

2015—2020年中国土地利用变化遥感制图 及时空特征分析

匡文慧¹, 张树文², 杜国明³, 颜长珍⁴, 吴世新⁵, 李仁东⁶, 陆灯盛⁷,
潘 涛⁸, 宁 静³, 郭长庆¹, 董金玮¹, 包玉海⁹, 迟文峰¹⁰, 窦银银¹,
侯亚丽^{1,11}, 尹哲睿⁸, 常丽萍², 杨久春², 谢家丽⁴, 邱 娟⁶,
张汉松³, 张宇博^{2,12}, 杨仕琪^{1,11}, 萨日盖⁹, 刘纪远¹

(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. 东北农业大学, 哈尔滨 150030;
4. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000; 5. 中国科学院新疆生态与地理研究所,
乌鲁木齐 830011; 6. 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院, 武汉 430071; 7. 福建师范大学,
福州 350007; 8. 曲阜师范大学, 日照 276826; 9. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010028; 10. 内蒙古财经大学,
呼和浩特 010070; 11. 中国科学院大学, 北京 100049; 12. 吉林大学, 长春 130000)

摘要: 持续地开展国家尺度土地利用/覆盖变化遥感监测对于新时代国土空间规划和“美丽中国”蓝图绘制具有重要的科学价值。本文采用 Landsat 8 OLI、GF-2 等卫星遥感数据, 融合遥感大数据云计算和专家知识辅助人机交互解译方法, 研发了中国土地利用变化(2015—2020年)和2020年土地利用现状矢量数据(CLOUD 2020), 建立了完整的30 a(20世纪80年代末—2020年)每隔5 a的30 m分辨率中国土地利用动态数据库。基于CLOUD 2020数据, 从全国和区域两个尺度揭示了2015—2020年中国土地利用变化的总体规律、区域分异和主要特征。研究表明: 将遥感大数据云计算生成的30 m分辨率植被覆盖变化和地表类型变化检测信息融入到人机交互遥感解译方法, 可有效地提高大范围土地利用变化遥感制图的效率和变化图斑辨识的准确性; 精度评价表明, CLOUD 2020一级类型制图的综合精度达95%。总体上, 全国范围内国土空间开发强度与2010—2015年比较进入相对稳定状态。期间全国耕地面积仍保持减少态势, 空间分异特征为耕地南减北增, 东北松嫩平原及其与三江平原交界区大规模的旱地向水田转移, 西北新疆南部开垦和北部退耕/撂荒并存; 全国城乡建设用地持续增加, 空间分异特征表现为由以往的沿海地区和超大、大城市集聚转向中西部地区的大中小城镇周边蔓延为主。全国范围的林草自然生态用地面积持续减少, 但强度与2010—2015年比较有所下降; 受气候变化的持续影响, 青藏高原地区的河流湖泊等水域面积显著增加。以上土地利用变化格局与“十三五”期间国家高质量发展、生态文明建设宏观战略和气候变化的影响密切相关。

关键词: 土地利用; 空间格局; 耕地变化; 城市扩展; 云计算; 遥感; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202205002

收稿日期: 2022-03-25; 修订日期: 2022-04-18

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA23100201); 国家重点研发计划(2018YFC1800103); 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0608) [Foundation: The Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No.XDA23100201; National Key R&D Program of China, No.2018YFC1800103; The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program, No.2019QZKK0608]

作者简介: 匡文慧(1978-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事土地利用/覆盖变化、城市生态学研究。

E-mail: kuangwh@igsnrr.ac.cn

1 引言

土地利用/覆盖变化 (LUCC) 作为反映人类活动对陆地表层系统作用的重要因素, 被认为是导致全球环境变化的主要决定因素之一, 对生态系统、全球生物地球化学循环、气候变化和生物多样性等产生重大影响^[1-3]。20世纪90年代, 在“国际地圈生物圈计划” (International Geosphere-Biosphere Program, IGBP) 和“国际全球环境变化人文因素计划” (International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP) 两大国际组织推动下, 土地利用/覆盖变化已成为全球环境变化研究的核心内容^[4-6]。随着全球人类活动的加剧, 21世纪初 IGBP 与 IHDP 共同推出了“全球土地计划” (Global Land Project, GLP), 强调陆地系统中人类—环境耦合系统的综合集成与模拟评估, 认识和理解全球土地系统变化过程中的脆弱性和弹性^[7-10], 土地利用变化及其生态环境效应成为全球关注的重点问题^[1, 3, 11-13]。2012年由国际科学理事会和国际社会科学理事会发起, 联合国教科文组织、联合国环境署等组织共同资助和推动, 正式启动“未来地球计划 (Future Earth)”, 旨在打破学科壁垒, 更加深入地认知自然和社会系统变化, 利用科技力量“创造人类与自然和谐发展的生态文明社会”^[14]。Steffen 等^[15]提出“星球的边界”概念, 也将全球土地系统变化的安全阈值作为核心内容, 评估表明全球土地利用变化对生物多样性的影响已经超出了星球边界的阈值^[16]。同时, 联合国可持续发展目标 (SDGs 2030) 更加强调土地利用/覆盖变化在可持续发展目标中扮演着重要的角色^[17-21]。Creutzig 等^[22]呼吁有序开发利用与管理土地应成为全球共识。

土地系统科学 (Land System Science) 正引领土地利用/覆盖变化研究朝着提升人类对地球系统综合认知能力的新学科体系和研究范式的发展方向, 成为“未来地球计划”的核心领域^[9], 更加强调提升人类与自然环境交互过程中土地系统动态变化以及与地球系统交互反馈的科学认识, 从而提供实现土地系统可持续性发展的解决方案^[3, 23]。21世纪以来, 中国进入史无前例的土地利用/覆盖变化进程, 并由2000年前以开发为主的阶段向21世纪以来开发与保护并重的阶段发展^[6]。在国家宏观政策的驱动下, 快速的城市和工矿扩张以及优质高产农田被吞噬等、各级主体行为和土地利用变化具有高度的复杂性^[24-25]。由此, 也带来了剧烈的土地利用空间格局的变化, 无序的国土空间开发导致土地退化、荒漠化、生物多样性减少、生态系统退化等一系列生态环境问题, 严重制约未来国土空间的可持续发展。国家尺度长时间序列的土地利用/覆盖变化遥感监测成果对于中国新时代“美丽中国”生态文明建设以及“2030目标”和“2050愿景”的科学刻画具有重要的参考价值^[25-26]。

开展高精度的国家尺度长时间序列土地利用/覆盖变化遥感监测, 对于回答国家关心的生态、资源、环境和农业生产等重大问题, 制定相关的宏观政策, 满足国家资源保护与国家和区域可持续发展需求具有重要的战略意义^[2]。研究团队以卫星遥感影像为主要数据源, 建成了20世纪80年代末中国国家尺度土地利用变化数据库, 并以5 a为更新周期采用同类卫星遥感数据源完成全国范围的土地利用数据更新^[6, 8, 27-29], 持续地研发了20世纪80年代末、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年7期全国土地利用现状及动态变化1:10万矢量数据库和1 km比例成分分类栅格数据库^[6, 8, 28-29]。本文系统地刻画了2015—2020年中国土地利用变化的主要特征与空间格局, 对中国新时代“美丽中国”建设的国土空间有序开发以及地域间和谐发展具有重要的科学意义和应用价值。

