别为 840.6 km^2 和 634.9 km^2 ，分别占东北地区土地利用变化面积的28.6%和21.6%；其次为林地和草地转为耕地，分别为 417.2 km^2 和 395.1 km^2 ，分别占东北地区土地利用变化面积的14.2%和13.5%。

表2 2010-2015年中国东北地区土地利用转移矩阵(km^2)
Tab. 2 Area of land-use change in northeastern China during 2010-2015 (km^2)

2010年	2015年						
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	合计
耕地	—	93.86	12.32	33.51	840.62	7.88	988.19
林地	417.22	—	0	5.23	96.17	6.86	525.48
草地	395.08	1.78	—	11.52	60.53	2.31	471.22
水体	36.85	0	3.71	—	24.77	17.07	82.40
建设用地	5.84	0.02	0	0.61	—	0	6.46
未利用地	634.91	1.13	179.34	24.80	23.07	—	863.25
合计	1489.90	96.79	195.37	75.67	1045.16	34.12	2937.00

注：本文只考虑了各土地利用类型一级类之间的土地利用变化，一级类内部的土地利用类型二级类之间的转换不予考虑，下文同。

4.2 东部地区

2015年，东部地区土地利用类型主要以耕地和林地为主，面积分别约有 $39.4\times 10^4\text{ km}^2$ 和 $33.2\times 10^4\text{ km}^2$ ，分别占东部地区的41.3%和34.8%，建设用地面积约有 $10.8\times 10^4\text{ km}^2$ ，占比相对较高，占东部地区总面积的11.3%。2010-2015年，东部地区土地利用变化总面积为 $9.6\times 10^3\text{ km}^2$ ，占整个东部地区面积的1.00%（表3）。2010-2015年，东部地区建设用地持续增加，约增加 $7.0\times 10^3\text{ km}^2$ ，但耕地面积持续减少，约减少 $5.5\times 10^3\text{ km}^2$ 。

东部地区最主要的土地变化类型是耕地转为建设用地，面积高达 $5.5\times 10^3\text{ km}^2$ ，占整个东部地区土地利用变化总面积的57.4%。其次为林地转为建设用地和草地，分别有 873.2 km^2 和 407.4 km^2 ，占整个东部地区土地利用变化总面积的9.1%和4.2%。

表3 2010-2015年中国东部地区土地利用转移矩阵(km²)
Tab. 3 Area of land-use change in eastern China during 2010-2015 (km²)

2010年	2015年						
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	合计
耕地	—	231.88	14.01	563.47	5503.62	3.75	6316.72
林地	99.75	—	407.35	18.41	873.21	4.69	1403.42
草地	32.21	165.77	—	28.02	176.50	1.16	403.66
水体	259.18	3.76	74.39	—	399.55	3.08	739.96
建设用地	446.87	71.12	18.33	165.42	—	6.50	708.25
未利用地	14.20	0.79	0	1.02	7.27	—	23.28
合计	852.21	473.32	514.08	776.34	6960.15	19.18	9595.29

4.3 中部地区

2015年,中部地区土地利用类型主要以林地和耕地为主,面积约为43.0×10⁴ km²和40.9×10⁴ km²,分别占中部地区的41.9%和39.8%,建设用地面积为6.3×10⁴ km²,占中部地区总面积的6.18%。2010-2015年,中部地区土地利用变化总面积为8.6×10³ km²,占整个中部地区面积的0.84%(表4)。建设用地面积持续增加,约增加6.9×10³ km²,耕地面积持续减少,约减少5.2×10³ km²。

中部地区土地利用变化类型主要以耕地转为建设用地为主,占整个区域土地利用变化总面积的57.0%,其次为林地转为建设用地,占整个区域土地利用变化总面积的18.2%。

表4 2010-2015年中国中部地区土地利用转移矩阵(km²)
Tab. 4 Area of land-use change in central China during 2010-2015 (km²)

2010年	2015年						
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	合计
耕地	—	35.10	14.10	529.06	4906.73	14.39	5499.38
林地	117.06	—	424.27	70.98	1569.34	15.92	2197.56
草地	18.10	175.43	—	24.21	242.30	3.75	463.78
水体	101.11	5.40	6.06	—	159.03	12.69	284.29
建设用地	105.21	9.11	10.60	19.77	—	2.40	147.09
未利用地	0	0.63	0.12	13.64	0.35	—	14.74
合计	341.48	225.67	455.15	657.66	6877.75	49.15	8606.84

