

# Research Progress of Land Use/Land Cover Change (LUCC) in the Loess Plateau

Zhuzhou Zhuang\*, Jiaxun Liu, Lingyan Cai, Qianwen Cheng, Penghui Jiang, Chenxi Dai

Geographic and Oceanographic Sciences College, Nanjing University, Nanjing Jiangsu  
Email: zhuangzhuzhou@163.com

Received: Sep. 30<sup>th</sup>, 2016; accepted: Oct. 16<sup>th</sup>, 2016; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Land use and land cover in the Loess Plateau had a significantly change in the past years because of the large scale of returning farmland into forest or grass. Therefore, related researches are required to explore the spatial-temporal law of LUCC in the Loess Plateau, which can contribute more to the study of regional eco-environment change process and support the research of ecological restoration. This paper reviewed the international studies of LUCC in the Loess Plateau. The research progress of classification system, classification technology of remote sensing images, pattern-process change analysis and driving forces of LUCC were illustrated. Then corresponding discussions about these questions were performed. We think that the construction of unique classification system, the fusion of geographic observation and remote sensing and the development of comprehensive model will be hot topics of LUCC in the Loess Plateau in the future.

## Keywords

Loess Plateau, Land Use and Land Cover Change, Pattern, Process, Driving Mechanism

---

# 黄土高原土地利用/覆被变化研究进展

庄逐舟\*, 刘嘉勋, 蔡凌雁, 程倩雯, 姜朋辉, 戴晨曦

南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京  
Email: zhuangzhuzhou@163.com

---

\*第一作者。

收稿日期：2016年9月30日；录用日期：2016年10月16日；发布日期：2016年10月19日

## 摘要

多年来,黄土高原地区持续开展了大规模的退耕还林还草生态工程建设,土地利用/覆被变化显著。因此,对其开展相关研究,探索其土地利用/覆被时空变化规律,有助于认知区域生态环境变化过程,为生态环境修复等研究提供支撑。本文通过综述国际黄土高原地区土地利用/覆被变化研究成果,阐述了黄土高原地区土地利用/覆被变化研究在分类体系、分类技术、格局-过程变化分析和驱动机制研究等方面所取得的最新进展,并对如何完善土地利用覆被变化分类体系、开展格局与过程耦合研究、构建综合驱动分析模型等问题进行了讨论。研究认为,构建特色分类体系、综合地理观测与遥感技术、研发综合分析模型将是未来黄土高原地区土地利用/覆被变化研究的重点。

## 关键词

黄土高原, 土地利用/覆被变化, 格局, 过程, 驱动机制

## 1. 引言

土地利用/土地覆被变化是当前全球变化研究的核心命题之一[1] [2]。土地作为陆地生物活动的地理载体和气候形成的重要下垫面基础,土地利用方式与覆被植物的变化深刻影响到了区域生态系统结构和气候环境的演变过程。作为人类与地球环境开展物质流、能量流、信息流交互作用的重要表现之一,土地利用/土地覆被变化贯穿于人类社会和自然环境演变的每一个发展阶段[1] [3]。当前研究已经表明,土地利用/土地覆被变化已逐渐成为诱发全球和区域变化的主要驱动力,深刻影响了陆地生态系统的地理分布格局及其生产力[3] [4]。因此,适时开展土地利用/土地覆被变化研究,探索全球以及区域尺度土地利用/土地覆被变化的时空演变规律,分析其发生发展的动力机制,可以更有效地为全球和区域生态环境保护提供理论支撑和决策参考,服务于区域的可持续发展[5]。

黄土高原地区作为华夏文明的发源地,其土地开发与利用历史达几千年之久。长期以来,“重开发,轻保护”的土地利用方式,造成黄土高原地区地表覆被率日趋低下。加之气候干旱、土质疏松、降水集中且多暴雨等自然条件的影响,在长期流水侵蚀下,黄土高原地区地面被分割得非常破碎,形成沟壑交错期间的塬、梁、峁等地貌类型,成为土地利用/覆被变化改变区域地形地貌的典型案例区。此外,在全球与区域气候变化的大背景下,土地利用/覆被变化将在大程度上改变了黄土高原地区地表反照率、水分以及养分循环,深刻影响了这一地区的土壤、水文等生态环境,危及到了区域的粮食安全、生态安全[6]。因此,黄土高原地区生态系统具备了脆弱生态系统的一切性质。结构简单、生态系统服务价值低下、生态功能脆弱的系统特征,使得黄土高原对自然或人为的干扰活动极为敏感。土地利用/覆被的变化在一定程度上影响到黄土高原地区的生态系统稳定性,牵动着该区域经济发展、社会稳定、生态和谐的敏感神经[7]。

