

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

刘纪远¹, 匡文慧¹, 张增祥², 徐新良¹, 秦元伟^{1,3}, 宁佳^{1,3}, 周万村⁴, 张树文⁵,
李仁东⁶, 颜长珍⁷, 吴世新⁸, 史学正⁹, 江南¹⁰, 于东升⁹, 潘贤章⁹, 迟文峰^{1,3}

- (1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;
5. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;
6. 中国科学院武汉测量与地球物理研究所, 武汉 430077;
7. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;
8. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;
9. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;
10. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 土地利用/土地覆被变化 (LUCC) 是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式, 本文采用相同空间分辨率的卫星遥感信息源和相同的技术方法, 对中国1980年代末到2010年土地利用变化数据进行定期更新。在此基础上, 提出并发展土地利用动态区划的方法, 研究土地利用变化的空间格局与时空特征。我们发现: 1990-2010年的20年间, 中国土地利用变化表现出明显的时空差异。“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”是耕地变化的基本特征; “扩展提速, 东部为重心, 向中西部蔓延”是城乡建设用地变化的基本特征; “林地前减后增, 荒漠前增后减, 草地持续减少”是非人工土地利用类型变化的主要特征。20世纪末与21世纪初两个10年相比, 中国土地利用变化空间格局出现了一些新特征, 原有的13个土地利用变化区划单元演变为15个单元, 且部分区划单元边界发生变化。主要变化格局特征为黄淮海地区、东南部沿海地区、长江中游地区和四川盆地城镇工矿用地呈现明显的加速扩张态势; 北方地区耕地开垦重心由东北地区和内蒙古东部转向西北绿洲农业区; 东北地区旱作耕地持续转变为水田; 内蒙古农牧交错带南部、黄土高原和西南山地退耕还林还草效果初显。近20年间, 尽管气候变化对北方地区的耕地变化有一定的影响, 但政策调控和经济驱动仍然是导致我国土地利用变化及其时空差异的主要原因。2000年后的第一个10年, 土地利用格局变化的人为驱动因素已由单向国土开发为主, 转变为开发与保护并重。在空间格局变化的分析方法方面, 应用“动态区划法”开展世纪之交两个10年中国LUCC空间格局变化的分析, 有效揭示了20年来中国LUCC“格局的变化过程”, 即动态区划边界的推移、区划单元内部特征的变化与单元的消长等; 以及“变化过程的格局”, 即土地利用变化过程与特征的分阶段区域差异, 清晰刻画了LUCC动态区划中区划单元的消长, 单元边界的变动, 以及前后10年的变化强度特征, 揭示了土地利用“格局”与“过程”之间的交替转化规律, 以及不同类型和区域的变化原因, 证明了该分析方法的有效性。

关键词: 卫星遥感; 土地利用变化; 特征; 空间格局; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201401001

收稿日期: 2013-07-29; 修订日期: 2013-11-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB950900; 2014CB954302); 国家科技支撑计划项目 (2013BAC03B00); 中国科学院重点战略部署课题 (KSZD-EW-Z-021-02) [Foundation: National Basic Research Program of China, No.2010CB950900; No.2014CB954302; National Key Technology R&D Program, No.2013BAC03B00; The Key Research Program of the Chinese Academy of Sciences No.KSZD-EW-Z-021-02]

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

土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 是全球气候变化和全球环境变化研究关注的重要内容^[1-2]。它作为表征人类活动行为对地球陆表自然生态系统影响最直接的信号,是人类社会经济活动行为与自然生态过程交互和链接的纽带^[1]。这一过程与陆地表层物质循环和生命过程密切相关^[3],因此它也直接影响着生物圈—大气交互、生物多样性、地表辐射强迫、生物地球化学循环以及资源环境的可持续利用^[1-4]。1993年,“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球变化人文因素计划”(IHDP)两大国际组织共同制订的“土地利用/土地覆盖变化(LUCC)科学研究计划”,将其作为全球变化研究的核心内容^[5-6]。在此基础上,2005年启动全球土地计划(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研究,以人类—环境耦合系统为核心的土地利用/土地覆盖动态过程的监测与模拟逐渐成为研究关注的焦点^[7-10]。

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,通过数据挖掘和知识库的建立,快速获取土地利用/覆被变化相关知识,及时提出国土开发和气候变化适应性的宏观策略对于国家资源环境可持续发展具有重要的战略意义^[10-16]。在中国,20世纪后期以来社会经济的持续快速发展,工业化、城市化进程的加快,以及国家区域发展与生态保护战略的实施,对中国土地利用空间格局变化产生了显著的影响。为了掌握和揭示中国土地利用变化的时空特征,我们自1990年代初以来,以卫星遥感数据作为主要信息源,建成中国国家尺度土地利用变化数据库,并每隔5年采用同类卫星遥感信息源和相同的数据分析方法,完成全国范围的土地利用数据更新^[12-15],截至目前,已经完成并拥有1980年代末、1995年、2000年、2005年和2010年5期全国土地利用变化1:10万矢量数据库和1km比例成分分类栅格数据库^[13-15]。基于上述数据库,分析1980年代末以来20年间中国土地利用变化的基本时空特征,并对比20世纪末最后10年(1990-2000)和21世纪初第一个10年(2000-2010)中国土地利用变化格局的异同,揭示世纪之交的20年期间中国土地利用变化的基本特征及其主要驱动力,为土地利用/土地覆盖变化及其相关领域的研究提供有价值的科学信息。