2 数据与方法

2.1 中国土地利用变化动态更新制图方法

在土地系统科学理论方法的指导下、充分利用研究团队近30年来积累的土地利用遥感解译方面的地理考察与地学专家知识经验,综合集成遥感大数据和云平台计算先进的技术方法,开展新一期中国土地利用变化(2015—2020年)制图。从现状矢量数据(China Land Use/Cover Dataset in 2020, CLUD 2020)统一的制图方案修订、分类系统改进,分区块作业平台建设、人员培训,遥感数据采集、数字化解译,大数据处理和数据分发,分区数据汇交与图斑检核,国家尺度数据集成和精度评价,区划图生成和分析工作共计10余个环节研发产生。本次CLUD 2020制图既要保持与20世纪80年代末、1995年、2000年、2005年、2010年和2015年6期全国土地利用变化数据库建设的一致性^[6, 27-30]、数据源和制图方法的统一,又考虑了土地利用分类系统对于新时期变化类型识别的适应性,在保留传统人机数字化解译基础上,借助于遥感大数据和云平台计算结果作为辅助信息,从而提高作业的效率 and 数据的精度(图1)。

CLUD 2020制图继续以Landsat 8 OLI卫星影像30 m分辨率光谱波段为主要信息源,辅以GF-2等国产卫星影像,应用面向对象实体的土地利用人机交互解译平台开展作业。在各分区工作组开展遥感影像下载合成和纠正的同时,牵头工作组基于面向像素级的地表类型变化检测大数据平台,在Google Earth Engine平台获取2015—2020年逐年NDVI变化趋势数据^[31],应用随机森林算法等生成城市边界数据(Global Urban Land Use/Cover Composites with 30 m spatial resolution, GULUC-30)^[26]、地表类型变化等辅助信息。面向像素级的地表类型变化检测,更多识别的是两期制图中地表覆盖状态的差异特征,由于存在季相不一致、状态渐变而非转类、同物异谱和异物同谱导致的结果,而非

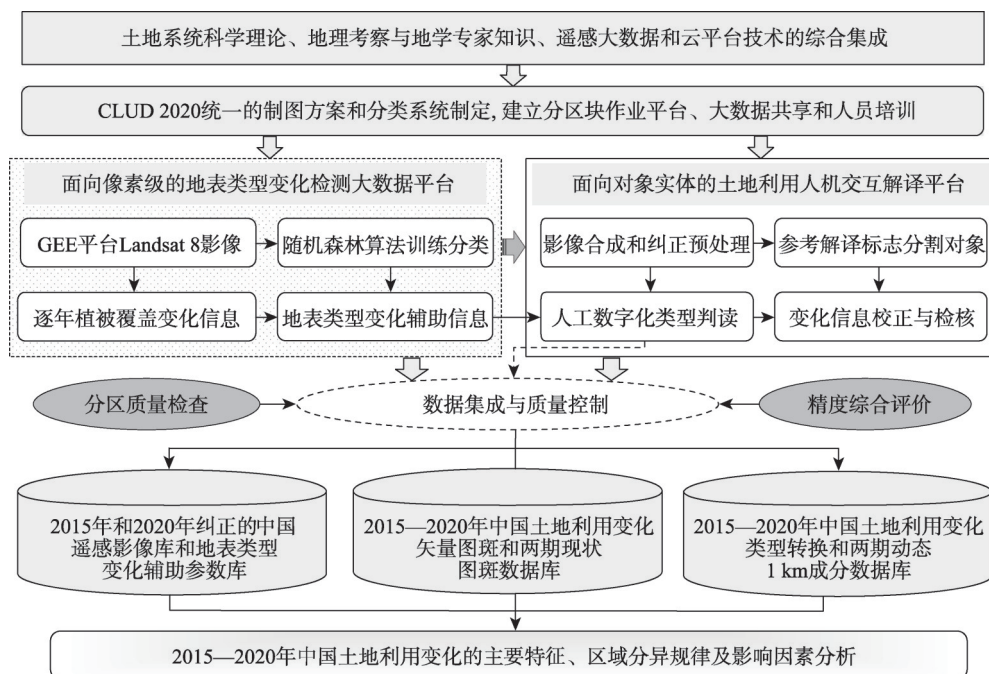
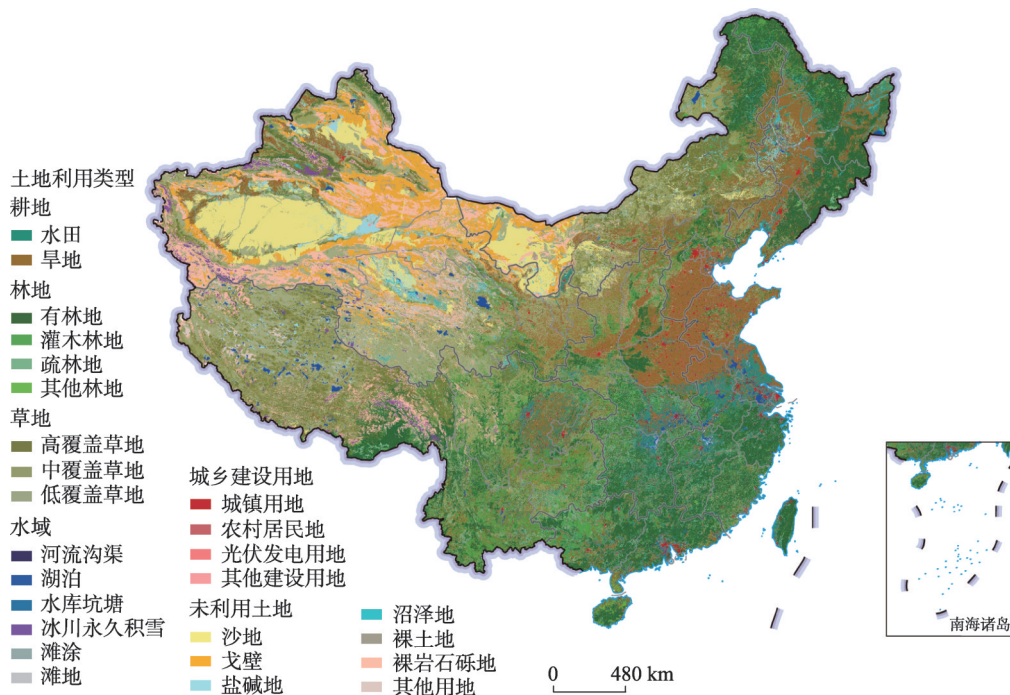


图1 2015—2020年中国土地利用变化动态更新技术流程

Fig. 1 Flowchart on updating and mapping land use change in China from 2015 to 2020

由人类活动或气候变化驱动的土地利用类型真实的转换。由此, 本文将获取的面向像素级的地表类型变化检测的地表类型作为土地利用解译的辅助信息, 继续参考遥感解译标志, 从色彩、纹理、形态、位置及邻域关系等综合判读, 结合各分区长期积累的野外调查成果和专家知识, 识别两期的动态变化图斑。

在CLUD 2020更新中对土地利用分类系统做了局部的调整, 城乡建设用地(类型编码为50)分类体系中将光伏发电用地(类型编码为54)单独列为一类。基于全数字人机交互作业平台, 对各分区工作组初步制图成果, 牵头工作组从分省现状和转类面积、变化图斑获取的可靠性和变化规律正确性等多角度评估数据的质量, 并反馈给各分区工作组修改完善数据库, 经两次反馈检核修改后进行最终的数据汇总。牵头工作组将开展数据的集成、拼接、精度评价和尺度转换, 产生中国2015—2020年土地利用变化和2020年土地利用现状1:10万比例尺矢量数据库及其1 km比例成分分类栅格数据库(图2)。