20世纪90年代以来,伴随大规模的退耕还林还草、生态绿化等工程的实施,黄土高原地区的土地利用/覆被变化的强度和活跃度不断增强,地表覆被情况得到大幅改善,土地利用结构类型发生巨大变化[8]。因此,亟需开展黄土高原地区土地利用/覆被变化研究,探究这一变化究竟给黄土高原的生态环境、社会经济发展带来了怎样的改变,分析这一变化的时空规律,剖析其动力机制,从而为保护黄土高原地区生态环境持续健康发展,合理规划区域土地利用,实现经济、社会可持续发展,提供科学理论指导与

参考。

## 2. 黄土高原土地利用/覆被现状

黄土高原为我国四大高原之一，西起乌鞘岭，东至太行山，南靠秦岭，北连内蒙古高原(大致以长城为界)，跨青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南七省(图 1)，全区总面积 63.5 万平方千米。四周群山环绕，北有阴山，南望秦岭，东面吕梁，西眺六盘，海拔 800~3000 米，地势由西北向东南倾斜，山地、丘陵、平原与宽阔谷地并存。高原大部分为厚层黄土覆盖，是地球上分布最集中且面积最大的黄土区。经流水长期强烈侵蚀，逐渐形成千沟万壑、支离破碎的特殊自然景观。

作为中华民族农业文化的发祥地之一，长期以来，耕地一直是黄土高原地区的主要土地利用类型。然而，伴随水土流失带来的土壤肥力下降以及生态环境的恶化，弃耕抛荒、退耕还林已成为最为活跃的土地利用变化活动。目前，黄土高原区土地利用结构中耕地虽然仍占有较大比重，但林草地的比例已显著大幅增加。为了进一步绿化黄土高原，我国先后启动实施了三北工程、天保工程、退耕还林工程等一系列生态“治黄”工程。2010 年，国家制定颁发《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010~2030 年)》，开启了黄土高原生态建设的新篇章。

