

DOI: 10.5846/stxb201511102277

郑朝菊, 曾源, 赵玉金, 高文文, 赵旦, 吴炳方. 20 世纪 90 年代以来中国西南地区土地覆被变化. 生态学报, 2016, 36(23): 7858-7869.

Zheng Z J, Zeng Y, Zhao Y J, Gao W W, Zhao D, Wu B F. Analysis of land cover changes in southwestern China since the 1990s. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7858-7869.

20 世纪 90 年代以来中国西南地区土地覆被变化

郑朝菊¹, 曾 源^{1,*}, 赵玉金¹, 高文文², 赵 旦¹, 吴炳方¹

1 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100101

2 中国林科院资源信息研究所, 北京 100091

摘要: 西南地区是我国重要的生态安全屏障区, 也是气候敏感区和生态脆弱区。20 世纪 90 年代以来, 西南地区土地覆被发生了巨大变化, 对生态环境和生态系统服务功能产生重大影响。基于全国 30 m 土地覆被数据集, 分析了近 20 a 来西南地区土地覆被格局、变化及驱动因素。同时, 基于 MODIS-NDVI 数据, 利用像元二分模型估算了 2000—2010 年 250 m 分辨率年最大植被覆盖度, 对森林、灌丛和草地的植被覆盖度变化进行分析。结果表明: 1) 2010 年西南地区土地覆被以森林和草地为主, 分别占总面积的 29.08% 和 24.11%。2) 1990—2010 年西南地区森林、湿地和人工表面分别增加 1.39%、5.86% 和 48.57%, 灌丛、耕地和裸露地分别减少 2.12%、2.88% 和 0.64%, 变化的区域主要集中在生态建设重点区、城市圈、地震灾区、三峡库区、三江源区、青藏高原东南部和云南南部。3) 2000—2010 年西南地区森林、灌丛和草地植被覆盖度呈增加趋势的面积分别占 26.54%、32.53% 和 28.87%, 但汶川地震重灾区、横断山区、云南南部等地的森林及灌丛植被覆盖度下降, 青藏高原东南部、川西高原草地退化。近 20 a 来, 尽管气候变化对西南地区的土地覆被有一定影响, 但人类活动仍然是导致其变化及时空差异的主要原因。

关键词: 土地覆被; 变化监测; 植被覆盖度; 中国西南

Analysis of land cover changes in southwestern China since the 1990s

ZHENG Zhaoju¹, ZENG Yuan^{1,*}, ZHAO Yujin¹, GAO Wenwen², ZHAO Dan¹, WU Bingfang¹

1 Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Southwestern China is an important ecological barrier and the major area supplying water to our country and most of East Asia. In light of the impacts of global change, rapid economic development, excessive resource utilization, and a series of ecological construction projects, land cover of southwestern China has changed significantly over the last 20 years. This has had great consequences for the eco-environment. After assessing land cover datasets of China in 1990, 2000, and 2010, we propose a land cover classification system that is appropriate for southwestern China. We analyze the spatial-temporal patterns, changing characteristics, and potential causes. In addition, we estimate fractional vegetation cover from 2000 to 2010 using the dimidiate pixel model, based on MODIS-NDVI data. Results show that: 1) in 2010, forest was the dominant land cover type, occupying 29.08%, followed by grassland, which covered 24.11%. 2) From 1990 to 2010, areas of forest, wetland, and artificial surface increased by 1.39%, 5.86% and 48.57%, respectively, but areas of shrubland, arable land, and barren land decreased by 2.21%, 2.88% and 0.64%, respectively. The conversion areas are mainly distributed in the regions where the ecological restoration programs are carried out, the urban circle, the earthquake stricken area, the Three Gorges Reservoir Region, the Three-River Headwater on Qinghai-Tibet Plateau, and the southern Yunan

基金项目: 国家科技支撑计划子课题资助项目(2011BAC09B08-01); 中国科学院战略性先导科技专项-应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05050108)

收稿日期: 2015-11-10; 修订日期: 2016-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengyuan@radi.ac.cn

province. 3) The changes in fractional vegetation cover of forest, shrub and grassland showed an overall upward trend in 2000s, but forest and shrub showed a trend of degradation in the Wenchuan earthquake-stricken area, Hengduan Mountains, and southern Yunnan province; grassland also deteriorated in the southeastern Tibet Plateau and western Sichuan Plateau. In summary, in the last two decades, although climate change has affected land cover, policy regulation and economic driving forces are still the primary causes of land cover changes across southwestern China.