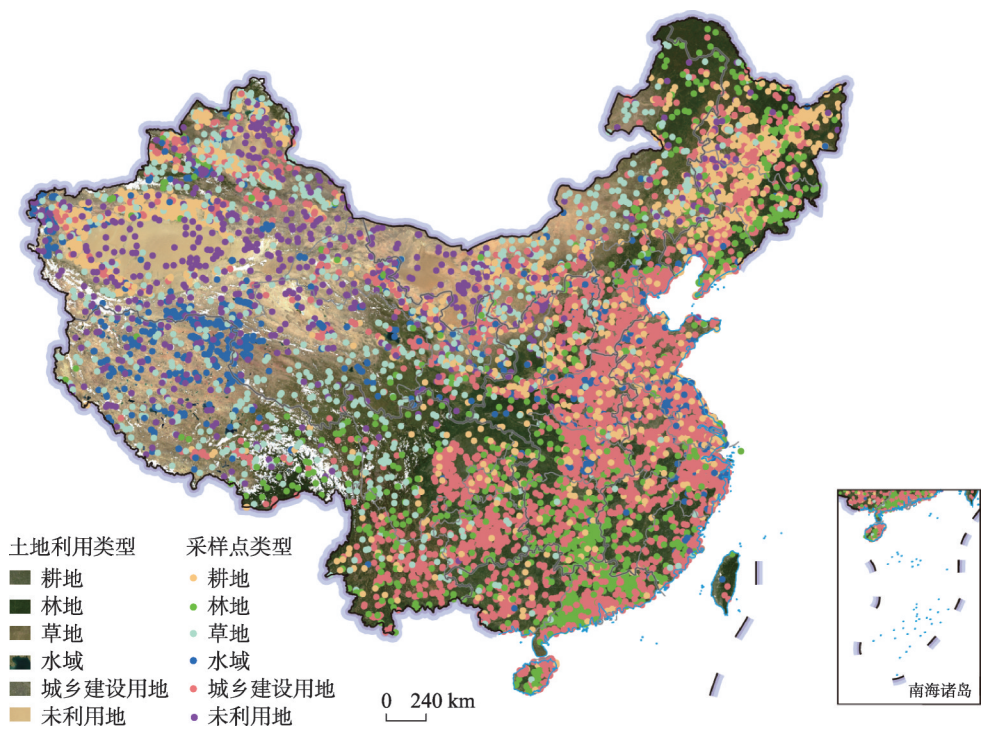
注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1823号标准地图制作, 底图边界无修改。

图2 2020年中国土地利用现状图

Fig. 2 Land use map of China in 2020

2.2 中国土地利用变化制图精度评价

为保证多期数据的可比性和提高数据获取的精度, 在遥感图像校正、人机交互解译和数据集成各个环节进行质量控制, CLUD 2020精度验证仍采用原有的评价方法。在全国范围内基于Google Earth、GF-2影像、无人机航拍图像、实地考察等手段, 获取大量的高分辨率图像、外业调查记录及实景照片。依据全国范围内2020年土地利用现状图斑的类型及数量分层随机抽样, 按照变化图斑与未变图斑采样点数量比10:1的抽样设置, 从各一级类型中抽取约10%的采样点(图3)。根据抽样数据分类的类型与地面验证的真值数据进行比对分析, 标识遥感解译的准确性^[30]。采用混淆矩阵方法定量评价CLUD 2020数据的精度, 主要指标包括用户精度(User Accuracy, UA)、生产者精度(Producer Accuracy, PA)、总体精度(Overall Accuracy, OA)和Kappa系数^[32-34]。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1823号标准地图制作,底图边界无修改。

图3 2020年中国土地利用制图精度评价采样点分布

Fig. 3 Distribution of sampling points of accuracy assessment on CLUD 2020

在全国范围不同土地利用类型内共抽取了19040个采样点，包括17454个变化图斑采样点和1586个未变图斑采样点，其中耕地6203个、林地1155个、草地1352个、水域1926个、城乡建设用地7816个和未利用地588个。精度评价表明，CLUD 2020的一级类型分类制图的综合精度为95.53%，Kappa系数为0.937。耕地、林地和未利用地分类的用户精度在96%以上（表1）。二级类型制图的综合精度达90%以上，城镇用地、农村居民地、光伏发电用地和其他建设用地分类的用户精度分别为92%、90%、93%和97%；水田、旱地、有林地、疏林地等分类的用户精度在95%以上。

表1 2020年中国土地利用精度一级类型混淆矩阵

Tab. 1 The confusion matrix on the accuracy of 1st level classification from CLUD 2020

一级类型		真实样本数量(个)						分类样本 总数(个)	用户 精度(%)
		耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地		
分类样本数量	耕地	5990	22	97	21	26	47	6203	96.57
	林地	15	1123	3	3	0	11	1155	97.23
	草地	27	2	1292	17	1	13	1352	95.56
	水域	34	1	30	1836	4	21	1926	95.33
	城乡建设用地	294	58	43	20	7382	19	7816	94.45
	未利用地	18	0	3	2	0	565	588	96.09
真实样本总数(个)		6378	1206	1468	1899	7413	676	19040	—
生产者精度(%)		93.92	93.12	88.01	96.68	99.58	83.58	综合精度	95.53

2.3 分析方法

为科学刻画中国土地利用变化的特征和格局,从2015—2020年土地利用变化的总体特征、区域分异规律和主要土地利用类型变化过程3个方面开展分析。通过对CLUD 2020一级类型面积的变化和转换矩阵,与2010—2015年开展不同时段的比较,揭示2015—2020年中国各土地利用类型面积的转换特征和国土开发的状态。同时,对不同土地利用类型在空间上的分异特征加以识别,剖析土地利用变化的科学事实和时空演化规律^[6, 29]。

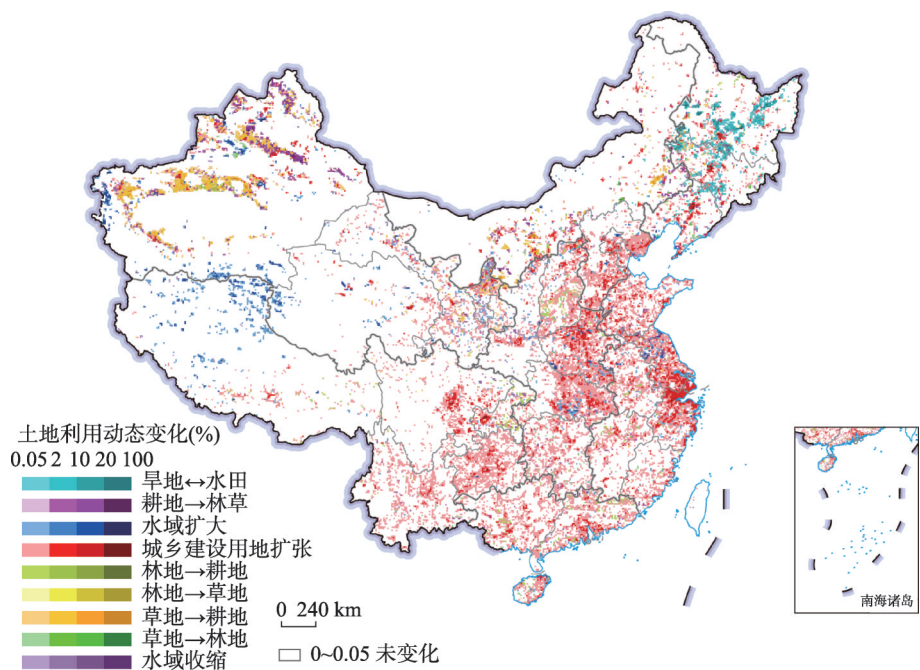
为更好地揭示人类活动和气候因素对土地利用变化影响的区域分异规律,将全国分为华北区、东北区、华东区、华中区、华南区、西北区和西南区共7个区域,刻画各分区土地利用变化面积、类型分布和主要特征。为增强全国范围内的土地利用变化总体规律的识别和地图的可视化,以10 km×10 km栅格格网为基本单元,统计10 km×10 km格网内主导转换类型的面积变化,将其最大的类型确定该网格的属性,建立土地利用动态转换主导类型图,重点对旱地向水田、耕地向林草、水域扩大、城乡建设用地扩张、林草向耕地之间转换等主要动态变化类型制图^[8]。