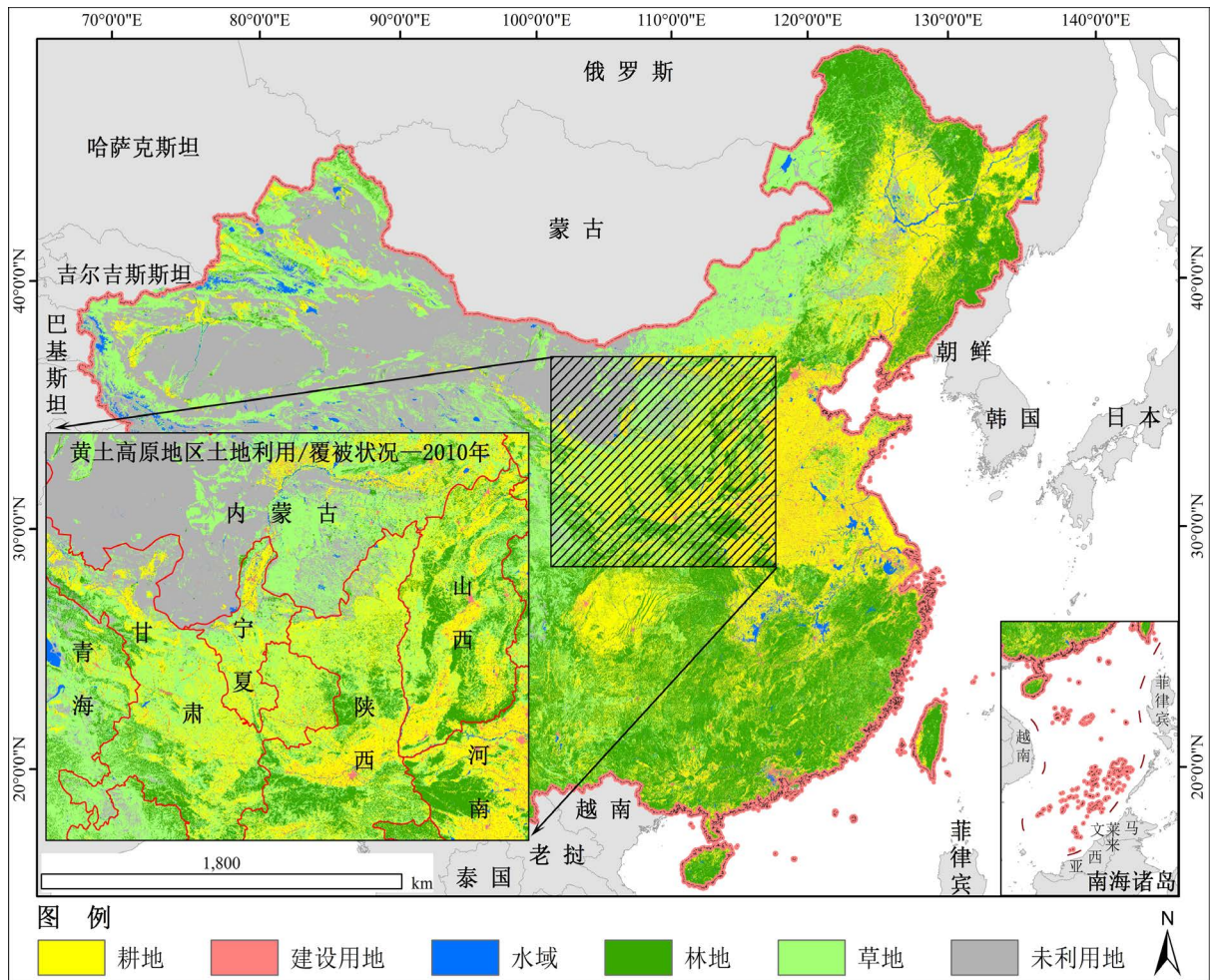


Figure 1. Geographic position and land use/cover change in the Loess Plateau in 2010

图 1. 黄土高原地理位置与土地利用/覆被变化现状(2010 年)

### 3. 黄土高原地区土地利用/覆被变化研究现状

近几十年来,黄土高原地区开展的大规模绿化建设工程,已经显著改变了这一区域的土地利用/覆被结构。对其展开相应的研究有助于了解黄土高原地区生态工程建设的效果,以及生态工程建设对区域社会经济的影响。对此,国内外各高校与科研机构持续开展了黄土高原地区土地利用/覆被变化系列研究。

基于 web of science 文献数据库与中国知网文献数据库,分别以“Land use of Loess Plateau”“黄土高原土地利用”为搜索词,全文查询得知,国内外文献库中关于黄土高原地区土地利用/覆被变化研究的文章呈逐年攀升趋势(图 2, 图 3)。2000~2015 年间,国内关于黄土高原土地利用的研究论文发表数量增加了 16 倍多,国际上更是增加了将近 20 倍。

就国际上开展黄土高原土地利用/覆被变化研究的地区分布而言,中国和美国仍是研究的热点区域,研究发表数量遥遥领先于其他地区(图 4)。此外,日本、澳大利亚、加拿大、巴西、英国、瑞典等国家也对黄土高原地区的土地利用/覆被变化研究保持了较高的关注度(图 4)。

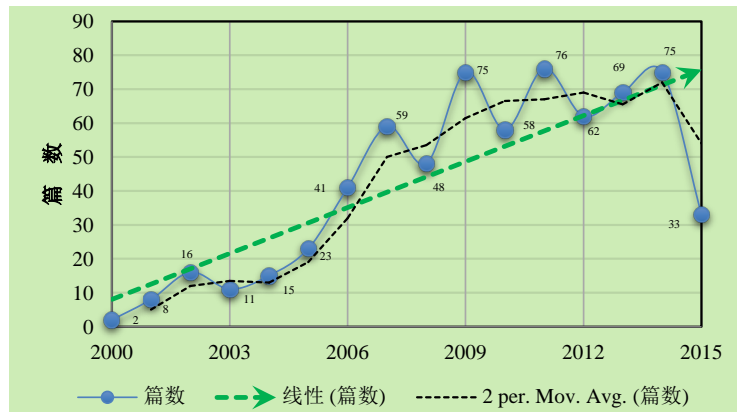
### 4. 土地利用/覆被分类体系

土地利用/覆被分类体系是开展土地利用/覆被变化研究的基础工作之一。通过土地利用/土地覆被分类,不仅可以了解各种土地利用/土地覆被类型的基本属性,而且可以认识土地利用/土地覆被的区域结构与分布特点,为进一步分析土地利用/土地覆被变化的地域差异性奠定基础。土地利用/覆被类型划分应遵循相似的社会、环境条件以及产生相似 LUCC 模式的相似人类驱动力[9]。

20 世纪 70 年代之前,土地利用/覆被分类以土地利用分类为主,该分类体系重点突出土地用途差异,其用途侧重于土地资源利用现状调查和土地利用信息制图,服务于区域土地利用规划、管理以及国土资源开发等社会需求[10]。20 世纪 70 年代之后,伴随着遥感科学的发展,计算机技术的进步,土地利用/覆被分类逐渐向以土地覆被为主的分类体系迅速发展,注重突出土地类型的差异,主要用于土地覆被变化研究[10]。