2 数据与方法

2.1 卫星遥感数据获取与土地利用数据更新

在已建立的1980年代末、1995年、2000年、2005年4期全国土地利用变化数据库的基础上^[13-15],继续采用土地利用变化遥感信息人机交互快速提取方法,解译2010年覆盖中国的Landsat TM数字影像,更新2005年全国土地利用数据库,建成了2010年全国1:10万比例尺土地利用数据库。其中,Landsat TM数据无法覆盖或质量较差的区域,利用环境1号卫星(HJ-1)的CCD多光谱数据等作为补充。具体做法是,通过2005年与2010年遥感影像对比,在2005年土地利用数据基础上,判定并勾绘变化区域,标注类型变化的动态信息编码,该编码能够同时反映变化地块在2005年和2010年前后两个时段的土地利用类型。为保证获取数据的解译质量和一致性,我们对每期数据集都进行统一的质量检查和数据集成^[17]。在每期数据集研发前期在全国范围内北方以秋季为主,南方以春季为主开展野外考察,实地调查除台湾以外各省土地利用情况,获取大量的外业调查记录、照片,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开展精度验证。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^[13-15]。

在实现2010年全国土地利用图更新后,通过图形切割处理和面积平差计算,实现省

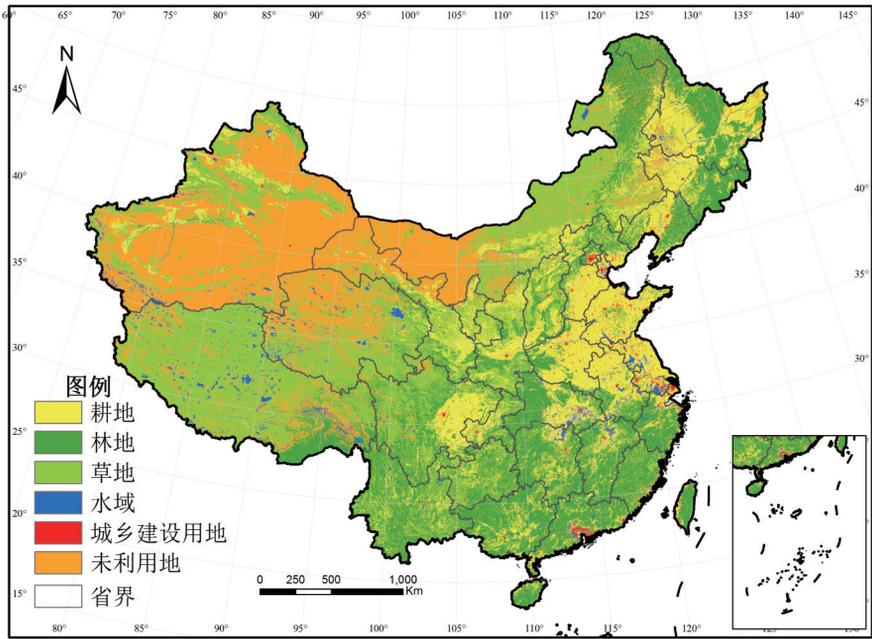


图1 2010年中国土地利用现状图

Fig. 1 Acquired land use map across China in 2010

级分类面积汇总, 分别计算出各省和全国耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地、未利用地等6个方面25个类型的土地面积^[15]。

基于1980年代末、1995年、2000年、2005年和2010年5期土地利用数据库^[13-15], 构建了能全面反映我国21世纪之交土地利用变化的时空信息平台。在其支持下, 我们开展了1980年代末至2010年这一时期内间隔5年或10年的各个时段, 各种土地利用类型的数量、变化量、区域分布及其变化原因的分析, 并形成国家与区域尺度土地利用时空变化特征与变化规律的科学结论。

2.2 土地利用变化的度量、制图与区划

以覆盖全国的1 km 栅格土地利用本底与动态的成分数据作为土地利用动态区域划分的依据, 可以在消除空间数据尺度效应的基础上, 保证数据的空间精度和面积精度。将动态图进行1 km大小的矢量栅格切割, 可以得到每个栅格内各土地类型的动态变化面积及类型之间的转换面积(图2)。这样, 每1 km栅格上, 记录了不同时期土地利用类型的面积百

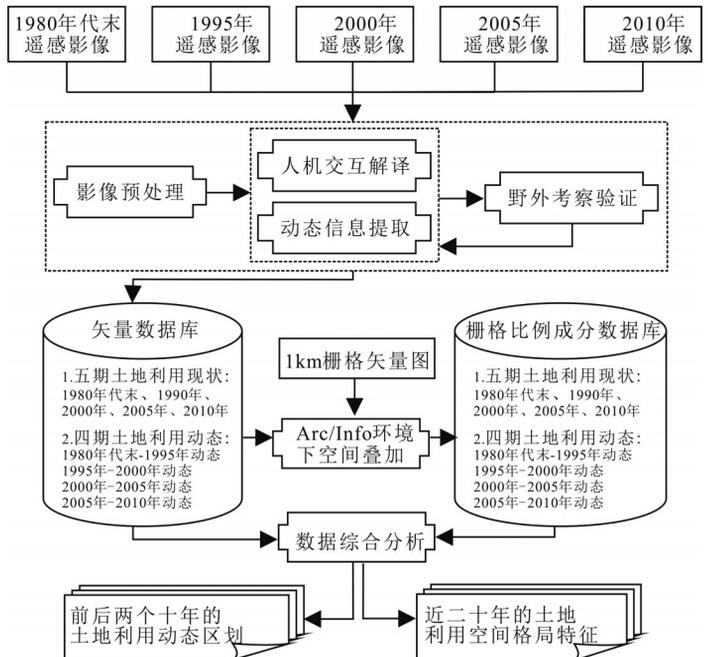


图2 土地利用变化图公里栅格生成技术流程

Fig. 2 The flowchart of generated grid datasets on dominated land use change types