4.4 西部地区

2015年,西部地区土地利用类型主要以草地和未利用地为主,面积约为246.1×10⁴ km²和217.2×10⁴ km²,分别占西部地区面积的36.6%和32.3%,建设用地面积约为6.1×10⁴ km²,占比相对较低,仅占西部地区总面积的0.9%。2010-2015年,西部地区土地利用变化总面积为33.9×10³ km²,占整个西部地区面积的0.50%(表5)。2010-2015年,西部建设用地明显增加,约增加10.8×10³ km²,耕地面积进一步增加,约增加5.2×10³ km²,林草面积持续减少,约减少13.2×10³ km²。

西部地区的主要土地利用变化类型是草地转为耕地,约有1万km²的草地转为耕地,占整个西部地区土地利用变化总面积的28.0%。其次为耕地转为建设用地,约占整个西部地区土地利用变化总面积的16.0%。再次为草地转为建设用地和未利用地开垦为耕地,分别有3.4×10³ km²和2.7×10³ km²。2000-2010年和2010-2015年中国土地利用转移动态的区域特征存在一定的区域差异(表6)。

表5 2010-2015年中国西部地区土地利用转移矩阵(km²)
Tab. 5 Area of land-use change in western China during 2010-2015 (km²)

2010年	2015年						
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地	合计
耕地	—	150.51	1316.95	627.74	5394.10	127.35	7616.65
林地	461.37	—	497.59	373.16	924.88	43.83	2300.84
草地	9489.45	360.13	—	1324.36	3363.35	463.72	15001.01
水体	127.45	4.79	330.23	—	107.59	1663.74	2233.80
建设用地	15.40	20.79	21.36	36.61	—	4.99	99.14
未利用地	2743.03	363.82	1238.42	1335.55	970.26	—	6651.08
合计	12836.70	900.04	3404.55	3697.42	10760.18	2303.63	33902.52

表6 2000-2010年和2010-2015年中国土地利用转移动态的区域特征
Tab. 6 Regional characteristics of land-use change across China during 2000-2010 and 2010-2015

区域名称	2000-2010年	2010-2015年	两期变化差异
东北地区	以耕地转为建设用地为主，约为0.9×10 ³ km ² ，林地和草地转为耕地次之，分别为0.7×10 ³ km ² 和0.6×10 ³ km ² 。	以耕地转为建设用地和未利用地转为耕地为主，林地和草地转为耕地次之。	主要土地变化类型面积差异不大，但耕地转为林地面积减小，未利用地开垦为耕地面积增加。
东部地区	以耕地转为建设用地为主，约为14.5×10 ³ km ² ，其次为林地转为建设用地，约为2.2×10 ³ km ² 。	以耕地转为建设用地为主，林地转为建设用地和草地次之。	发生土地利用动态变化的区域减少，耕地和林地转为建设用地面积大幅减少。
中部地区	以耕地和林地转为建设用地为主，分别为5.6×10 ³ km ² 和1.2×10 ³ km ² ，其次为耕地转为林地，约为0.8×10 ³ km ² 。	以耕地转为建设用地为主，林地转为建设用地次之。	耕地和林地转为建设用地面积变化不大，但耕地转为林地面积减少。
西部地区	以草地转为耕地为主，约为16.1×10 ³ km ² ，其次为耕地退为草地以及草地转为林地，均为6.4×10 ³ km ² 。	以草地转为耕地为主，其次为耕地转为建设用地，再次为草地转为建设用地和未利用地开垦为耕地。	草地转为耕地面积下降，退耕还林还草面积明显下降。

5 主要类型土地利用变化特征

5.1 建设用地扩张

2010-2015年中国建设用地面积共增加24.6×10³ km²。其中，增加面积最多的为西部地区，共增加10.6×10³ km²，占全国建设用地增加面积的43.0%；其次是中部地区，共增加6.7×10³ km²，东北地区面积增加最小为1.0×10³ km²。建设用地的扩张主要以占用耕地为主，约有67.5%的新增建设用地来自于对耕地的侵占，分别有14.0%和15.6%的新增建设用地来自于对林地和草地的侵占。其中，西部地区的建设用地扩张主要集中在地形平坦、经济相对发达的四川盆地、黄土高原等地区，以及在国家主体功能区战略部署下的国家级重点开发区内（图3）。中部地区的建设用地扩张主要集中在中原城市群、武汉城市群和长株潭城市群地区。东部地区建设用地扩张主要是经济较为发达、人口相对稠密的京津冀、长江三角洲、珠江三角洲城市群地区以及其他大中城市周边地区。