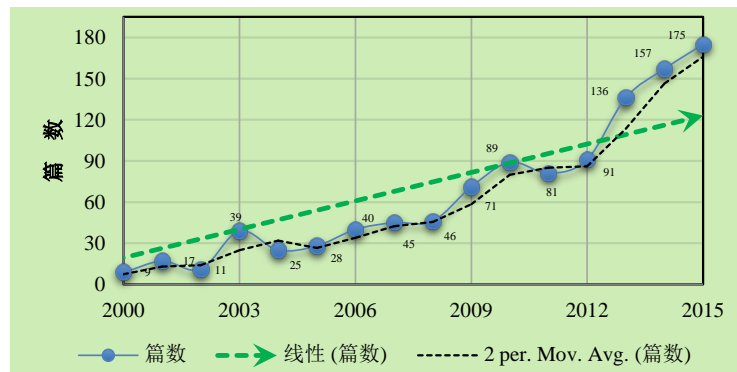
具体的分类体系研究方面,国际上,国际地圈-生物圈计划(IGBP)对应着定量化的地表覆被信息的物理指标,从反映土地覆被中地表的生理参数特征角度出发,构建了全球土地覆被分类系统(表 1)。但是,该分类体系过于注重定量化的地表物理参数,缺乏对土地利用信息的表达,灵活性和兼容性较差。因此,各国针对不同的研究区和研究需求,各自设定了符合区域地表覆被实际的分类体系,如 1985 年为加强对各成员国环境和自然资源的管理,欧共体启动了环境信息协作计划,其中的土地覆被项目将土地覆被类别划分为人工表面、农业用地、林地和半自然用地、湿地、水体 5 个一级类,下分 15 个二级类和 44 个三级类[11]。1976 年美国国家地质调查局发展了一套适用于遥感数据的土地覆被分类系统[12]。该分类系统由 4 个层次构成:一级分类和二级分类适用于全国或全州范围,其中一级类是根据当时的卫星遥感影像可以直接目视判读的地物,包括城镇或建成区、农业用地、草地、林地、水体、湿地、荒地、苔原、冰川或永久积雪 9 类;二级类是根据比例尺小于 1:8 万的航空像片可以判读的地物,分为 37 个类别。三级、四级分类适用于州内的、区域性的、县域的研究,其中三级类适用于比例尺大于 1:8 万小于 1:2 万的航空遥感,四级类适用于比例尺大于 1:2 万的航空遥感。

国内的土地利用/覆被变化研究中,土地利用/覆被类型划分多采用中科院的土地资源分类系统[13],该系统将土地利用与覆被分为耕地、林地、水域、草地、城乡工矿居民用地、未利用地 6 个 I 级类,25 个 II 级类以及针叶林地、阔叶林地、针阔混交林地 3 个 III 级类(表 2)。而国家土地调查过程中,面向国家土地精细管理和土地用途管制的政策需求,统一采用国土资源部的国家级土地利用与覆被分类系统(将土地利用与覆被分为耕地、林地、水域、草地、建设用地、未利用地、湿地 7 个 I 级类,26 个 II 级类以及



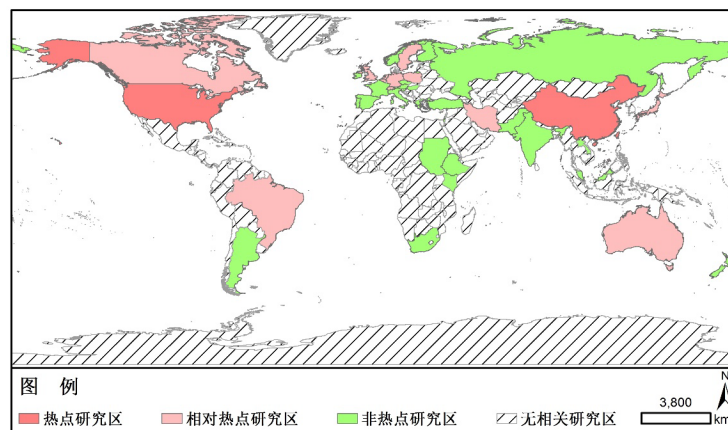
**Figure 2.** Changes in the number of domestic research published about Land use of Loess Plateau (2000-2015), CNKI

**图 2.** CNKI 全文搜索“黄土高原土地利用”得到的国内研究发表数量变化趋势(2000~2015 年)



**Figure 3.** Changes in the number of International research published about Land use of Loess Plateau (2000-2015), Web of Science