分比及其变化比例、变化方式等信息。

土地利用动态度反映了土地利用变化速率的区域差异，土地利用动态度按公式(1)计算：

$$S = \left\{ \sum_{ij}^n (\Delta S_{i,j} / S_i) \right\} \times (1/t) \times 100\% \quad (1)$$

式中， S_i 为监测开始时间第*i*类土地利用类型总面积， $\Delta S_{i,j}$ 为监测开始至监测结束时段内第*i*类土地利用类型转换为其它类土地利用类型面积总和， t 为时间段，土地利用动态度*S*反映了与*t*时段对应的研究区土地利用变化速率。

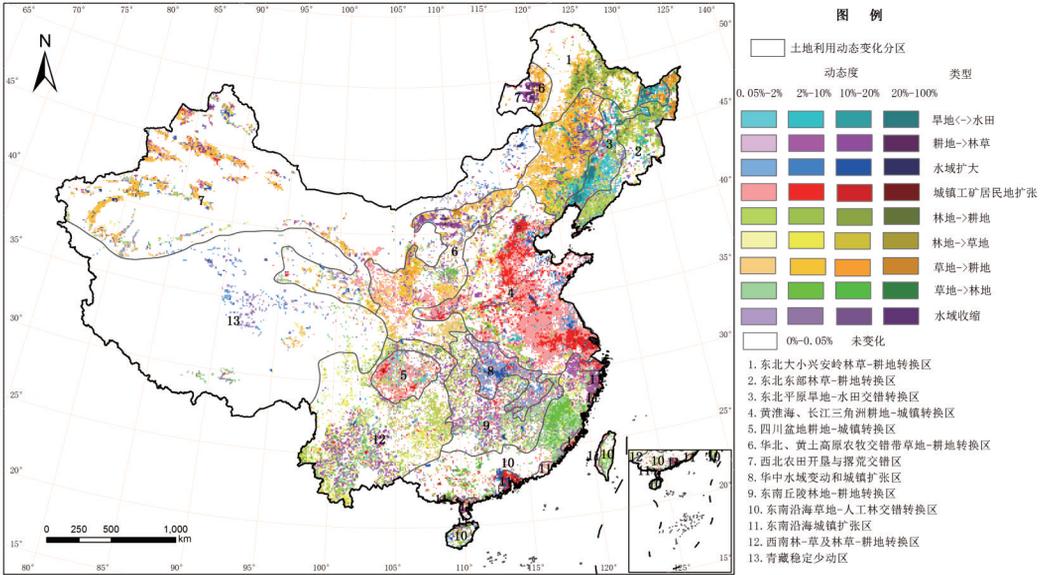


图3 20世纪80年代末-2000年中国土地利用变化空间分区与分布特征

Fig. 3 Spatial regionalization and distribution map of national land use change from the late 1980s to 2000

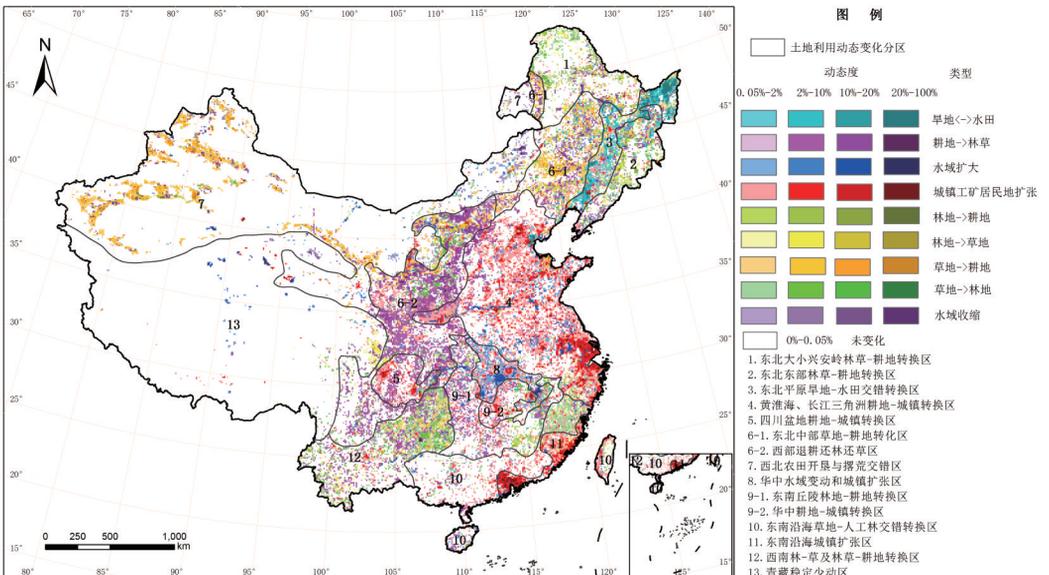


图4 2000-2010年中国土地利用变化空间分区与分布特征

Fig. 4 Spatial regionalization and distribution map of national land use change from 2000 to 2010