3 中国土地利用变化的总体特征

2015—2020年中国土地利用变化总面积为450.35×10⁴ hm²,占陆域总面积的0.47%。期间中国城乡建设用地面积净增加了200.40×10⁴ hm²,耕地面积净减少了65.12×10⁴ hm²,林地面积净减少了25.25×10⁴ hm²,草地面积净减少了64.80×10⁴ hm²,水域面积净增加了11.41×10⁴ hm²(表2)。受国家“十三五”期间发展政策等因素的影响,中国2015—2020年土地利用变化与2010—2015年相比,一级类型面积变化趋势一致,但在区域上呈现一定的空间差异特征。总体上,城乡建设用地扩张特征由以往的沿海地区和超大、大城市集聚转向中西部地区的大中小城镇周边蔓延;耕地变化特征为全国范围的城镇开发建设占用农田,东北旱地向水田转换的面积进一步缩小,空间范围由三江平原向松嫩平原转移,西北地区新疆南部开垦和北部退耕/撂荒并存;林地变化特征为总量小分布广,林地变化主要发生在南方传统天然林区;草地变化特征为华北华南持续减少,西北草地和耕地交替互转,草地转为城乡建设用地主要发生在宁夏、甘肃南部和贵州等地,草地开垦为耕地主要发生在新疆绿洲农业区和内蒙古科尔沁地区;水域变化特征为东减西增中交错,减少的水域主要发生在东北区和沿海地区,增加的水域主要发生在青藏高原区(图4)。

表2 2015—2020年中国土地利用转移矩阵(10⁴ hm²)
Tab. 2 Area of land use change across China during 2015-2020 (10⁴ hm²)

2015年	2020年						总计
	耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地	
耕地	—	6.31	26.92	9.94	142.08	5.19	190.44
林地	6.39	—	0.54	1.31	28.80	0.51	37.55
草地	60.30	3.03	—	13.73	23.26	3.29	103.61
水域	16.80	0.90	5.30	—	6.63	4.26	33.89
城乡建设用地	8.36	0.81	1.49	1.31	—	1.50	13.47
未利用地	33.47	1.25	4.56	19.01	13.10	—	71.39
总计	125.32	12.30	38.81	45.30	213.87	14.75	—



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1823号标准地图制作,底图边界无修改。

图4 2015—2020年中国主要土地利用类型转换空间分布
Fig. 4 Distribution of dominant land use conversion in China during 2015-2020

从全国七大区域主要土地利用变化类型来看，东北区旱地与水田相互转换和城乡建设用地扩张占主导，分别为 $49.55\times10^4\text{ hm}^2$ 和 $22.05\times10^4\text{ hm}^2$ ；华北区以城乡建设用地扩张和草地向耕地转换为f主，分别为 $29.61\times10^4\text{ hm}^2$ 和 $11.57\times10^4\text{ hm}^2$ ；华南区和华中区以城乡建设用地扩张为主，分别为 $17.71\times10^4\text{ hm}^2$ 和 $32.98\times10^4\text{ hm}^2$ ；西北区土地利用类型转换剧烈而且复杂，城乡建设用地扩张面积为 $27.15\times10^4\text{ hm}^2$ ，水域扩大面积为 $23.19\times10^4\text{ hm}^2$ ，同时呈现显著的耕地向林草转换和草地开垦并存模式，分别为 $22.55\times10^4\text{ hm}^2$ 和 $43.75\times10^4\text{ hm}^2$ ；西南区城乡建设用地扩张面积为 $25.52\times10^4\text{ hm}^2$ ，同时水域扩大面积为 $8.67\times10^4\text{ hm}^2$ （表3）。全国范围内主要的土地利用类型转换差异显著，城乡开发建设在各分区均属于主要变化类型，西北、东北等地区耕地类型的动态变化比较显著。

表3 2015—2020年中国不同分区主要土地利用类型转移矩阵(10^4 hm^2)
Tab. 3 Area of dominant land use change types in different regions of China during 2015-2020 (10^4 hm^2)

土地利用 转换类型	旱地↔ 水田	耕地→ 林草	水域 扩大	城乡建设 用地扩张	林地→ 耕地	林地→ 草地	草地→ 耕地	草地→ 林地	水域 收缩
东北区	49.55	3.74	0.61	22.05	0.56	0.13	3.56	0.55	4.33
华北区	1.64	4.84	2.91	29.61	1.11	0.19	11.57	1.59	1.59
华东区	0.72	1.14	5.50	58.85	0.58	0.03	0.79	0.13	11.31
华南区	0.02	0.25	0.38	17.71	1.06	0.04	0.06	0.05	0.05
华中区	0.26	0.42	4.04	32.98	0.28	0.01	0.01	0.17	0.41
西北区	0.01	22.55	23.19	27.15	2.23	0.12	43.75	0.41	8.41
西南区	0.00	0.30	8.67	25.52	0.58	0.02	0.56	0.12	1.08
总计	52.20	33.24	45.30	213.87	6.40	0.54	60.30	3.02	27.18

2015—2020年全国范围城乡建设用地持续扩张,其中以华东区扩张面积最大,为 $58.85 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占全国城乡建设用地扩张面积的27.52%。耕地转为城乡建设用地主要发生在华东区和华中区,两个区域内转换面积合计占全国耕地转为城乡建设用地面积的51%以上。耕地开垦类型以草地转为耕地为主,草地转为耕地主要发生在西北区,尤其是新疆绿洲地区以及内蒙古地区,西北区内转换面积占全国草地转为耕地总面积的72.55%。水域扩大主要发生在西北区和西南区,其中青藏高原北部尤为明显(图4、表3)。

通过与2015—2020年比较发现,全国范围内的城乡建设用地扩张面积净增量由2010—2015年的 $246.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 下降到2015—2020年的 $200.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。但是,城镇化速度仍呈现略有增长的态势,城镇扩展面积由2010—2015年的 $84.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 上升到2015—2020年的 $89.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$,2015—2020年城乡建设用地扩张面积的降低主要是由于农村居民地、独立工矿用地和交通建设用地减少导致的。由于2015—2020年耕地被占用面积大于开垦面积,全国耕地面积呈现更快速的下降趋势,耕地面积减少由2010—2015年的 $49.01 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 上升到了2015—2020年的 $65.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。林草用地减少的速度呈现一定的下降趋势(图5)。从不同分区而言,东北区旱地转为水田现象仍在持续发生,旱地向水田转换的面积进一步缩小,空间范围由三江平原向松嫩平原转移;东南沿海地区城乡建设用地持续扩张,但建设速度减缓,呈现出城市群及都市圈扩张和小城镇蔓延扩张并重趋势;华中区城乡建设用地扩张的同时水域空间加速扩张;西南区和西北区城乡建设用地扩张重心仍在四川盆地、黄土高原等经济相对发达地区。另外,新疆绿洲农业区仍是西北区在水资源控制下的绿洲耕地资源的有序休养生息区主要集中地;青藏高原地区的河流湖泊扩大范围进一步增大(图4、图5)。

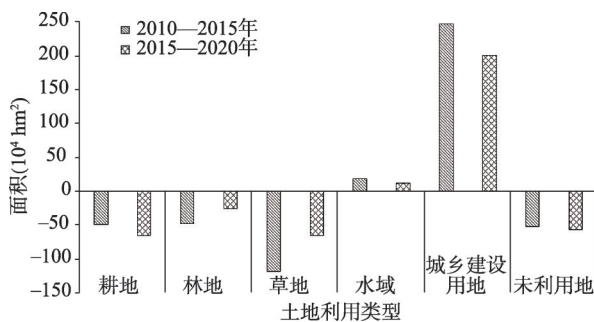


图5 2010—2015年和2015—2020年中国主要土地利用类型面积变化比较

Fig. 5 Comparison of area changes of dominant land use types in China between 2010-2015 and 2015-2020