**图 3.** Web of Science 全文搜索“Land use of Loess Plateau”得到的国际研究发表数量变化趋势(2000~2015 年)



注：热点研究区，研究发表论文 100 篇以上；相对热点，研究发表论文 10~100；非热点研究区，研究发表论文 0~10；无相关研究区，研究发表论文为 0

**Figure 4.** Distribution of land use/cover change research hotspots in the Loess Plateau (2010-2015)

**图 4.** 黄土高原土地利用变化研究热点地区分布图(2000~2015 年)

**Table 1.** Classification system of global land use/cover change in IGBP [1]**表 1.** IGBP 全球土地利用覆被分类体系[1]

Code	Label
11	Post-flooding or irrigated croplands (or aquatic)
14	Rain feed croplands
20	Mosaic cropland (50%~70%)/vegetation (grassland/shrub land/forest) (20%~50%)
30	Mosaic vegetation (grassland/shrub land/forest) (50%~70%)/cropland (20%~50%)
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen or semi-deciduous forest (>5 m)
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5 m)
60	Open (15%~40%) broadleaved deciduous forest/woodland (>5 m)
70	Closed (>40%) needle leaved evergreen forest (>5 m)
90	Open (15%~40%) needle leaved deciduous or evergreen forest (>5 m)
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needle leaved forest (>5 m)
110	Mosaic forest or shrub land (50%~70%)/grassland (20%~50%)
120	Mosaic grassland (50%~70%)/forest or shrub land (20%~50%)
130	Closed to open (>15%) (broadleaved or needle leaved, evergreen or deciduous) shrub land (<5 m)
140	Closed to open (>15%) herbaceous vegetation (grassland, savannas or lichens/mosses)
150	Sparse (<15%) vegetation
160	Closed to open (>15%) broadleaved forest regularly flooded (semi-permanently or temporarily)—Fresh or brackish water
170	Closed (>40%) broadleaved forest or shrub land permanently flooded—Saline or brackish water
180	Closed to open (>15%) grassland or woody vegetation on regularly flooded or waterlogged soil—Fresh, brackish or saline water
190	Artificial surfaces and associated areas (Urban areas > 50%)
200	Bare areas
210	Water bodies
220	Permanent snow and ice
230	No data (burnt areas, clouds, ...)

**Table 2.** Classification system of land resources in Chinese Academy of Sciences [13]**表 2.** 中国科学院土地资源分类系统[13]

一级类型		二级类型		
编号	名称	编号	名称	含义
1	耕地	-	-	指种植农作物的土地, 包括熟耕地、新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地; 以种植农作物为主的农果、农桑、农林用地; 耕种三年以上的滩地和海涂。
-	-	11	水田	指有水源保证和灌溉设施, 在一般年景能正常灌溉, 用以种植水稻, 莲藕等水生农作物的耕地, 包括实行水稻和旱地作物轮种的耕地。111 山地水田 112 丘陵水田 113 平原水田 114 > 25 度坡地水田。
-	-	12	旱地	指无灌溉水源及设施, 靠天然降水生长作物的耕地; 有水源和浇灌设施, 在一般年景下能正常灌溉的旱作物耕地; 以种菜为主的耕地; 正常轮作的休闲地和轮歇地。 121 山地旱地 122 丘陵旱地 123 平原旱地 124 > 25 度坡地旱地

## Continued

2	林地	-	-	指生长乔木、灌木、竹类、以及沿海红树林地等林业用地。
-	-	21	有林地	指郁闭度 > 30%的天然林和人工林。包括用材林、经济林、防护林等成片林地。
-	-	22	灌木林	指郁闭度 > 40%、高度在 2 米以下的矮林地和灌丛林地。
-	-	23	疏林地	指林木郁闭度为 10%~30%的林地。
-	-	24	其它林地	指未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地（果园、桑园、茶园、热作林园等）。
3	草地	-	-	指以生长草本植物为主，覆盖度在 5% 以上的各类草地，包括以牧为主的灌丛草地和郁闭度在 10% 以下的疏林草地。
-	-	31	高覆盖度草地	指覆盖 > 50%的天然草地、改良草地和割草地。此类草地一般水分条件较好，草被生长茂密。
-	-	32	中覆盖度草地	指覆盖度在 > 20%~50%的天然草地和改良草地，此类草地一般水分不足，草被较稀疏。
-	-	33	低覆盖度草地	指覆盖度在 5%~20%的天然草地。此类草地水分缺乏，草被稀疏，牧业利用条件差。
4	水域	-	-	指天然陆地水域和水利设施用地。
-	-	41	河渠	指天然形成或人工开挖的河流及主干常年水位以下的土地。人工渠包括堤岸。
-	-	42	湖泊	指天然形成的积水区常年水位以下的土地。
-	-	43	水库坑塘	指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地。
-	-	44	永久性冰川雪地	指常年被冰川和积雪所覆盖的土地。
-	-	45	滩涂	指沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮浸地带。
-	-	46	滩地	指河、湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地。
5	城乡、工矿、居民用地	-	-	指城乡居民点及其以外的工矿、交通等用地。
-	-	51	城镇用地	指大、中、小城市及县镇以上建成区用地。
-	-	52	农村居民点	指独立于城镇以外的农村居民点。
-	-	53	其它建设用地	指厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地。
6	未利用土地	-	-	目前还未利用的土地，包括难利用的土地。
-	-	61	沙地	指地表为沙覆盖，植被覆盖度在 5% 以下的土地，包括沙漠，不包括水系中的沙漠。
-	-	62	戈壁	指地表以碎砾石为主，植被覆盖度在 5% 以下的土地。
-	-	63	盐碱地	指地表盐碱聚集，植被稀少，只能生长强耐盐碱植物的土地。
-	-	64	沼泽地	指地势平坦低洼，排水不畅，长期潮湿，季节性积水或常年积水，表层生长湿生植物的土地。
-	-	65	裸土地	指地表土质覆盖，植被覆盖度在 5% 以下的土地。
-	-	66	裸岩石质地	指地表为岩石或石砾，其覆盖面积 > 5% 的土地。
-	-	67	其它	指其它未利用土地，包括高寒荒漠，苔原等。
9		99	海洋	