参照土地利用动态度的空间分异规律和1 km栅格地块内各种土地利用类型相互转化信息,基于10 km大小的栅格区域进行全国土地利用动态区划。以中国自然区划^[18]、农业区划^[19]为借鉴,以土地利用主导类型转换同质单元为主要区划对象,来划定土地利用动态区,具体原则为:①以土地利用动态类型为首要考虑因素,保证区内土地利用变化方向的一致性;②考虑区划单元空间位置的连续性,也考虑地貌与宏观经济环境的差异;③参考综合自然条件、土地利用特点,尽量保持区域单元内宏观自然条件与土地利用特征具有一致性^[13, 15]。在全数字化环境下,根据上述动态区划原则识别土地利用动态区划界线,形成21世纪前后两个10年土地利用变化特征的土地利用动态区。20世纪80年代末-2000年和2000-2010年分别划分了13个和15个土地利用动态区(见图3和图4)。

3 结果与分析

3.1 中国土地利用的分类变化特征与区域差异

20世纪80年代末-2010年中国土地利用变化具有明显的分年代类型变化特征和区域差异:

(1)耕地变化的基本特点是:“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”。两个10年中,耕地增加 $1.82 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中,旱地增加 $2.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$,水田减少 $1.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。其中,2000年前中国耕地增加 $2.83 \times 10^6 \text{ hm}^2$,新增耕地主要集中在东北、华北和西北农林交错区,减少耕地主要以东南沿海城镇居民工矿用地占用为主;2000年后中国耕地减少 $1.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$,新增耕地主要集中在西北地区,城镇居民工矿用地的扩张和中西部生态脆弱区退耕还林还草工程占用了大量耕地。

(2)城乡建设用地变化的基本特点是:“扩展提速,东部为重心,向中西部蔓延”。两个10年中,建设用地增加 $5.52 \times 10^6 \text{ hm}^2$,主要集中在地形平坦、经济较发达、人口稠密的黄淮海平原、长江三角洲、珠江三角洲和四川盆地等地区,约有 $3.18 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的耕地被建设用地占用。其中,2000年前建设用地增加 $1.76 \times 10^6 \text{ hm}^2$,2000年后建设用地加速扩张,增加 $3.76 \times 10^6 \text{ hm}^2$,后10年增速为前10年的2.14倍。

(3)“林地前减后增,荒漠前增后减,草地持续减少”是非人工土地利用类型变化的主要特征。

两个10年中,林地减少 $8.52 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。其中,2000年前林地减少 $10.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$,主要集中在东北等重点林区有林地的砍伐和农耕地扩张对林地的占用;2000年后,由于六大林业重点工程尤其是退耕还林工程的实施,林地面积增加 $2.37 \times 10^5 \text{ hm}^2$,主要集中在黄土高原、南方丘陵区等。

同期,草地面积减少 $5.32 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。其中,2000年前草地减少 $3.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$,以东北、华北和西北地区草地开垦为耕地,以及南方草地人工造林为主;2000年后草地减少 $1.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$,主要集中在西北地区草地开垦为耕地,以及南方地区草地转化为林地。

同期,未利用地减少 $1.15 \times 10^6 \text{ hm}^2$,集中在新疆和黑龙江等地区,主要是未利用土地开垦为耕地。同时,内蒙古地区草地退化导致未利用土地增加。2000年前十年未利用地减少了 $3.75 \times 10^5 \text{ hm}^2$,2000年后十年未利用地减少面积 $7.79 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。

3.2 前后两个10年中国土地利用变化的空间格局及差异

我们对1980年代末-2000年中国土地利用变化时空格局特征进行了分析^[13-15],认为该10年土地利用变化的格局特征主要表现为13个土地利用变化区划单元的不同变化特征(图3)。即:1)东北大小兴安岭林草—耕地转换区、2)东北东部林草—耕地转换区、3)东北平原旱地—水田交错转换区、4)黄淮海、长江三角洲耕地—城镇转换区、5)四川盆地耕地—城镇转换区、6)华北、黄土高原农牧交错带草地—耕地转换区、7)西北农田开垦与

撂荒交错区、8) 华中水域变动和城镇扩张区、9) 东南丘陵林地—耕地转换区、10) 东南沿海草地—人工林交错转换区、11) 东南沿海城镇扩张区、12) 西南林—草及林草—耕地转换区、13) 青藏稳定少动区^[14]。

经过对2000-2010年和1980年代末-2000年土地利用变化数据的对比分析, 可以获得21世纪的最初10年与前10年比较中国土地利用变化格局的新特征(图4)。主要表现为: 黄淮海地区、东南部沿海地区和四川盆地城镇居民工矿用地呈现明显的加速扩张态势, 占用的主要是优质耕地资源; 北方地区耕地开垦重心由东北地区 and 内蒙古中东部转向西北绿洲农业区; 东北地区旱地持续转变为水田; 内蒙古农牧交错带南部、黄土高原和西南山地以退耕还林还草为主, 且草地造林明显; 青藏高原区土地利用变化小, 主要表现为局部地

表1 20世纪80年代末-2000年中国各土地利用动态区土地利用转移矩阵 (10^4 hm^2)

Tab. 1 Change area of dominated land change types in the land use dynamic zones across China from the late 1980s to 2000 (10^4 hm^2)