4 中国土地利用变化的区域分异特征

4.1 土地利用变化的区域差异

中国土地利用变化具有显著的区域差异特征,不同区域土地利用变化类型的主要空间格局为:

不同区域均表现出城乡建设用地显著扩张的特点,东北区、华东区、华中区、西南区和华北区城乡建设用地的扩张主要占用优质耕地,主要集中在东南沿海、四川盆地等地区,东北区和华东区城乡建设用地扩张占用优质耕地比例在80%以上,华中区占用比例在70%以上,西南区和华北区占用比例在60%以上;华南区城乡建设用地扩张主要占用耕地和林地,其中耕地占用比例为50%以上,林地占用比例在42%以上;西北区城乡建设用地扩张主要占用未利用地和草地资源,占用比例分别为35%和34%以上。

除城乡建设用地扩张外,不同区域表现出显著的变化类型差异特征,华北区内蒙古地区以耕地开垦为显著特点,东北区三江平原和松嫩平原以旱地、水田的互相转换为主,西北干旱与绿洲农业区耕地开垦与撂荒、退耕还林还草并存,华北区也有一定程度

的退耕还林还草。华东区和华中区湖泊河流密集地区退田还河还湖的特征明显，西北区和西南区的青藏高原区以草地、未利用地向水域的转换为显著特点。

4.2 2010—2015年和2015—2020年土地利用变化分异的比较

2010—2015年和2015—2020年土地利用变化特征在空间分布上具有较高的一致性，但2010—2015年的土地利用变化强度稍高于2015—2020年，土地利用变化的主要类型在局部地区也有显著差异，表明了土地利用动态变化的区域特性（表4、表5）。

2010—2015年城乡建设用地的净增量为 $246.82\times10^4\text{ hm}^2$ ，高于2015—2020年的 $200.40\times10^4\text{ hm}^2$ ，其城乡建设用地增量结构从以城市群、都市圈为主体的城市面积显著扩张发展到城市群及都市圈扩张和小城镇蔓延扩张并重的特征。主要体现在华北区、华东区和华南区经济发达地区城乡建设用地净增量与2010—2015年比较减少了 $35.25\times10^4\text{ hm}^2$ 。东北区经济振兴区域城乡建设用地净增量与2010—2015年比较增加了 $11.35\times10^4\text{ hm}^2$ 。西北区和西南区作为国家生态保护与安全屏障的重要区域，城乡建设用地净增量与2010—2015年比较共减少了 $21.62\times10^4\text{ hm}^2$ 。

耕地的变化特征较为明显，2010—2015年和2015—2020年耕地呈现持续减少趋势，2015—2020年耕地净减少量略高于2010—2015年，位于华东区、华北区、华中区和华南区的黄淮海、长江三角洲和珠江三角洲地区的大量优质耕地转为城乡建设用地，东北区耕地变化由2010—2015年的耕地增加向2015—2020年的耕地减少转变，区域内的旱地与水田的相互转换仍在持续进行，耕地开垦集中在西北区，但西北绿洲农业区草地开垦为耕地的面积减少了50%。

2015—2020年林草用地净转换面积大量减少，净减少量从2010—2015年的 $165.02\times10^4\text{ hm}^2$ 下降到2015—2020年的 $90.05\times10^4\text{ hm}^2$ ，减少了45%，草地增加面积仍集中分布在华北区内蒙古地区及西北区新疆绿洲农业区，华南区的林草互转面积大幅减少。林草用地转为城乡建设用地的比例由2010—2015年的28%下降到2015—2020年的24%。

水域面积持续增加，但2015—2020年水域增加面积有所下降，净增量从2010—2015年 $18.67\times10^4\text{ hm}^2$ 下降到2015—2020年的 $11.41\times10^4\text{ hm}^2$ 。华东区水域面积变化从2010—2015年的水域面积增加转变为2015—2020年的水域面积减少。华中区、西北区和西南区的水域面积加速增加，华中区水域面积增长主要来自退田还河还湖，西北区和西南区增加的水域面积主要集中在青藏高原区，2015—2020年水域增加面积比例增长了94%。

表4 2010—2015年和2015—2020年不同区域土地利用类型面积变化比较(10⁴ hm²)

Tab. 4 The comparison of land use change area in different regions of China between 2010-2015 and 2015-2020 (10⁴ hm²)

区域	2010—2015年						2015—2020年					
	耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地
东北区	5.02	-4.29	-2.76	-0.07	10.39	-8.29	-6.99	0.49	-3.49	-4.19	21.74	-7.52
华北区	-12.76	1.30	-8.64	1.74	40.41	-15.85	-8.06	0.01	-14.91	0.57	25.82	-3.44
华东区	-65.04	-9.35	1.71	5.39	67.74	-0.10	-33.78	-4.11	-2.72	-9.43	50.41	-0.13
华南区	-10.59	-13.05	3.17	-0.35	20.77	0.04	-8.17	-8.33	-0.91	-0.06	17.44	0.03
华中区	-25.74	-10.12	-1.45	0.71	33.54	0.00	-28.74	-5.23	-1.53	2.72	32.64	0.11
西北区	88.07	-3.37	-99.73	5.88	42.59	-28.74	35.52	-1.49	-32.32	14.36	26.90	-43.16
西南区	-27.97	-8.43	-10.01	5.37	31.38	1.48	-14.90	-6.59	-8.92	7.44	25.45	-2.53
总计	-49.01	-47.31	-117.71	18.67	246.82	-51.46	-65.12	-25.25	-64.80	11.41	200.40	-56.64

表5 2010—2015年和2015—2020年中国土地利用类型转换分区特征及比较

Tab. 5 Regional characteristics and comparison of land use change across China between 2010-2015 and 2015-2020