2010-2015年建设用地变化的空间格局与2000-2010年基本一致，仍然是“东部为重，向中西部蔓延”，但建设用地变化的面积和速率有明显的差异（图4）。从变化总面积来看，2010-2015年东部地区的建设用地增加面积大幅减少，中部地区的建设用地增加

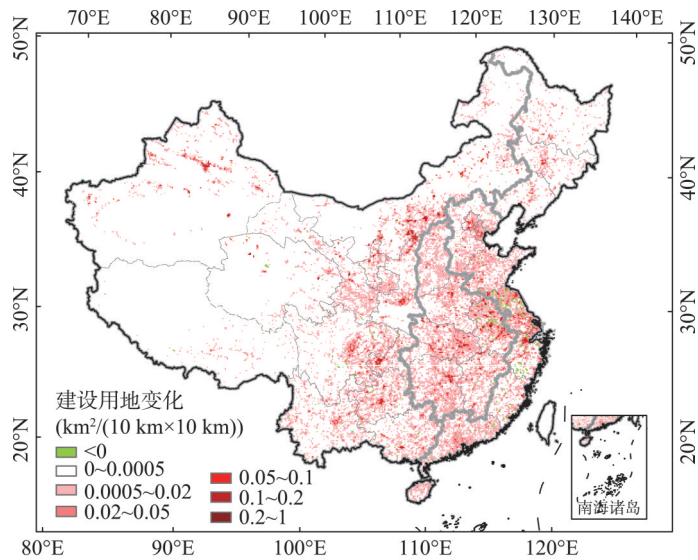


图3 2010-2015年中国建设用地变化的空间分布

Fig. 3 Distribution of built-up land change in China during 2010-2015

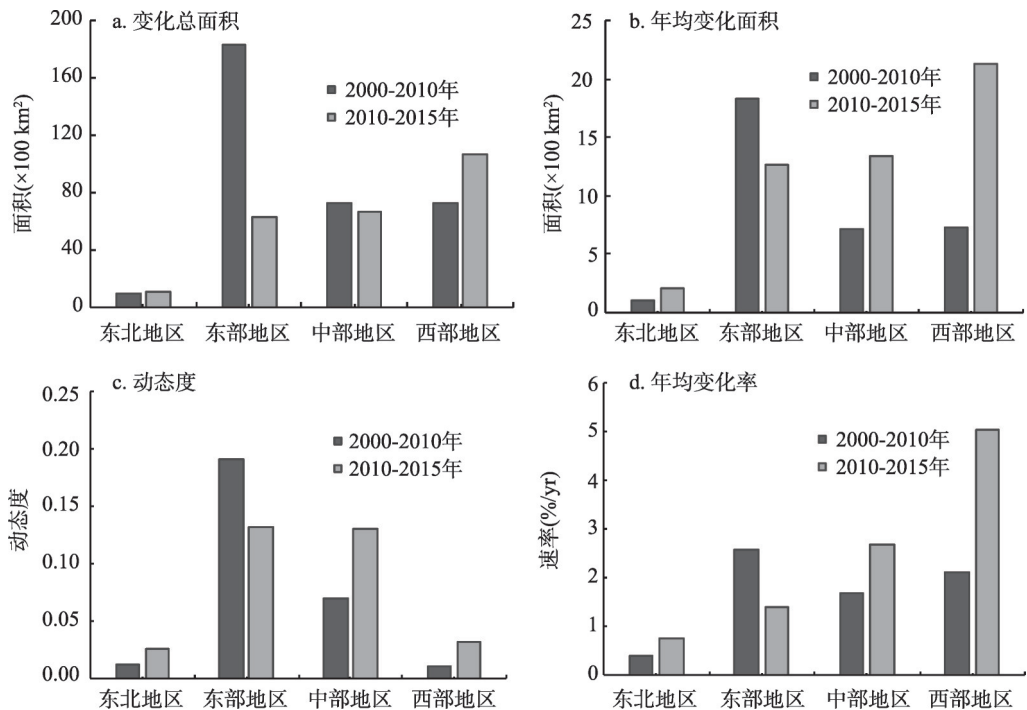


图4 2000-2010年和2010-2015年中国不同分区建设用地变化统计

Fig. 4 Statistical histogram of built-up land change by region in China during 2000-2010 and 2010-2015