区域转移类型	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	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
1	0.82	1.65	1.24	0.63	66.39	11.18	24.29	1.62	0.17
2	14.56	4.30	1.44	2.21	39.95	2.44	27.52	7.56	2.14
3	110.90	2.40	2.13	3.47	14.61	1.02	8.85	1.16	7.14
4	6.16	6.12	22.79	110.40	6.33	6.83	13.01	6.67	14.21
5	1.11	0.73	0.23	8.26	1.09	0.37	0.13	0.21	0.17
6	34.82	46.44	6.93	6.43	21.04	12.52	203.31	25.93	18.52
7	1.03	27.12	19.68	8.55	1.57	3.21	62.82	4.11	6.49
8	0.00	0.97	7.75	4.84	0.50	0.36	0.03	0.74	4.48
9	0.00	3.73	3.53	3.39	3.24	2.28	0.30	4.15	0.66
10	0.53	6.81	4.82	6.17	7.74	7.85	0.90	34.54	1.02
11	0.35	4.49	5.78	18.58	0.95	0.27	0.11	0.77	2.57
12	1.06	11.01	1.93	4.38	11.04	31.28	3.70	15.82	0.28
13	0.00	0.03	2.57	0.30	0.28	1.52	0.79	1.44	4.54
合计	171.35	115.80	80.81	177.63	174.73	81.14	345.76	104.73	62.40

表2 2000-2010年中国各土地利用动态区土地利用转移矩阵 (10^4 hm^2)

Tab. 2 Change area of dominated land change types in the land use dynamic zones across China from 2000 to 2010 (10^4 hm^2)

区域转移类型	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	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
1	1.84	3.95	3.24	1.37	2.37	8.35	5.57	8.93	0.54
2	9.62	6.29	1.22	2.43	6.38	4.77	3.91	6.04	0.61
3	105.28	3.24	2.32	7.58	2.11	0.82	10.05	0.92	1.53
4	11.01	10.52	31.72	188.29	1.97	1.52	4.53	1.13	21.10
5	0.02	3.16	1.15	19.69	0.01	0.05	0.06	1.29	0.14
6-1	8.21	14.34	3.56	6.04	5.10	4.57	30.57	3.24	8.03
6-2	0.66	61.59	10.10	19.26	1.72	3.22	19.05	19.07	7.02
7	0.63	14.98	18.01	18.20	8.73	2.06	116.26	3.89	27.93
8	0.09	1.05	17.11	13.88	0.70	0.22	0.11	0.89	5.70
9-1	0.15	2.70	3.48	7.60	3.06	0.49	0.50	2.50	0.50
9-2	0.29	0.31	0.76	11.80	0.35	0.10	0.02	0.97	1.39
10	0.22	2.68	4.07	16.53	1.43	2.99	0.13	3.54	0.88
11	0.01	0.35	4.03	49.27	0.29	2.07	0.06	0.92	4.52
12	0.09	15.31	3.52	13.32	3.31	6.98	5.96	34.19	0.20
13	0.00	1.89	10.29	2.99	0.03	3.63	0.60	1.27	3.20
合计	138.12	142.36	114.55	378.24	37.54	41.85	197.38	88.79	83.27

区水域面积的增加。

区划单元及其界限出现变化的主要有:(1)在东北平原旱地—水田交错转换区,三江平原东部区划边界明显扩展;(2)华北、黄土高原农牧交错带草地—耕地转换区,前10年的区划单元6,后10年分为2个特征不同的单元,其中北部和中部仍为草地—耕地转换区,而西部则改变为退耕还林还草区,且区划单元边界明显向云南扩展;(3)东南丘陵林地—耕地转换区,在后10年分为2个特征不同的单元,即在原有的区划单元内,明显分出华中耕地—城镇转换区;(4)东南沿海草地—人工林交错转换区,位于沿海的区划边界受到城市化区域挤压收缩明显;(5)东南沿海城镇扩张区,位于福建广东沿海的区划边界扩展;(6)西南林—草及林草—耕地转换区,原区划单元的西北部并入了前述退耕还林还草区(表3)。

前后2个10年土地利用格局变化的区域差异与分区类型转换特征详见表1-3。

4 主要土地利用类型的变化原因

4.1 耕地变化

20年中,建设用地的扩大是导致传统农区耕地面积减少的主要原因。1990-2000年间,全国建设用地占用耕地占原有耕地减少面积的45.96%;2000-2010年建设用地占用耕地占原有耕地减少面积的55.44%。分析表明:随着我国城市化进程的提速,全国建设用地占用耕地的年均速率已由1990-2000年的每年约200万亩,激增到2000-2010年的每年300万亩以上。城市化与耕地保护的矛盾进一步凸显。

生态建设占用耕地是生态脆弱地区耕地面积减少的主要原因。1990-2010年期间,以林、草为主的植被恢复工程,特别是2000年以来的退耕还林还草工程,是导致耕地面积减少的主要原因之一。全国平均生态建设用地占耕地减少总面积的34.54%,仅次于建设用地对耕地的占用比例。

北方地区持续增温导致年积温不断增加,为北方干旱缺水地区林草地的大面积开垦提供了相对有利的气候条件。20世纪90年代以来,我国人口数量持续增加,生活水平提高,加大了对粮食的消费需求,而耕地资源有限,粮食供求矛盾突出。在地方政府鼓励和经济利益的驱动下,北方地区大面积草地被开垦。然而,受制于干旱气候和不完善的农田基础设施,对气候变化较为敏感,新增耕地农业生产的稳定性不强,同时也引发农牧交错区大面积林草开垦与耕地撂荒现象并存。在东北地区,在比较利益的驱动下,在引进耐寒稻种和农田水利设施保障前提下,导致大面积旱地转为水田,与此同时,局部区域也因种植结构调整原因将水田转为旱地。水田旱田互转和水田面积增加,也是近20年东北地区耕地变化较为明显的区域特征。