针叶林、阔叶林、混生林 3 个 III 级类)。但是这两种分类系统都存在一定的局限性,如土地分类系统过分依赖特定的遥感数据源,造成系统的通用性不强、难以适应不同目的的相关研究等。所以,已开展的黄土高原地区土地利用/覆被变化研究种,大部分研究者在采用这两类分类系统的同时,多结合研究区域的土地变化状况、景观变化等实际情况构建了符合当地土地利用与覆被现状的分类体系。但是,由于黄土高原土地利用/覆被变化研究多集中于小流域尺度。因此,分类体系多仅适用于特定的小流域,缺少可以反映整个黄土高原地区土地利用与覆被特色的分类体系,这一定程度上也阻碍了黄土高原区域尺度土地利用/覆被变化研究的开展。

## 5. 土地利用/覆被分类技术

土地利用/覆被变化研究必须具有一定精度的土地利用分类数据,这是研究土地覆被变化的数据基础条件[13]。土地利用/覆被分类制图精度既影响土地利用变化信息的表达,也决定分析结果的精度和应用参考功能。

由于资源卫星影像具有成本低、覆盖范围广、监测时间频度高等优点,而且获取相对容易且操作简单,可实现多时空尺度地表覆被信息的连续监测[14] [15]。因此,当前世界范围内土地利用/覆被变化研究的信息和数据来源大都源于对各类遥感卫星数据、遥感影像的解译。在现代条件下,遥感解译需要利用各种光学和数字图像处理设备,事先对原始的遥感图像进行加工处理,以便把所需要的信息从中提取出来。在具备有关专业(如地质、地理、水文、农林、气象等)的知识并熟悉遥感图像的特点、地物波谱和地面实况的基础上,研究者可根据各种应用的需要,观察和判断遥感图像的光学、纹理、形状特征等遥感解译标志,以监督或非监督、人机交互操作等技术手段,实现遥感影像地表覆盖信息判读[15]。

当前应用较多的土地利用/覆被分类方法仍是一些算法成熟、操作简单的传统分类方法,如目视解译、监督分类和非监督分类。相对于传统分类法,近年来出现的新分类方法,如时间序列分析法[16]、多特征融合法[17]以及基于频谱特征[18]的分类法等,具有能够更准确地提取出目标地物的优点。因此,在实际应用中传统分类方法通常结合新方法。但是,在对遥感图像解译的过程中,受到研究者本身图像判读能力、地学知识掌握程度、图像本身存在的误差,以及云雨等气象条件带来的遥感影像质量差异,导致单纯的使用遥感数据并不能准确提取区域土地利用/覆被变化信息。所以,如果土地利用/覆被分类与制图单纯依赖于遥感信息技术,忽视实地调研验证、野外信息观测等传统信息获取方式,将会使得研究结果与实际出现较大的偏差。黄土高原地区千沟万壑、支离破碎的地貌形态,农牧林交错的地表覆被现状等都进一步加大了遥感解译的难度。如果单纯的依靠目视遥感判读手段,无法分解混合像元和复杂地貌带来的错误分类。对此,已有的黄土高原地区土地利用/覆被变化研究多采用将遥感数据与野外调查数据、统计资料等多数据源复合分析,在图像的处理过程中更加注重了野外调查与室内解译的结合。根据已有各类研究结果表明,多源数据融合解译可以实现区域土地利用/覆被变化信息的快速准确提取[17]。

## 6. 黄土高原土地利用/覆被变化格局 - 过程 - 驱动研究

格局、过程与驱动力的比较是揭示区域尺度土地利用/覆盖时空变化规律的有效方法[18]。其中,格局意指地理单元(土地利用/覆被类型)的空间结构与分布特征,包括土地利用/覆被的数目、空间分布与配置。过程是各土地利用/覆被类型之间物质、能量、信息的流动和迁移转化的总称,强调事件或现象的发生、发展的动态特征[19] [20]。格局与过程相互作用而存在。格局是过程的空间载体,格局变化影响过程进度,过程改变格局特征[19]。当前关于黄土高原土地利用/覆被变化的格局与过程研究多侧重于小流域和小尺度范围的研究[21] [22]。

其中,黄土高原土地利用/覆被变化的格局研究方面,重点侧重于景观格局与土地利用动态变化分析



[21] [23]。过程研究方面,集中在黄土高原土地利用/覆被格局变化对土壤环境的生态过程影响,包括土壤侵蚀过程[24]、水土流失过程[25]以及土壤养分的空间分异规律[26]等。格局与过程耦合已经成为黄土高原地区土地利用/覆被变化格局过程研究的主流方向。傅伯杰等[27]以陕西省延安市羊圈小流域(延河流域二级子流域)为研究区,基于生态水文过程的监测和分析,开展了基于直接观测的格局-过程耦合研究,分析了不同土地利用类型的水土保持效应、土地利用类型及环境因子耦合下的水土流失过程以及不同生态系统组合的水土保持功能研究。以国际上通常采用的分布式 SWAT 模型,开展了土地利用格局与流域生态水文过程模拟研究。这一系列研究,为黄土高原地区土地利用/覆被变化格局与过程耦合分析提供了研究范式。野外长期观测和综合调查,以及在此基础上的格局-过程耦合模型模拟预测已成为黄土高原地区土地利用/覆被变化格局与过程耦合的主要方法。