Key Words: land cover; change detection; fractional vegetation cover; southwestern China

中国西南地区是众多江河的上游和源头区,地形起伏大,气候多样,物种丰富,对我国乃至东亚的生态安全具有重要的屏障作用。同时,该区土地覆被景观连续性差、异质性高,石漠化、水土流失严重,地震、泥石流等地质灾害频繁,是气候变化的敏感区和生态环境脆弱区。20 世纪 90 年代以来,在全球变化、经济发展、重大灾害和生态环境保护的综合作用下,西南地区土地覆被发生了巨大变化,对生态系统服务功能产生深远影响。因此,研究长时间序列的土地覆被变化,对分析和评价西南地区生态系统格局、生态环境问题及生态保护与修复具有重要意义。

土地覆被变化是全球气候变化和环境变化研究关注的重要内容^[1]。国内外已成功开展了全球、洲际及国家尺度土地覆被遥感监测,如欧盟进行全球及欧洲土地覆被监测 (GLC2000、Globcover、CORINE)^[2-3],美国建立全球及美国土地覆被产品 (IGBP-DIS、UMD、MODIS、NLCD)^[4-6],联合国粮农组织 (FAO) 开展非洲土地覆被遥感监测 (AFRICOVER)^[7],中国建立全球及中国土地覆被/利用数据产品 (GlobalLand30、CLUDs、ChinaCover)^[8-10]。西南地区作为典型的生态脆弱区、全球气候变化研究热点区,其土地覆被变化备受学者关注。吴丹等^[11]通过土地覆被状况指数和转类指数分析发现近 30 a 长江源区土地覆被与生态状况经历了变差-显著变差-略有好转的变化;李正等^[12]基于 1996—2008 年土地利用变更调查数据,发现贵州耕地减少、林地增加,退耕政策和经济发展是主要驱动力;邵景安等^[13]发现三峡工程建设的 20 a 间库区耕地、草地大幅减少,水域、林地和建设用地显著增加;伍星等^[14]利用土地利用变化率、相对变化率、土地利用动态度等分析发现近 20 a 长江上游草地、林地、建设用地和耕地变化较大;何慧娟等^[15]利用 1990—2010 逐年土地覆盖数据集,发现广西、贵州和重庆林地明显增加。

为探究气候变化和人类活动影响下,西南地区土地覆被变化的时空变化规律及生态工程实施成效,本文基于“全国生态环境十年变化(2000 年—2010 年)遥感调查与评估”项目提供的全国 30 m 土地覆被数据集,对西南地区 1990、2000 和 2010 年的土地覆被格局进行分析,利用转移矩阵定量描述不同土地覆被类型的转移途径和幅度;基于 MODIS-NDVI 数据利用像元二分模型估算 2000—2010 年的植被覆盖度,依据回归斜率图深入讨论森林、灌丛和草地的植被覆盖度变化;最后,结合近 20 年来西南地区社会经济、生态保护及气候变化特征,分析土地覆被变化的驱动因素,为进一步研究西南地区生态环境变化提供参考。

1 数据源与研究方法

1.1 研究区概况

该研究所指西南地区(21°08′—36°29′N, 87°22′—112°03′E),包括广西、贵州、重庆、云南、四川五省(市区)以及青海和西藏的部分市县,总面积 213.24 万 km²(图 1)。该区域地貌复杂,横跨广西丘陵、云贵高原、四川盆地、若尔盖高原、横断山地、青藏高原东南,是全国山地集中分布的地区之一,此外喀斯特地貌、河谷地貌和冰川地貌等广泛分布。气候类型包括亚热带季风气候、热带季雨林气候以及青藏高原独特的高原气候,年平均气温在 0—24℃ 之间,年降水量在 600—2300 mm 范围内,由东南向西北递减^[16]。复杂的地貌和气候分布形成了独特的植被分布格局,区内植物种类繁多,生态系统类型丰富。