4.2 城镇工矿用地变化

改革开放以来,伴随着社会主义市场经济制度的实施,沿海城市开发程度的加强,特别是21世纪以来国家实施了西部大开发、东北老工业基地振兴、中部崛起等一系列区域发展战略,促进了社会经济的快速发展,对中国土地利用动态变化产生重要影响。在国家宏观政策的带动和鼓励下,固定资产投资增加以及大规模的开发区兴建促进了城镇居民工矿用地的增加。根据《中国统计年鉴》统计数据,1986-2010年我国人口总数由10.75亿增加到13.41亿;GDP由 1.03×10^4 亿元增加到 40.12×10^4 亿元(扣除价格变动因素),增幅达到9.16倍;城镇人口比例由1986年的24.52%增加到2010年的49.90%,大量农村人口不断向城镇聚集,城镇化水平不断提高。

1990年代的10年当中,沿海地区在引入外资、经济技术开发、房地产热等的影响下,城镇周围的农村快速被城镇化,导致城市用地快速扩张。在华北平原、长江三角洲和

表3 20世纪80年代末-2010年中国土地利用转移动态的区域特征

Tab. 3 Regional characteristics of land use change across China in the two periods from the late 1980s to 2010

区域代码	名称	20世纪80年代末-2000年 ^[14]	2000-2010年	两期区划单元变异
1	东北大小兴安岭林草—耕地转换区	以耕地开垦和林地砍伐为主要特征。林地砍伐是新增耕地的主要来源,草地开垦是新增耕地的第二来源。	以林地—草地互转为主,草地—耕地次之。草地减少 $5.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中草地转为林地 $8.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$,开垦为耕地 $5.57 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。同时,林地砍伐为草地 $8.35 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	无变化
2	东北东部林草—耕地转换区	以林草地开垦为耕地为主。	草地面积减少 $3.79 \times 10^4 \text{ hm}^2$,耕地面积增加 $2.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。林草地与耕地互转面积为 $15.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$,林地与草地互转面积为 $10.81 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	无变化
3	东北平原旱地—水田交错转换区	旱地与水田的转换是主要特征,以旱地改水田为主。	旱地与水田的转换是主要特征,面积为 $105.28 \times 10^4 \text{ hm}^2$,以旱地改水田为主。耕地增加 $6.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中草地开垦为耕地 $10.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	三江平原东部范围扩展
4	黄淮海、长江三角洲耕地—城镇转换区	以城镇居民工矿用地大量占用耕地扩张为主。城镇居民工矿用地增加占全国城镇居民工矿用地增加总面积的62%。	以城镇居民工矿用地扩张大量占用耕地为主要特征。城镇居民工矿用地增加 $187.46 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国城镇居民工矿用地增加面积的49.78%,其中84.60%来源于耕地的占用。同时, $22.65 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的耕地转为水域,导致水域增加 $14.76 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	无变化
5	四川盆地耕地—城镇转换区	以城镇居民工矿用地占用耕地扩张为主。	以城镇居民工矿用地占用耕地扩张为主。城镇居民工矿用地增加 $19.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中94.61%来源于耕地的占用,导致耕地减少 $23.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。退耕还林还草面积为 $3.16 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	基本不变
6	华北、黄土高原农牧交错带草地—耕地转换区	以草地开垦为耕地为主,内蒙古中东部地区尤为集中。其次为耕地转为林草地。	*6-1 中北部草地—耕地转换区:以草地开垦为耕地为主。耕地增加 $31.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中草地开垦增加耕地 $30.57 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占新增耕地来源的63.70%。其次为退耕还林还草,面积为 $14.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。 *6-2 西部退耕还林还草区:以退耕还林还草为主,面积为 $61.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$,导致耕地减少 $62.30 \times 10^4 \text{ hm}^2$,林地增加 $32.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。同时,城镇居民工矿用地增加 $19.02 \times 10^4 \text{ hm}^2$,57.11%来源于耕地的占用。	前10年的区划单元6,在后10年分为2个特征不同的单元,其中6-2明显向云南扩展
7	西北农田开垦与撂荒交错区	草地大面积开垦为耕地,同时,少量耕地受脆弱生态环境的制约而撂荒。	以新疆草地大面积开垦为耕地为主,面积为 $116.26 \times 10^4 \text{ hm}^2$,导致耕地面积增加 $164.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$,草地面积减少 $107.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。同时,耕地撂荒转为林草地的面积为 $14.98 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	无变化。但新疆开垦力度加大
8	华中水域变动和城镇扩张区	水域面积新增明显。城镇居民工矿用地面积增加。	以水域面积扩大为主,新增 $17.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其次为城镇居民工矿用地增加为主,面积为 $13.83 \times 10^4 \text{ hm}^2$,74.40%来源于耕地的占用。	基本不变
9	东南丘陵林地—耕地转换区	耕地和林草地之间的相互转换表现明显。同时,林地与草地出现互转。	*9-1 东南丘陵林地—耕地转换区:以耕地和林草地之间的相互转换表现明显。林草地与耕地互转面积为 $6.26 \times 10^4 \text{ hm}^2$,以林地与耕地互转为主。同时,城镇居民工矿用地增加 $7.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。 *9-2 华中耕地—城镇转换区:以城镇居民工矿用地扩张占用耕地为主,面积为 $11.80 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中58.99%来源于耕地的占用。	前10年的区划单元9,在后10年分为2个特征不同的单元
10	东南沿海草地—人工林交错转换区	以人工林替代草地为主,集中在福建山区。	以有林地—其他林地的内部结构转换为主,经济林与有林地增加明显。城镇居民工矿用地增加 $16.42 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	沿海区划边界受城市化区域挤压收缩
11	东南沿海城镇扩张区	城镇居民工矿用地增加,主要来源于耕地占用。	城镇居民工矿用地面积增加 $49.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中61.48%来源于耕地的占用,导致耕地面积减少 $34.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	福建广东沿海区划边界扩展
12	西南林—草及林草—耕地转换区	以林地转为草地为主,其次为草地转为林地。同时,耕地转为林草地和林草地转为耕地均有较大面积转换。	以草地转为林地为主,面积为 $34.19 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其次是退耕还林还草,面积为 $15.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。草地面积减少 $29.35 \times 10^4 \text{ hm}^2$,林地面积增加 $27.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$,耕地面积减少 $17.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	原区划单元西北部并入6-2区
13	青藏稳定少动区	土地利用类型变化程度较小,水域面积略有收缩。	水域面积扩大 $8.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$,草地面积减少 $6.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$,城镇居民工矿用地增加 $2.94 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。	基本不变