分区	分区面积 (10 ⁴ hm ²)	2010—2015年	2015—2020年	空间差异
东北区	78.79	以耕地转为城乡建设用地(约8×10 ⁴ hm ²)和未利用地转为耕地(约6×10 ⁴ hm ²)为主, 林地和草地转为耕地(均约4×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约18×10 ⁴ hm ²)和未利用地转为耕地为主(约7×10 ⁴ hm ²), 水域和草地转为耕地(均约4×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型有一定改变, 耕地转为城乡建设用地面积增加, 水域转为耕地面积增加, 林地转为耕地面积减少。旱地向水田转换的面积进一步缩小, 空间范围由三江平原向松嫩平原及与其交界区转移
华北区	155.51	以耕地转为城乡建设用地(约17×10 ⁴ hm ²)为主, 草地转为城乡建设用地(约16×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约18×10 ⁴ hm ²)为主, 草地转为城乡建设用地(约12×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型基本未变, 草地转为城乡建设用地面积减少1/4。空间上生态退耕面积进一步缩小, 耕地开垦面积略有增加
华东区	79.54	以耕地转为城乡建设用地(约64×10 ⁴ hm ²)为主, 耕地转为水域和林地转为城乡建设用地(均约8×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约48×10 ⁴ hm ²)为主, 耕地转为水域(约11×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型有一定改变, 耕地转为城乡建设用地面积减少1/4, 耕地转为水域面积增加, 林地转为城乡建设用地面积减少。空间上城市化占用优质耕地趋势减弱
华南区	44.78	以耕地转为城乡建设用地(约11×10 ⁴ hm ²)为主, 林地转为草地和城乡建设用地(均约8×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约9×10 ⁴ hm ²)为主, 林地转为城乡建设用地(约8×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型有一定改变, 耕地转为城乡建设用地面积减少, 林地转为城乡建设用地面积基本未变, 林地转为草地面积大幅减少。空间上森林采伐或干扰程度减弱
华中区	56.47	以耕地转为城乡建设用地(约24×10 ⁴ hm ²)为主, 林地转为城乡建设用地(约10×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约26×10 ⁴ hm ²)为主, 林地转为城乡建设用地(约5×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型基本未变, 耕地转为城乡建设用地面积增加, 林地转为城乡建设用地面积减少1/2。空间上城市化占用优质耕地趋势略有上升
西北区	308.26	以草地转为耕地(约87×10 ⁴ hm ²)为主, 未利用地转为耕地(约26×10 ⁴ hm ²)次之	以草地转为耕地(约44×10 ⁴ hm ²)为主, 未利用地转为耕地(约22×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型基本未变, 发生土地利用变化的区域有所缩小, 草地转为耕地面积减少1/2, 未利用地转为耕地面积减少。空间上表现为新疆由开垦为主向南部开垦和北部退耕/撂荒并存的空间分异特征
西南区	236.65	以耕地转为城乡建设用地(约24×10 ⁴ hm ²)为主, 水域转为未利用地和草地转为水域(均约6×10 ⁴ hm ²)次之	以耕地转为城乡建设用地(约16×10 ⁴ hm ²)为主, 林地转为城乡建设用地(约6×10 ⁴ hm ²)和草地转为水域(约5×10 ⁴ hm ²)次之	主要土地利用变化类型有一定改变, 耕地转为城乡建设用地面积减少1/3, 水域转为未利用地大幅减少, 林地转为城乡建设用地面积增加, 草地转为水域面积减少。空间上青藏高原水域扩大明显增强

未利用地作为补充土地利用的重要后备资源, 2010—2020年面积均呈现减少趋势, 且2015—2020年净减少量上升了5.18×10⁴ hm²。2010—2015年和2015—2020年减少的未利用地利用方式更加多元化, 从主要转换为耕地(18%)和城乡建设用地(47%)向耕地(33%)、草地(21%)、水域(24%)和城乡建设用地(18%)多种类型转变。西北区拥有大量的未利用地资源, 随着国家对西北地区未利用地开发利用的日益深入, 2015—2020年西北区未利用地转换面积占全国未利用地转换面积比例由71%下降到60%, 未利用地的开发利用不再局限于耕地开垦与城乡建设用地扩张, 更加注重未利用地的生态系统服务与生态价值。

5 主要土地利用类型的变化特征

5.1 耕地变化

2015—2020年中国耕地变化的总体趋势为“南减北增”，耕地类型转换以城镇建设占用农田和开垦、退耕/撂荒为主，西北地区新疆南部开垦和北部退耕/撂荒并存。耕地面积剧烈减少的区域发生在华东区和华中区，两个区域的耕地面积分别减少了 $33.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $28.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。全国耕地的转出中，平均74.61%转换为城乡建设用地，在华东、华南和西南区耕地转为城乡建设用地占90%以上。空间上，长江三角洲、珠江三角洲和四川盆地是城乡建设用地占用耕地的热点区域。在国家生态退耕工程的持续巩固政策和西北绿洲生态建设的影响下，西北区的68.12%耕地转换为林草用地（图4、图6a）。

国家耕地保护政策和后备耕地资源的开发利用导致局部地区耕地面积增加。伴随耕地数量、质量和生态“三位一体”保护战略，未利用地的垦荒和绿洲农业的发展，是耕地面积增加的主要途径。新疆塔里木盆地周围的草地被开垦为耕地的面积最大，导致西北区耕地面积净增加 $35.52 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，是全国各分区中耕地面积唯一增加的区域。东北松嫩平原、华北河套平原以及西北准葛尔盆地成为耕地开垦的主要聚集区，其中26.04%、68.03%和66.95%的林草用地被开垦为耕地（图6a）。

城镇化是导致耕地面积减少的主要驱动因素。“十三五”期间，全国城市扩展面积由2010—2015年的 $84.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 上升到 $89.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，其中64.46%的面积来自于耕地。西北新疆南部、华北和东北存在部分的开垦以补充耕地，是耕地面积增加的主要影响因素。

5.2 林草变化

2015—2020年耕地开垦和城乡建设用地的扩张是导致林草面积减少的主要原因。期间林草转换为其他用地类型的面积为 $137.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，其中有 $52.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的林草转换为城乡建设用地， $66.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的林草被开垦为耕地。华北和西北是林草用地转换最为剧烈的地区，54.09%的林草减少发生在此区域（表2、图6b~6c）。

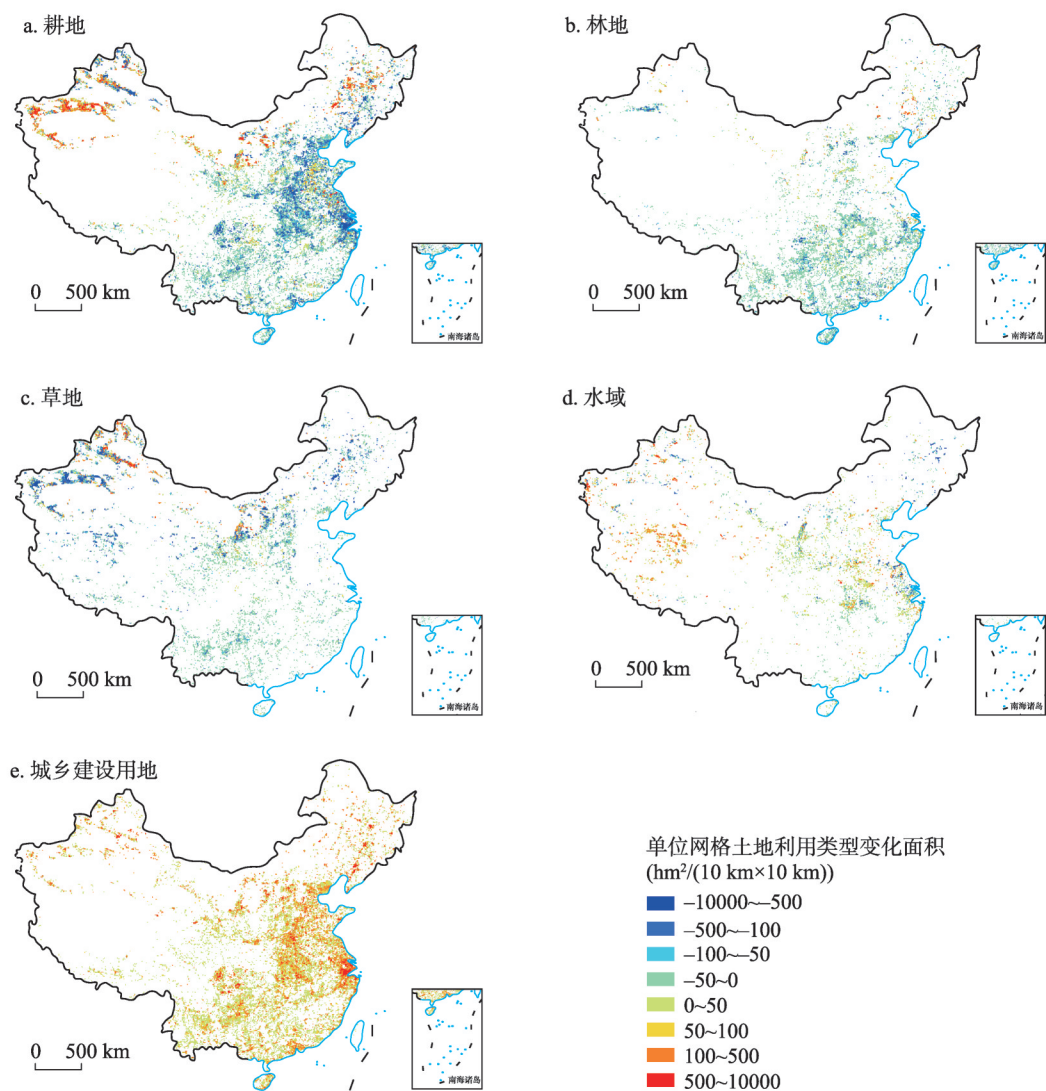
林地类型的转换区域较为广泛，华东、华中、华南以及西南的东部地区均有分布，但转换程度较弱。2015—2020年全国土地利用类型转换中林地的转换比例仅占8.34%。林地转换为其他用地类型的面积为 $37.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，其中76.7%的林地被开发为城乡建设用地，与2010—2015年相比，林地向城乡建设用地的转换速度已经由 $6.93 \text{ km}^2/\text{a}$ 下降至 $5.76 \text{ km}^2/\text{a}$ 。林地的增加面积分布稀少，主要发生在新疆北部准葛尔盆地的退耕还林还草以及少部分的林草互转（图6b）。