面积略有减少，而东北地区和西部地区的建设用地扩张面积均呈现增加趋势。新增建设用地已由2000-2010年以东部地区为主变为2010-2015年以西部地区为主。

但从年均变化面积、动态度、年均变化率来看，除东部地区在2010-2015年略有下降外，东北地区和西部地区建设用地增加的年均变化面积、动态度、年均变化率均大幅高

于2000-2010年。2010-2015年, 中部地区的建设用地增加的动态度已基本与东部地区相当。但从年均变化率来看, 中部地区明显大于东部地区。这表明, 2010-2015年东部地区建设用地扩张的速率有所下降, 而东北地区、中部地区和西部地区建设用地扩张的速率大幅增加。

因此, 2010-2015年中国建设用地的变化特征为: 东部依然为重心, 向中西部大幅蔓延; 东部扩张放缓, 而东北、中部和西部地区扩张加速; 东部和中部开发持平, 高于东北和西部地区; 西部全面加速开发, 速率远超中部和东部。

5.2 耕地变化特征

中国2010-2015年耕地面积共减少 $4.9 \times 10^3 \text{ km}^2$, 其中, 耕地转为其他土地利用类型面积约为 $20.4 \times 10^3 \text{ km}^2$, 其他土地利用类型转为耕地面积约为 $15.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。在区域上, 东部地区 and 中部地区耕地持续减少, 分别减少 $5.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $5.1 \times 10^3 \text{ km}^2$, 东北地区 and 西部地区耕地持续增加, 分别增加 $0.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $5.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。耕地减少主要是由于建设用地的侵占, 建设用地侵占耕地的面积占全国耕地减少面积的81.5%。耕地增加主要来源于占用草地和开垦未利用地, 由草地和未利用地转为耕地的面积分别占耕地增加面积的64.0%和21.9%。东部地区的耕地减少主要是由于建设用地的占用(图5)。中部地区的耕地减少主要是受“中部崛起”战略和国家生态保护工程实施的影响下, 建设用地大规模扩张和退耕还林还草。东北地区耕地少量的增加主要是由于东北平原存在耕地开垦现象, 导致耕地数量略有增加。尽管西部地区的黄土高原、四川盆地等区域由于退耕还林还草等生态工程的实施导致耕地有一定数量的减少, 但在新疆, 由于绿洲农业的发展, 周边耕地大量开垦, 且耕地开垦强度和面积远大于西部地区中退耕还林还草工程的强度和范围, 因此整个西部地区的耕地呈现大幅增加的征。

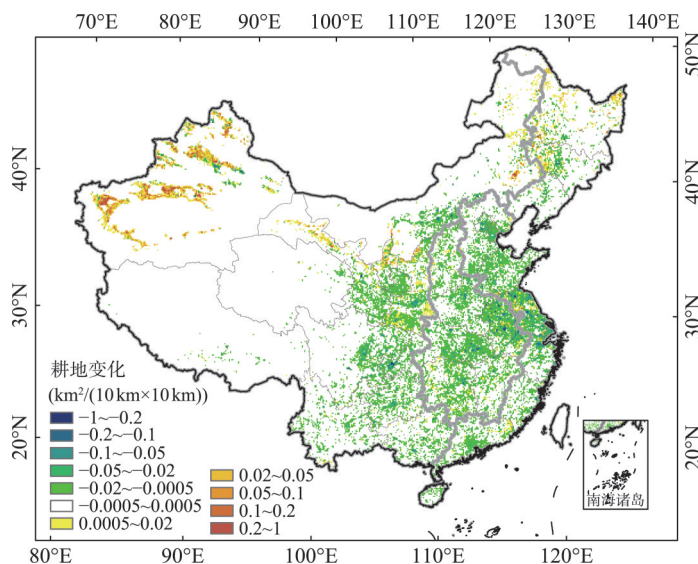


图5 2010-2015年中国耕地变化的空间分布

Fig. 5 Distribution of cropland change in China during 2010-2015

2010-2015年耕地变化的空间格局与2000-2010年基本一致, 仍然是“南减北增, 新增耕地的重心逐步由东北向西北移动”, 但耕地变化的范围和速率有明显的差异(图6)。从变化总面积来看, 除东北地区外, 东部地区、中部地区和西部地区2010-2015年的变化总面积均小于2000-2010年的变化面积。2010-2015年东部地区耕地减少的速率有所降