*表示2000-2010年新的土地利用动态区划单元。

珠江三角洲, 城镇面积的扩展十分明显。2000年以后, 西部、中部和东北区域开发战略的实施, 吸纳了大量的资金、人才和技术, 使中西部地区城镇扩展速度超过了东部地区。21世纪以来中国进入了新一轮快速城镇化进程, 城镇与工矿建设用地扩展增速为前10年的2.14倍, 城镇周边大量优质耕地资源被占用, 这种现象在我国经济比较发达的南方优质农田集中分布区、黄淮海粮食主产区与东南沿海地区尤为突出。

4.3 林草用地变化

研究期内, 中国土地利用活动不断增强, 不合理的土地开发活动多是以牺牲环境为代价的, 北方林草开垦导致风沙灾害和水土流失加剧, 1998年特大洪灾进一步突显了区域开发对生态造成的不利影响。为了改善我国生态持续恶化的状况, 2001年初, 国务院批准实施六大林业重点工程规划, 并将其列入“十五”计划。这六大工程分别是: 天然林资源保护工程、退耕还林工程、“三北”及长江中下游等重点防护林体系建设工程、京津风沙源治理工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程、重点地区速生丰产用材林基地建设工程。2003年国家颁布了《退耕还林条例》, 退耕还林进入全面依法实施的阶段。生态退耕减少的耕地主要是坡耕地和旱地, 主要分布在坡度大于 25° 的丘陵地区, 以华北地区、黄土高原以及农牧交错带为主。21世纪以来, 该区域作为西部地区生态脆弱区, 由于退耕还林还草工程的实施, 导致林地用地面积显著增加, 区域覆盖状况明显改善, 大规模生态保护与建设工作, 遏制了天然林区林地面积萎缩, 有效扩大了人工林面积, 并部分遏制了天然草地退化, 在一定程度上对西部生态恢复起到积极的作用^[20-21]。

5 结论

土地利用/土地覆被变化(LUCC)是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式, 土地利用变化的空间格局表征了人—地关系在不同地域空间上的作用强度与作用模式。我们采用相同空间分辨率的卫星遥感信息源和相同的技术方法, 对中国1980年代末到2010年土地利用变化数据进行定期更新。在此基础上, 提出并发展土地利用动态区划的方法, 研究土地利用变化的空间格局与时空特征, 主要取得如下结论。

(1) 1990-2010年的20年间, 中国土地利用变化表现出明显的时空差异。“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”是耕地变化的基本特征; “扩展提速, 东部为重心, 向中西部蔓延”是城乡建设用地变化的基本特征; “林地前减后增, 荒漠前增后减, 草地持续减少”是非人工土地利用类型变化的主要特征。

(2) 20世纪末10年与21世纪初10年相比, 中国土地利用变化空间格局出现了一些新特征, 主要表现为黄淮海地区、东南部沿海地区、长江中游地区和四川盆地城镇工矿用地呈现明显的加速扩张态势; 北方地区耕地开垦重心由东北地区 and 内蒙古东部转向西北绿洲农业区; 东北地区旱作耕地持续转变为水田; 内蒙古农牧交错带南部、黄土高原和西南山地退耕还林还草效果初显。

(3) 近20年间, 尽管气候变化对北方地区的耕地变化有一定的影响, 但政策调控和经济驱动仍然是导致我国土地利用变化及其时空差异的主要原因。2000年后的第一个10年, 土地利用格局变化的人为驱动因素已由单向国土开发为主, 转变为开发与保护并重。

2002年, 我们提出: 以时间—空间信息分析手段, 实现对地理科学研究对象的“空间格局”与“时间过程”特征的集成研究, 揭示研究对象“变化过程的格局”, 以及“格局的变化过程”, 既是LUCC研究的基本科学问题, 也是LUCC动力学研究的有效途径^[13]。本文通过“动态区划法”分析世纪之交两个10年中国LUCC空间格局变化的分析, 有效揭示了20年来中国LUCC“格局的变化过程”, 即动态区划边界的推移、区划单元内部特征的变化与单元的消长等; 以及“变化过程的格局”, 即土地利用变化过程与特征的