草地的转换程度高于林地，2015—2020年草地转换为其他用地类型的面积为 $103.61 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中58.2%的草地开垦为耕地，主要发生在新疆和内蒙古科尔沁地区；22.45%的草地转换为城乡建设用地，主要发生在宁夏、甘肃南部和贵州等地区。与林地转换趋势类似，草地的净减少面积由2010—2015年的年均减少 $23.54 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 下降至 $12.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，趋势减缓（图6c）。

林草用地作为中国重要的生态保护屏障，在防风固沙和水土流失防治等方面发挥着重要的生态服务功能。然而，自2010年以来，随着“退耕还林还草”政策的巩固，耕地向林草转换面积达到峰值进而林草面积开始减少，但在“完善草原生态保护政策机制，促进林草体制机制融合发展”等生态政策的影响下林草减少趋势逐渐放缓。

5.3 水域变化

2015—2020年中国水域面积共增加了 $45.30 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中，增加面积最多的为西北区，增加了 $23.19 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占全国水域增加面积的51.19%，其次是西南区，增加了



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1603号标准地图制作, 底图边界无修改。

图6 2015—2020年中国主要土地利用类型变化空间分布

Fig. 6 Land use change area of main types in China during 2015-2020

$8.67\times 10^4\text{ hm}^2$ (表3)。水域面积扩张主要是由未利用地、草地和耕地转化为主, 约有41.97%的未利用地转化为新增水域, 分别有30.31%和21.94%的新增水域来自草地和耕地的转入。西北区和西南区水域扩张主要集中在中国地形复杂的第一阶梯和第二阶梯界线昆仑山脉、祁连山脉附近地区以及新疆中部的天山山脉地区。水域减少总面积 $33.89\times 10^4\text{ hm}^2$, 主要分布在华东区、西北区和东北区。华东区水域减少面积最大, 为 $15.05\times 10^4\text{ hm}^2$, 占水域减少面积的44.41% (图6d)。

2015—2020年中国各区水域变化的面积和速率有明显的差异。从净变化面积来看, 2015—2020年西北区的水域面积增加幅度最大, 然而华东区、华南区和东北区的水域面积明显缩小, 特别是华东区由2010—2015年水域面积增加变为2015—2020年水域面积减

少最为严重的区域(表4、图6d)。2015—2020年水域面积变化除了与人类活动有关外,与气候变化密不可分,特别是青藏高原地区水域面积增加可能与气候变暖所导致的高山冰雪融化有关。已有研究表明青藏高原内流区的10个大型湖泊在1979—2016年间扩张的主要驱动因素为降雨,冰雪融水(贡献率为20.5%~45.4%)和土壤冻融(贡献率为2.1%~6.7%)过程也在一定程度上导致了湖泊的扩张^[35]。

5.4 城乡建设用地变化

2015—2020年中国城镇、农村、独立工矿和交通等城乡建设用地面积共增加了 $200.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中,增加面积最多的为华东地区,增加了 $50.41 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国城乡建设用地增加面积的25.15%,其次是华中区,增加了 $32.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$;华南地区增加面积最小,为 $17.44 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。城乡建设用地的扩张主要以侵占耕地为主,约有66.43%的新增城乡建设用地来自对耕地的占用,分别有13.47%和10.88%的新增城乡建设用地与林地和草地转化有关。其中,华东区城乡建设用地扩张主要在经济较为发达、人口相对稠密的长江三角洲城市群地区分布最广,以及山东半岛大中小城镇周边地区。华中地区城乡建设用地扩张主要分布在长江中游城市群和中原城市群。然而东北区城乡建设用地扩张在哈尔滨—长春—沈阳城市周边地区最为显著(图6e)。

相比2010—2015年,2015—2020年城乡建设用地增加面积有所减缓,但城乡建设用地增加的面积和增速具有明显的差异。从增加面积看,除东北区城乡建设用地增长面积较2010—2015年相比有所增加外,其他区域增加面积均小于2010—2015年增加的面积。其中,2015—2020年华东区城乡建设用地增加面积大幅下降,相比2010—2015年,增加面积下降了 $17.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$;其次为西北区和华北区,分别减少 $15.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $14.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。空间上,中国城乡建设用地面积持续扩张,形态上以华东区为重心,向中西部大中小城镇蔓延为主(图6e)。

统计数据表明,中国城镇化率由2015年的56.10%上升到了2020年的63.89%;城镇常住人口由7.71亿人增长到9.02亿人^[36],增加了1.31亿人。为满足城镇化和工业化进程中生产、生活和生态用地的需求,城市不断向外扩展,加之独立工矿和交通建设用地的增长,是导致城乡建设用地扩张的主要驱动因素。

6 结论

本文采用相同的卫星遥感影像数据,将大数据、云平台和云计算等技术方法与传统的面向对象实体的人机交互解译方法相结合,对中国土地利用变化数据库进行定期更新(CLOUD 2020),有效提高了大范围土地利用变化人机交互解译的效率和变化信息获取的准确性。精度验证表明,CLOUD 2020一级类型制图的综合精度达95%,较前6期数据集的精度略有提高。

基于CLOUD 2020遥感制图,从2015—2020年土地利用变化的总体特征、区域分异规律和主要类型变化3个角度揭示了中国“十三五”期间土地利用变化的科学事实、分异特征及影响因素。研究表明,2015—2020年全国范围内的国土空间开发强度与2010—2015年比较进入相对稳定状态。全国耕地面积由于大规模的城乡建设用地占用,自2000年以来仍呈现持续减少的态势;全国城乡建设用地面积持续增长,总体增加速度放缓,但城镇扩张的速度仍呈现略有增长的态势;全国范围的林草自然生态用地面积持续减少,但强度与2010—2015年比较有所下降。随着中国步入新时代,国家“十三五”期间以提高发展质量和生态文明建设的目标对土地利用变化格局产生重大影响,中国土地利

用变化进入相对稳定期, 区域变化渐弱并趋于平缓, 大规模剧烈变化基本鲜见。然而, 西北区、华北区和西南区的生态保护与生态屏障维系存在严峻挑战, 进一步加强国土空间开发管控和污染防治仍是新时代生态文明建设的重要组成部分。国家尺度长时间序列(20世纪80年代末—2020年)土地利用变化空间信息为国土空间规划、“美丽中国”2035/2050年地理图景设计以及生态文明建设提供重要的数据支撑和科学参考。