此外,伴随土地利用/覆被变化研究的深入开展,探索影响土地格局与过程变化的驱动机制已经成为研究的核心和主题之一[13] [28] [29]。土地利用/覆被变化驱动力研究的目的在于从影响土地的各因素出发,构建经验模型,解释二者之间的相关关系,为远期的土地利用变化模拟预测提供理论基础。引起黄土高原土地利用变化的驱动力既有自然系统力,也有社会经济系统力[30]。在不同时空尺度上,自然与社会的驱动作用地位不尽相同。已有研究成果表明[31],短时间尺度上(百年以下),自然因素的影响主要体现在为累积效应,社会经济因素对 LUCC 过程的影响相对活跃;长时间尺度上(百年以上),自然系统为土地利用变化的主导驱动因素。此外,受地形、降水等基础自然地理背景的影响以及经济发展进程、人口空间密度等人文地理背景的内外驱动,黄土高原地区土地利用/覆被变化的驱动机制存在显著的空间分异特征[28]。陇东至晋西,陕北到关中等地的土地变化驱动机制均有明显的空间差异特征。因此,土地利用/覆盖变化驱动机制研究必须在耦合格局与过程的基础上,开展地理综合分析研究。当前,国际上关于黄土高原地区土地利用/覆被变化驱动机制的分析方法以地理综合模型法为主[30]。这些模型方法多为基于经验的统计模型和基于过程的动态模型[32]。其中,基于经验的统计模型通过构建土地变化与各自然、社会、经济因子之间的数学相关关系模型,可以快速简化问题,准确抓住复杂系统中的主要矛盾,但是由于个别因变量难以量化,如土地利用政策,从而使得建立的关系并不是确定的因果关系。不同于经验统计模型,基于过程的动态模型,如 clue-s 模型,在耦合土地利用/覆被变化格局与过程的基础上,能够实现驱动因子对土地利用变化过程的深度刻画。从而在土地利用变化过程模拟预测的基础上,分析其驱动机制。然而,由于模型的构建准则过于复杂,往往仅适用于小尺度的模拟分析,难以实现尺度上推。因此,建立综合性模型无论在当前还是以后都将是黄土高原地区土地利用/覆被变化驱动力研究的一个必然趋势[28]。

## 7. 讨论和结论

1) 黄土高原地区土地利用/覆被变化研究首先应构建适应地区特色的分类体系。黄土高原地区土地利用/覆被变化研究应在综合国家与中科院分类系统的同时,以区域土地变化状况、景观变化等实际情况的基础上,结合已有的各小流域尺度土地利用/覆被分类研究成果,构建符合黄土高原地区土地利用与覆被现状的分类体系,服务于黄土高原区域尺度土地利用/覆被变化研究。

2) 土地利用/覆被遥感解译必须注重计算机技术与传统地理野外观测的结合。土地利用/覆被遥感解译是开展后续的格局、过程变化分析以及驱动机制研究的最根本数据基础,只有达到一定制作精度的土地利用/覆被数据,土地利用/覆被变化相关研究成果才具有科学指导和理论参考意义。针对黄土高原地区地貌复杂、遥感影像混合像元丰富等地理环境差异和遥感影像特征,土地利用/覆被遥感解译必须建立在充足野外观测信息的基础之上,监督与非监督结合,人机交互。

3) 黄土高原土地利用/覆被变化格局-过程-驱动研究方面,格局与过程的耦合研究、驱动机制分析

已成为土地利用/覆被变化研究的主流和核心命题。其中, 格局与过程的耦合研究方面, 野外长期观测和综合调查, 以及在此基础上的格局-过程耦合模型模拟预测已成为黄土高原地区土地利用/覆被变化格局与过程耦合的主要方法。驱动机制分析方面, 研究方法以构建基于经验的统计模型和基于过程的动态模型为主。然而, 受限于不同尺度研究区的地理环境差异, 当前的模型仍缺乏普适性。因此, 建立综合性模型, 实现多尺度土地利用与覆被变化驱动机制的科学解释已成为当前研究的迫切需求。