1.2 土地覆被数据与精度

“全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估”项目提供的全国 30 m 土地覆被数据集包括

1990、2000 和 2010 年 3 期。其中,2010 年土地覆被数据集以 HJ- A/B 影像(<http://www.cresda.com/>) 为主要数据源,采用基于超算平台的数据预处理方法、面向对象的自动分类与地面调查以及雷达数据辅助相结合的分类方法^[10]。以森林分类为例,首先对预处理后的影像进行多尺度分割,根据 HJ- A/B 影像光谱响应曲线特征将森林分为针叶林和非针叶林,结合 MODIS 时序数据反映的物候信息(针阔混交林第 81 天的 NDVI 值明显小于其他两种类型),将针阔混交林分开^[17]。在此基础上,根据野外实地考察与高分辨率遥感影像判读,构建训练样本集,计算参考样本生长季和非生长季遥感影像 NDVI 值的差(NDVI_D),确定区分森林常绿、落叶特征的 NDVI_D 阈值,基于决策树建立规则,逐层次分出针阔混交林、常绿针叶林、落叶针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林^[18]。精度验证采用分层随机抽样方法,结合地面调查和高分辨率遥感影像获取了共计 9604 个独立验证点,对 2010 年土地覆被监测结果进行了精度评价,结果表明数据精度达到一级为 94%,二级为 86%^[19]。1990 和 2000 年土地覆被数据集以 Landsat TM 影像(<http://glovis.usgs.gov/>) 为主要数据源,基于 2010 年的土地覆被数据,采用变化矢量分析模型和向量相似度相结合的方法自动识别出变化区域,同时采用人工目视方法去除误判的变化^[20]。

1.3 土地覆被分类系统

全国 30 m 土地覆被数据集在 FAO 土地覆被分类系统 LCCS 分类工具支持下,重新定义了适合中国土地覆被特点与相关应用需求的分类系统,包括 6 个一级类,38 个二级类^[21]。

本研究以上述分类系统为基础,综合考虑西南地区土地覆被特点、遥感能力、生态需求以及数据可比性等因素,确定了适用于西南地区的土地覆被分类系统,包括 7 个一级类,30 个二级类(表 1)。

表 1 西南地区土地覆被分类系统
Table 1 Land cover classification system for Southwestern China

I 级代码 Code I	I 级分类 Level I	II 级代码 Code II	II 级分类 Level II	指标 Index
1	森林	11	常绿阔叶林	$H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%$, 常绿, 阔叶
		12	落叶阔叶林	$H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%$, 落叶, 阔叶
		13	常绿针叶林	$H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%$, 常绿, 针叶
		14	落叶针叶林	$H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%$, 落叶, 针叶
		15	针阔混交林	$H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%, 25\%<F<75\%$
2	灌丛	21	常绿灌木林	$H=0.3-5\text{ m}, C\geq 20\%$, 常绿, 阔叶或针叶
		22	落叶灌木林	$H=0.3-5\text{ m}, C\geq 20\%$, 落叶, 阔叶
3	草地	31	草甸	$K>1.5$, 土壤水饱和, $H=0.03-3\text{ m}, C\geq 20\%$
		32	草原	$K=0.9-1.5, H=0.03-3\text{ m}, C\geq 20\%$
		33	草丛	$K>1.5, H=0.03-3\text{ m}, C\geq 20\%$
4	耕地	41	水田	人工植被, 土地扰动, 水生作物, 收割过程
		42	旱地	人工植被, 土地扰动, 旱生作物, 收割过程
		43	园地	人工植被, $H=0.3-30\text{ m}, C\geq 20\%$
5	湿地	51	乔木湿地	$T>2$ 或湿土, $H=3-30\text{ m}, C\geq 20\%$
		52	灌木湿地	$T>2$ 或湿土, $H=0.3-5\text{ m}, C\geq 20\%$
		53	草本湿地	$T>2$ 或湿土, $H=0.03-3\text{ m}, C\geq 20\%$
		54	湖泊	自然水面, 静止
		55	水库/坑塘	人工水面, 静止
		56	河流	自然水面, 流动
6	人工表面	57	运河/水渠	人工水面, 流动
		61	居住地	人工硬表面, 居住建筑
		62	工业用地	人工硬表面或挖掘表面, 生产建筑或采矿场
7	裸露地	63	交通用地	人工硬表面, 线状特征
		71	稀疏植被	$H=0.03-30\text{ m}, C=4\%-20\%$