致谢: 感谢CLUD2020遥感解译团队各位成员在数据采集方面的贡献;感谢审稿人提出的宝贵修改意见。

参考文献(References)

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Zhang Shuwen, et al. Innovation and development of remote sensing-based land use change studies based on Shupeng Chen's academic thoughts. *Journal of Geo-information Science*, 2020, 22(4): 680-687. [刘纪远, 张增祥, 张树文, 等. 中国土地利用变化遥感研究的回顾与展望: 基于陈述彭学术思想的引领. *地球信息科学学报*, 2020, 22(4): 680-687.]
- [3] Meyfroidt P, de Bremond A, Ryan C M, et al. Ten facts about land systems for sustainability. *PNAS*, 2022, 119(7): e2109217118. DOI: 10.1073/pnas.2109217118.
- [4] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change: Implementation strategy. Stockhdm and Bonn: Scientific Steering Committee and International Project Office of LUCC, 1999.
- [5] IGBP. Science Plan and Implementation Strategy. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.
- [6] Liu Jiuyan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802. [刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.]
- [7] Moran E, Ojima D S, Buchmann B, et al. Global land project: science plan and implementation strategy. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.
- [8] Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Xu Xinliang, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the Early 21st Century. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1411-1420. [刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. *地理学报*, 2009, 64(12): 1411-1420.]
- [9] Global Land Programme (GLP). Science plan and implementation strategy, 2016. <https://www.glp.earth/our-science/science-plan>.
- [10] He Chunyang, Zhang Jinxi, Liu Zhifeng, et al. Characteristics and progress of land use/cover change research during 1990-2018. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(11): 2730-2748. [何春阳, 张金茜, 刘志锋, 等. 1990—2018年土地利用/覆盖变化研究的特征和进展. *地理学报*, 2021, 76(11): 2730-2748.]
- [11] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [12] Popp A, Humpenöder F, Weindl I, et al. Land-use protection for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 2014, 4(12): 1095-1098.
- [13] Newbold T, Hudson L N, Hill S L L, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.
- [14] Future Earth. Future Earth Initial Design: Report of the Transition Team. Paris: International Council for Science (ICSU), 2013.
- [15] Steffen W, Richardson K, Rockström J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 2015, 347(6223): 1259855. DOI: 10.1126/science.1259.
- [16] Newbold T, Hudson L N, Arnell A P, et al. Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 2016, 353(6296): 288-291.
- [17] Seto K C, Güneralp B, Hutyra L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *PNAS*, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [18] Seto K C, Golden J S, Alberti M, et al. Sustainability in an urbanizing planet. *PNAS*, 2017, 114(34): 8935-8938.
- [19] Gao L, Bryan B A. Finding pathways to national-scale land-sector sustainability. *Nature*, 2017, 544(7649): 217.

- [20] Pretty J, Benton T G, Bharucha Z P, et al. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 2018, 1(8): 441-446.
- [21] Nagendra H, Bai X, Brondizio E S, et al. The urban south and the predicament of global sustainability. *Nature Sustainability*, 2018, 1(7): 341-349.
- [22] Creutzig F. Govern land as a global commons. *Nature*, 2017, 546(7656): 28-29.
- [23] Verburg P H, Crossman N, Ellis E C, et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 2015, 12: 29-41.
- [24] Kuang W H. 70 years of urban expansion across China: Trajectory, pattern, and national policies. *Science Bulletin*, 2020, 65(23): 1970-1974.
- [25] Kuang W H, Liu J Y, Tian H Q, et al. Cropland redistribution to marginal lands undermines environmental sustainability. *National Science Review*, 2022, 9(1): 66-78.
- [26] Kuang W H, Du G M, Lu D S, et al. Global observation of urban expansion and land-cover dynamics using satellite big-data. *Science Bulletin*, 2021, 66(4): 297-300.
- [27] Liu Jiyan. 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.]
- [28] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(4): 442-456.
- [29] 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.]
- [30] Liu Jiyan, 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.]
- [31] Dong J W, Xiao X M, Menarguez M A, et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 185: 142-154.
- [32] Stehman S V. Sampling designs for accuracy assessment of land cover. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(20): 5243-5272.
- [33] Congalton R G, Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton: CRC Press, 2019.
- [34] Zhan Q Q, Zhao W, Yang M J, et al. A long-term record (1995-2019) of the dynamics of land desertification in the middle reaches of Yarlung Zangbo River basin derived from Landsat data. *Geography and Sustainability*, 2021, 2(1): 12-21.
- [35] Zhou J, Wang L, Zhong X Y, et al. Quantifying the major drivers for the expanding lakes in the interior Tibetan Plateau. *Science Bulletin*, 2022, 67(5): 474-478.
- [36] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2021. Beijing: China Statistics Press, 2021. [中国国家统计局. 中国统计年鉴2021. 北京: 中国统计出版社, 2021.]

Remotely sensed mapping and analysis of spatio-temporal patterns of land use change across China in 2015-2020

KUANG Wenhui¹, ZHANG Shuwen², DU Guoming³, YAN Changzhen⁴, WU Shixin⁵,
LI Rendong⁶, LU Dengsheng⁷, PAN Tao⁸, NING Jing³, GUO Changqing¹, DONG Jinwei¹,
BAO Yuhai⁹, CHI Wenfeng¹⁰, DOU Yinyin¹, HOU Yali^{1,11}, YIN Zherui⁸, CHANG Liping²,
YANG Jiuchun², XIE Jiali⁴, QIU Juan⁶, ZHANG Hansong³, ZHANG Yubo^{2,12},
YANG Shiqi^{1,11}, SA Rigai⁹, LIU Jiyuan¹

(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. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 4. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS, Lanzhou 730000, China; 5. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China; 6. Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, CAS, Wuhan 430071, China; 7. Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 8. Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China; 9. Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010028, China; 10. Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010070, China; 11. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 12. Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: The continuous remote sensing monitoring of land use/cover change at the national scale is of great scientific significance for land spatial planning and blueprint drawing of "Beautiful China" in the new era. Landsat 8 OLI, GF-2 and other satellite remote sensing data were used to develop the data of land use change across China during 2015-2020 and China Land Use/Cover Dataset in 2020 (CLUD 2020) by integrating remote sensing big data and expert knowledge-assisted human-computer interaction interpretation methods. Long time series land use dynamic database at a 30-m resolution in China was established at 5-year interval in the end of 1980s-2020. On this basis, the general trend, regional differences and main characteristics of land use change in 2015-2020 were revealed from national and regional scales. The research indicated that integrating vegetation cover change at a 30-m resolution and land change information generated by remotely sensed big-data cloud calculation into the expert human-computer interaction interpretation can effectively improve the efficiency of mapping and the accuracy of land use change detection. The overall accuracy of CLUD 2020 first-level type mapping reaches 95%. In general, the intensity of territorial development entered a stable state compared with 2010-2015. During the period, the cropland continued to decrease. Nationwide farmland was encroached by urban development and construction, paddy fields in Northeast China continued to decrease, and cultivated land in Xinjiang was reclaimed in the south and abandoned in the north. The built-up land continued to increase, showing a spatial pattern that "the expansion of built-up land changed from the agglomeration of coastal areas and mega and large cities in 2010-2015 to the surrounding sprawl of large, medium and small towns in the central and western regions in 2015-2020". Although the area of natural ecological land for forest and grass continued to decrease nationwide, the intensity decreased compared with 2010-2015. Under the continuous impact of climate change, the area of water in the Qinghai-Tibet Plateau increased significantly. The pattern of land use change is closely related to the national macro strategy for high-quality development during the "13th Five-Year Plan" period (2016-2020) and ecological civilization construction, as well as the impact of climate change.

Keywords: land use; spatial pattern; cultivated land; urban expansion; cloud computation; remote sensing; China