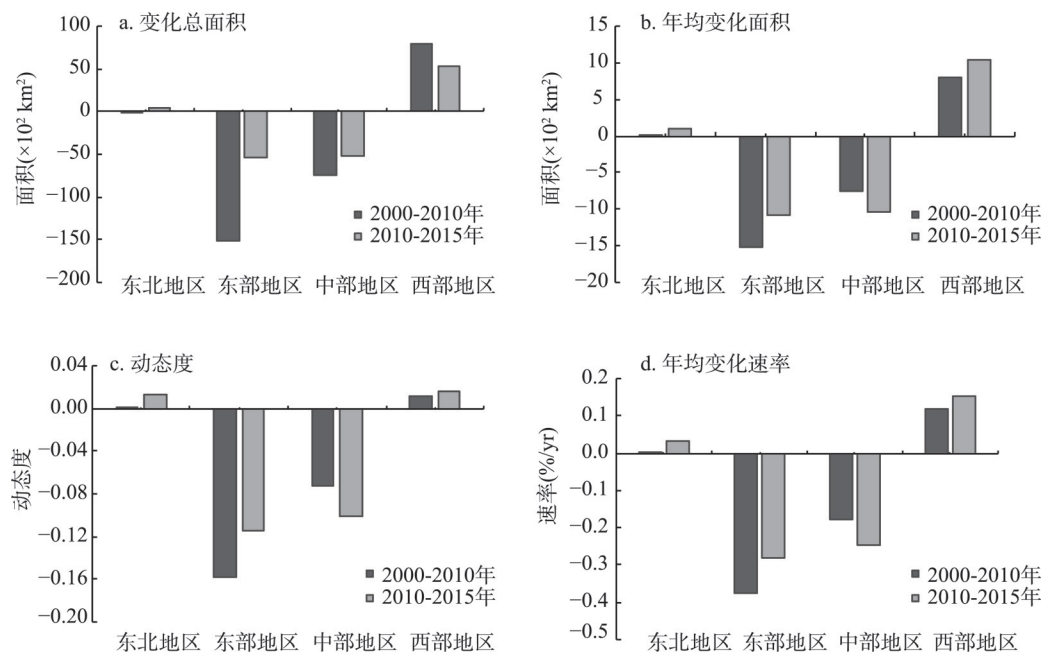


图6 2000-2010年和2010-2015年中国不同分区耕地变化统计

Fig. 6 Statistical histogram of cropland change by region in China during 2000-2010 and 2010-2015

低,但中部地区耕地减少的速率有所增强,在东北地区 and 西部地区耕地增加的速率和幅度有所增强。

因此,2010-2015年中国耕地的变化特征为:南减北增,总量基本持衡,新增耕地的重心逐步由东北向西北移动;东部和中部地区耕地持续减少,东北和西部耕地持续增加;东部耕地减少放缓,中部耕地减少加速,东北和西部耕地增加速度加快。