## 参考文献 (References)

- [1] GLP (Global Land Project) (2005) Global Land Project: Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No.19, IGBP Secretariat, Stockholm.
- [2] Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., *et al.* (2005) Global Consequences of Land Use. *Science*, **309**, 570-574. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1111772>
- [3] Nd, T.B., Lambin, E.F. and Reenberg, A. (2007) The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 20666-20671. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- [4] 周广胜, 许振柱, 王玉辉. 全球变化的生态系统适应性[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 642-649.
- [5] Giupponi, C., Ramanzin, M., Sturaro, E., *et al.* (2006) Climate and Land Use Changes, Biodiversity and Agri-Environmental Measures in the Belluno Province, Italy. *Environmental Science & Policy*, **9**, 163-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2005.11.007>
- [6] 黄青, 孙洪波, 王让会, 等. 干旱区典型山地-绿洲-荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 76-81.
- [7] 李义玲, 乔木, 杨小林, 等. 干旱区典型流域近 30a 土地利用/覆被变化和景观破碎化分析:以玛纳斯河流域为例[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1050-1057.
- [8] Lü, Y., Sun, F., Wang, J., Zeng, Y., Holmberg, M., Böttcher, K., Vanhala, P. and Fu, B. (2014) Managing Landscape Heterogeneity in Different Socio-Ecological Contexts: Contrasting Cases from Central Loess Plateau of China and Southern Finland. *Landscape Ecology*, **30**, 463-475. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-014-0129-5>
- [9] 刘新卫, 陈百明, 汪权方. 国内 LUCC 研究进展综述[J]. 土壤, 2003, 36(2): 132-135.
- [10] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1195-1203.
- [11] Commission of the European Communities (1994) CORINE Land Cover. <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- [12] Anderson, J.R., Hardy, E., Roach, J.T., *et al.* (1976) A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. Geological Survey Professional Paper 964.
- [13] Liu, J.Y., Zhang, Z.X., Xu, X.L., *et al.* (2010) Spatial Patterns and Driving Forces of Land Use Change in China during the Early 21<sup>st</sup> Century. *Journal of Geographic Science*, **20**, 483-494. <http://dx.doi.org/10.1007/s11442-010-0483-4>
- [14] Lunetta, R.S., Knight, J.F., Ediriwickrema, J., Lyon, J.G. and Worthy, L.D. (2006) Land-Cover Change Detection Using Multi-Temporal MODIS NDVI Data. *Remote Sensing of Environment*, **105**, 142-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018>
- [15] Zhong, B., Ma, P., Nie, A.H., *et al.* (2014) Land Cover Mapping Using Time Series HJ-1/CCD Data. *Science China: Earth Sciences*, **44**, 967-977. <http://dx.doi.org/10.1007/s11430-014-4877-5>
- [16] Gu, J., Li, X., Huang, C. and Okin, G.S. (2009) A Simplified Data Assimilation Method for Reconstructing Time-Series MODIS NDVI Data. *Advances in Space Research*, **44**, 501-509. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.05.009>
- [17] Roy, D.P., Ju, J., Lewis, P., Schaaf, C., Gao, F., Hansen, M. and Lindquist, E. (2008) Multi-Temporal MODIS-Landsat Data Fusion for Relative Radiometric Normalization, Gap Filling, and Prediction of Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 3112-3130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.009>
- [18] Wentz, E.A., Stefanov, W.L., Gries, C., *et al.* (2006) Land Use and Land Cover Mapping from Diverse Data Sources for an Arid Urban Environments. *Computers Environment & Urban Systems*, **30**, 320-346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.07.002>
- [19] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 第二版, 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [21] 王计平, 陈利顶, 汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 535-542.

- [22] 高照良, 穆兴民. 黄土水蚀风蚀交错区土地利用/覆被时空变化研: 以陕西省神木县六道沟流域为例[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 149-150.
- [23] 刘建飞, 杨勤科, 梁伟, 任宗萍, 胡志瑞. 近 30 年来陕北黄土高原土地利用动态变化分析[J]. 水土保持学报, 2009, 16(2): 112-116.
- [24] 游珍, 李占斌. 黄土高原小流域景观格局对土壤侵蚀的影响[J]. 中国科学院研究生院学报, 2005, 22(4): 447-453.
- [25] 索安宁, 王天明, 王辉. 基于格局-过程理论的面源污染实证研究: 以黄土丘陵沟壑区水土流失为例[J]. 环境科学, 2006, 27(12): 2415-2420.
- [26] 王军, 傅伯杰, 邱扬. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1173-1178.
- [27] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响: 以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 53-58.
- [28] 余新晓, 张晓明, 牛丽丽, 岳永杰, 武思宏, 张满良. 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 219-225.
- [29] 宋乃平, 张凤荣, 王磊, 等. 我国土地利用/覆被研究的热点与应用发展问题[J]. 地球信息科学, 2008, 10(1): 60-66.
- [30] 邹亚荣, 张增祥, 周全斌, 等. 中国农牧交错区土地利用变化空间格局与驱动力分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 222-227.
- [31] 刘纪远, 邓祥征. LUCG 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报, 2009, 54(21): 3251-3258.
- [32] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojswc@hanspub.org](mailto:ojswc@hanspub.org)