分阶段区域差异, 清晰刻画了LUCC动态区划中区划单元的消长, 单元边界的变动, 以及前后 10 年的变化强度特征, 揭示了土地利用“格局”与“过程”之间的交替转化规律, 以及不同类型和区域的变化原因, 证明了该分析方法的有效性。

参考文献 (References)

- [1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *PNAS*, 2013, 110(Suppl 1): 3665-3672.
- [2] Sterling S M, Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. *Nature Climate Change*, 2012, 3(4): 385-390.
- [3] Tian H Q, Chen G, Zhang C et al. Century-scale response of ecosystem carbon storage to multifactorial global change in the Southern United States. *Ecosystems*. 2012, 15: 674-694.
- [4] 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: 1-7.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] GLP Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No.53/IHDP Report No.19, 2005, Stockholm, 64.
- [8] 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.
- [9] Rindfuss R, Walsh S, Turner B L et al. Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. *PNAS*, 2004, 101: 13976-13981.
- [10] Herrick J E, Urama K C, Karl J W et al. The global land-potential knowledge system (landPKS): Supporting evidence-based, site-specific land use and management through cloud computing, mobile applications, and crowdsourcing. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 68(1): 5-12.
- [11] Jin S M, Yang L M, Danielson et al. A comprehensive change detection method for updating the national land cover database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 132: 159-175.
- [12] 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.]
- [13] 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.
- [14] 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.]
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.]
- [18] Huang Bingwei. Draft of the Complex Physical Geographical Division of China. *Chinese Science Bulletin*, 1959, 18: 594-602. [黄秉维. 中国综合自然区划 (草案). 科学通报, 1959, 18: 594-602.]
- [19] Zhou Lisan. Theories and Practices on Agricultural Division of China. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1993. [周立三. 中国农业区划的理论与实践. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993.]
- [20] Lv Y H, Fu B J, Feng X M et al. A policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China. *PLOS One*, 2012, 7(2): 1-10.
- [21] Feng X M, Sun G, Fu B J et al. Regional effects of vegetation restoration on water yield across the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16: 2617-2628.

Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s

LIU Jiyan¹, KUANG Wenhui¹, ZHANG Zengxiang², XU Xinliang¹,
QIN Yuanwei^{1,3}, NING Jia^{1,3}, ZHOU Wancun⁴, ZHANG Shuwen⁵,
LI Rendong⁶, YAN Changzhen⁷, WU Shixin⁸, SHI Xuezheng⁹,
JIANG Nan¹⁰, YU Dongsheng⁹, PAN Xianzhang⁹, CHI Wenfeng^{1,3}

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS, Beijing 100101, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

4. *Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;*

5. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China;*

6. *Wuhan Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan 430077, China;*

7. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;*

8. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;*

9. *Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China;*

10. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China)*

Abstract: Land-Use/land Cover Changes (LUCC) are a direct consequence of human and nature interactions. China's Land Use/covers Datasets (CLUD) were updated regularly at five-year intervals from the late 1980s to the year of 2010 with standard procedures based on Landsat TM/ETM+ images. A dynamic zoning method was proposed to analyze major land-use conversions. The spatiotemporal characteristics, differences, and causes of land-use changes at a national scale were then examined. The main findings are summarized as follows:

Land-Use Changes (LUC) across China indicated a significant variation in spatial and temporal characteristics in the past 20 years between the 20th and 21st centuries. The amount of cropland change decreased in the south and increased in the north, but the total area remained almost unchanged. The reclaimed cropland was shifted from northeast to northwest. The built-up lands were expanded rapidly, which were mainly distributed in the east and gradually spread out to the midwest. Woodland decreased first and then increased, but desert area was inverted. Grassland continued decreasing. Different spatial patterns of LUC in China were found between the late 20th century and the early 21st century. The original 13 LUC zones were replaced by 15 units with changes of boundaries in some zones. The main spatial characteristics of these changes included (1) an accelerated expansion of built-up land in the Huang-Huai-Hai region, the coastal areas of southeastern China, the midstream area of the Yangtze River, and the Sichuan Basin; (2) the shifted land reclamation in the north from Northeast China and eastern Inner Mongolia to the oasis agricultural areas in Northwest China; (3) the continuous transform from rain-fed farmlands in Northeast China to paddy fields; and (4) the effectiveness of the "Grain-for-Green" project in the southern agricultural-pastoral ecotones of Inner Mongolia, the Loess Plateau, and mountainous areas of southwestern China. In recent two decades, although climate change in the north impacted the change in cropland, policy regulation and economic driving forces were still the primary

causes of LUC across China. During the first decade of the 21st century, the anthropogenic factors that drove variations in land-use patterns have shifted the emphasis from one-way land development to both development and conservation.

The "dynamic zoning method" was used to analyze changes in the spatial patterns of zoning boundaries, the internal characteristics of zones, and the growth and decrease of units. The results revealed "the pattern of the change process," namely the process of LUC and regional differences in characteristics at different stages. The growth and decrease of zones during this dynamic LUC zoning, variations in unit boundaries, and the characteristics of change intensities between the former and latter decades were examined. The patterns of alternative transformation between the "pattern" and "process" of land use and the reasons for changes in different types and different regions of land use were explored.

Key words: satellite remote sensing; land use change; characteristics; spatial pattern; China