5.3 林草用地变化特征

2010-2015年中国林草用地面积共减少 $16.4 \times 10^3 \text{ km}^2$,其中,林草用地转为其他用地面积为 $20.7 \times 10^3 \text{ km}^2$,其他用地转为林草用地面积为 $4.3 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。在区域上,减少面积最多的为西部地区,共减少 $13.0 \times 10^3 \text{ km}^2$,远大于其他3个区域,其次是中部地区,共减少 $2.0 \times 10^3 \text{ km}^2$,东部地区和东北地区林草面积减少相对较小,均不到 1000 km^2 。林草用地的减少主要是耕地开垦和建设用地扩张造成,耕地开垦和建设用地扩张导致林草用地面积减少约占整个林草用地减少面积的53.2%和35.2%。林草用地增加主要是由于耕地和未利用地转换,二者分别占林草用地增加面积的44.2%和42.2%。其中,西部地区的林草用地减少主要集中在新疆绿洲地区和黄土高原、四川盆地等区域(图7)。在新疆绿洲地区,由于耕地开垦占用了大量的林草用地,导致了林草用地大面积的减少。在黄土高原、四川盆地等区域由于国家主体功能区战略影响,该区域内建设用地的扩张占用了大量的林草用地。由于2010-2015年国家生态保护工程规模和范围呈现一定程度的缩减,主要以补充和巩固为主,如部分区域实施的退耕还林还草工程,因此,整体上林地增加区域相对较少。尽管在西部地区的部分区域实施了退耕还林还草工程,林草用地相对增加,但与建设用地扩张和耕地开垦相比,面积相对较小。中部地区的林草用地减少主要集中于国家主体功能区战略部署下的国家级重点开发区内,主要是由于建设用的扩张。东北地区和东部地区的林草用地减少相对较少,林草用地减少主要是由于建设用地的扩张占用为主。

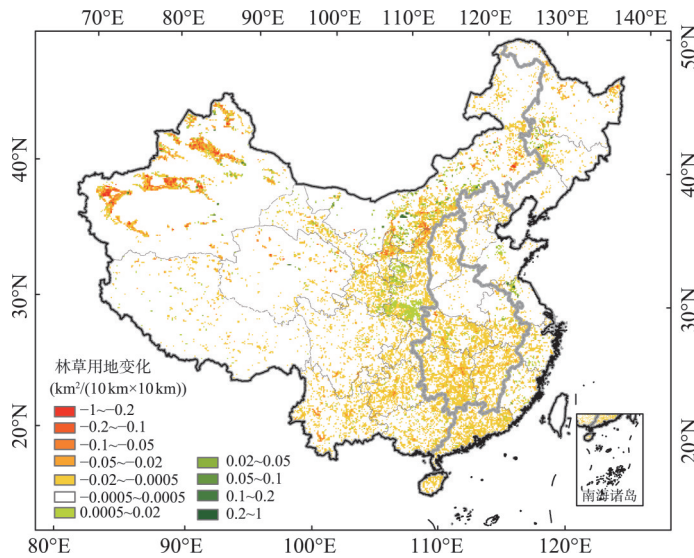


图7 2010-2015年中国林草用地变化的空间分布

Fig. 7 Distribution of woodland and grassland change in China during 2010-2015

2010-2015年林草用地变化的空间格局与2000-2010年基本一致,但林地增加区域的范围逐渐减少,林地减少区域的范围逐渐增加,呈现出“中部增加区域收缩,东西部减少区域扩张”。2010-2015年与2000-2010年林草用地变化的速率有明显的差异(图8)。从变化总面积来看,2010-2015年东部地区和东北地区的林草用地减少面积降低,尤其是东部地区林草用地减少幅度大幅下降,而中部、西部地区的林草用地减少面积均有增加。

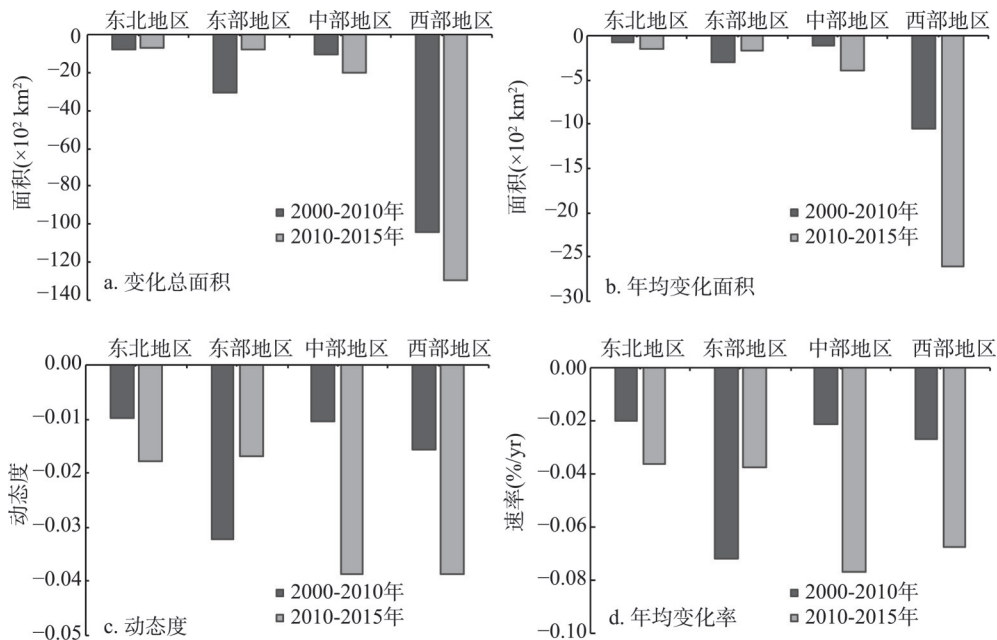


图8 2000-2010年和2010-2015年中国不同分区林草用地变化统计

Fig. 8 Statistical histogram of woodland and grassland change by region in China during 2000-2010 and 2010-2015

尽管西部地区的林草用地年均下降面积远大于中部地区,但考虑到中西部地区的区域面积差异和林草用地面积差异,中部地区和西部地区林草用地减少的动态度基本一致,中部地区林草用地年减少速率稍高于西部地区。东北地区的林草用地减少的动态度略大于东部地区,而东北地区的林草用地年减少速率基本与东部地区持平。这表明,2010-2015年东部地区林草用地减少的速率有所降低,但东北、中部和西部地区林草用地减少的速率有所增强,中部地区的林草用地年减少速率略高于东部地区,远高于东部和东北地区,中部地区的林草用地减少与西部地区基本持平,并远大于东部和东北地区。

因此,2010-2015年中国林草用地变化特征为:中部增加区域收缩,东西部减少区域扩张;东部林草用地减少放缓,而东北、中部和西部地区林草用地减少加速;西部和中部林草地减少基本持平,大于东部和东北;中部林草用地减少速率高于西部、东部和东北。

6 结论与讨论

本文以卫星遥感影像数据为基础,采用人工交互解译方法,在中国1980年末到2010年土地利用变化数据库基础上,更新了2015年土地利用变化数据,并通过与2000-2010年土地利用变化时空格局对比,分析了2010-2015年中国土地利用变化的时空格局和新特征。

2010-2015年与2000-2010年相比,中国土地利用变化的区域空间格局基本一致,但分区变化出现新的特征。区域土地利用变化的主要特征表现为:东部建设用地持续扩张和耕地面积萎缩,但变化速率有所下降;中部建设用地扩张和耕地面积萎缩加速;西部各类建设用地扩张明显加速,耕地面积增速进一步加快,天然林草面积萎缩进一步加速;东北地区建设用地扩展持续低迷,耕地面积稳中有升,天然林草面积略有下降。

2010-2015年,不同土地利用类型变化特征差别较大。建设用地的变化特征为东部依然为重心,向中西部大幅蔓延;东部扩张放缓,而东北、中部和西部地区扩张加速;东部和中部开发基本持平,西部全面加速开发。耕地的变化特征为南减北增,总量基本持平,新增耕地的重心进一步由东北向西北移动;东部和中部地区耕地持续减少,东北和西部耕地持续增加;东部耕地减少放缓,中部耕地减少加速,东北和西部耕地增速加快。林草用地的变化特征为中部增加区域收缩,东西部减少区域扩张;东部林草用地减少放缓,而东北、中部和西部地区林草用地减少加速;西部和中部林草地减少基本持平,大于东部和东北;中部林草用地减少速率高于西部、东部和东北。

国家“十二五”期间实施的主体功能区规划^[13]中,国家级优化开发区和重点开发区主要集中分布在中国东部地区和东北地区,2010-2015年东部地区的主要土地利用变化类型是建设用地扩张,但建设用地扩张速率下降,特征与优化和重点开发区的国土空间格局管控要求基本吻合;国家农产品主产区和重点生态功能区主要分布在西部和中部地区,但2010-2015年西部和中部地区的土地利用变化特征表明中部和西部地区则面临对重点生态功能区 and 农产品主产区相关土地利用类型实现有效保护的严峻挑战,必须进一步加大对国土空间开发格局的有效管控。

参考文献(References)

- [1] Lawler J J, Lewis J D, Nelson E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, 111(20): 7492-7497.
- [2] Wulder M A, White J C, Goward S N, et al. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring.

- Remote Sensing of Environment, 2008, 112: 955-969.
- [3] Mooney H A, Duraipapp A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(1): 3665-3672.
- [4] Zhu Z, Woodcock C E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 144: 152-171.
- [5] Deng L, Liu G B, Shangguan Z P. Land-use conversion and changing soil carbon stocks in China's 'Grain-for-Green' Program: A synthesis. *Global Change Biology*, 2014, 20(11): 3544-3556.
- [6] Meyfroidt P, Lambin E F, Erb K, et al. Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5: 438-444.
- [7] 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.
- [8] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land Cover Change Science/Research Plan, IGBP Report No.35, IHDP Report 7. IGBP of the ICSU and IHDP of the ISSC, Stockholm and Geneva, 1995.
- [9] GLP. Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No.19, 2005, Stockholm. 64.
- [10] Howells M, Hermann S, Welsch M, et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. *Nature Climate Change*, 2013, 3(7): 621-626.
- [11] Wright K C, Wimberly M C. Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(10): 4134-4139.
- [12] Future Earth. Future Earth Initial Design: Report of the Transition Team. Paris: International Council for Science (ICSU), 2013.
- [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] Pflugmacher D, Cohen W B, Robert E K. Using Landsat-derived disturbance history (1972-2010) to predict current forest structure. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 122: 146-165.
- [15] Wang J, Chen Y Q, Shao X M, et al. Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future. *Land Use Policy*, 2012, 29(4): 737-749.
- [16] Kuang W H, Liu J Y, Dong J W, et al. The rapid and massive urban and industrial land expansions in China between 1990 and 2010: A CLUD-based analysis of their trajectories, patterns, and drivers. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 145: 21-23.
- [17] 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.
- [18] 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.]
- [19] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 2003, 46 (4): 373-384.
- [20] 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.]
- [21] 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.
- [22] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [23] Liu W C, Liu J Y, Kuang W H, et al. Examining the influence of the implementation of Major Function-oriented Zones on built-up area expansion in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(6): 643-660.

Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015

LIU Jiyuan¹, NING Jia¹, KUANG Wenhui¹, XU Xinliang¹, ZHANG Shuwen²,
YAN Changzhen³, LI Rendong⁴, WU Shixin⁵, HU Yunfeng¹, DU Guoming⁶,
CHI Wenfeng¹, PAN Tao⁵, NING Jing⁶

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130102, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China; 4. Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan 430077, China; 5. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China; 6. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Land use/cover change is an important theme on the impacts of human activities on the earth systems and global environment change. National land-use changes of China during 2010-2015 were acquired by the digital interpretation method using high-resolution remotely sensed images, i.e. the Landsat8 OLI, and GF-2 remote sensing images. The spatio-temporal characteristics of land-use changes across China during 2010-2015 were revealed by the indexes of dynamic degree model, annual land-use changes ratio, etc. The results indicated that built-up land increased by $24.6 \times 10^3 \text{ km}^2$, while cropland decreased by $4.9 \times 10^3 \text{ km}^2$, and the total area of woodland and grassland decreased by $16.4 \times 10^3 \text{ km}^2$. The spatial pattern of land-use changes in China during 2010-2015 was concordant with that of the period 2000-2010. Specially, new characteristics of land-use changes emerged in different regions of China in 2010-2015. The built-up land in eastern China expanded continually, and the total area of cropland decreased, both at decreasing rates. The rates of built-up land expansion and cropland shrinkage were accelerated in central China. The rates of built-up land expansion and cropland growth increased in western China, while the decreasing rate of woodland and grassland accelerated. In northeastern China, built-up land expansion slowed down continually, and cropland area increased slightly accompanied by the conversions between paddy land and dry land. Besides, woodland and grassland area decreased in northeastern China. The characteristics of land-use changes in eastern China were essentially consistent with the spatial governance and control requirements of the optimal development zones and key development zones according to the Major Function-oriented Zones Planning implemented during the 12th Five-Year Plan (2011-2015). It was a serious challenge for the central government of China to effectively protect the reasonable layout of land use types dominated with the key ecological function zones and agricultural production zones in central and western China. Furthermore, the local governments should take effective measures to strengthen the management of territorial development in future.

Keywords: land use change; spatio-temporal characteristics; remote sensing; Major Function-oriented Zones; China