续表

I 级代码	I 级分类	II 级代码	II 级分类	指标
		72	苔藓/地衣	自然,苔藓或地衣覆盖
		73	裸岩	自然,坚硬表面,石质, $C<4\%$
		74	裸土	自然,松散表面,壤质, $C<4\%$
		75	沙漠/沙地	自然,松散表面,沙质, $C<4\%$
		76	盐碱地	自然,松散表面,高盐分
		77	冰川/永久积雪	自然,水的固态

C : 覆盖度、郁闭度(%) (遥感估算 FVC); F : 针阔比率(%) (地面调查); H : 植被高度(m) (地面调查); T : 水一年覆盖时间(月) (多时相遥感

影像); K : (草本)湿润指数; $K = \frac{R}{0.1 \times Ta}$, 式中 R 为年降水量, Ta 为年内大于 0°C 的积温, 由国家气象地面观测站的数据插值获取

1.4 植被覆盖度估算及分析方法

1.4.1 像元二分模型

植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, 简称 FVC) 是指植被在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[22]。植被覆盖度估算采用像元二分模型, 假设像元只包括植被和裸土两种组分, 植被所占的面积百分比即该像元的植被覆盖度, 公式如下:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (1)$$

式中, FVC 为植被覆盖度, $NDVI_{soil}$ 为裸土区域的 NDVI 值, 一般在 $-0.1 \sim -0.2$ 之间^[23]; $NDVI_{veg}$ 代表纯植被像元的 NDVI 值, 其值随时空变化^[24]。

本文采用 2000—2010 年 16 天最大值合成 MODIS-NDVI 产品 (<http://reverb.echo.nasa.gov/>), 利用不同土地覆被类型和土壤类型的栅格图像对年最大 NDVI 进行掩膜处理, 取累积频率为 2% 的 NDVI 值为 $NDVI_{soil}$, 累积频率为 98% 的 NDVI 值为 $NDVI_{veg}$ ^[25], 通过栅格计算得到西南地区的植被覆盖度。最终采用最大值合成法获取西南地区 2000—2010 年 250 m 分辨率的年最大植被覆盖度数据集。

1.4.2 趋势分析

对 2000—2010 年西南地区年最大 FVC 在像元尺度上进行一元线性回归, 得到回归斜率:

$$\text{slope} = \frac{[t \cdot \sum_{i=1}^t i \cdot y] - (\sum_{i=1}^t i) (\sum_{i=1}^t y)}{t \cdot \sum_{i=1}^t i^2 - (\sum_{i=1}^t i)^2} \quad (2)$$

式中, t 是监测年数, y 是第 i 年的年最大 FVC。

回归斜率可反映 2000—2010 年西南地区年最大 FVC 的变化趋势及变化幅度。斜率为正, 表明 FVC 增加; 斜率绝对值越大, FVC 变化幅度越大。

2 结果与分析

2.1 2010 年西南地区土地覆被格局

2010 年西南地区的主要覆被类型为森林 ($6202.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 和草地 ($5140.48 \times 10^4 \text{ hm}^2$), 分别占总面积的 29.08% 和 24.11%; 其次是耕地 ($3271.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 和灌丛 ($3038.39 \times 10^4 \text{ hm}^2$), 占总面积的 15.34% 和 14.25%; 裸露地 ($2823.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 占总面积的 13.31%; 湿地 ($649.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 和人工表面 ($184.48 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 共占总面积的 3.91%。

2010 年广西、云南、重庆和四川土地覆被以森林为主, 其次是耕地, 各省市森林面积比例分别为 51.81%、49.54%、41.87% 和 29.61%, 耕地面积比例依次为 28.14%、23.40%、31.01% 和 23.36%; 贵州灌丛面积比例最大, 占贵州总面积的 35.39%; 西藏东南和青海南部草地及裸露地面积比例较大, 其他类型面积相对较少。

在自然条件和人类活动的综合影响下,西南地区土地覆被格局表现出明显的空间差异(图1)。森林以常绿阔叶林、阔叶林为主,灌丛以落叶灌木林为主,主要分布在横断山区及喜马拉雅山南坡等山区;草地以草原为主,广泛分布在青藏高原东南、川西北高原等地;耕地以旱地为主,主要分布在四川盆地、广西丘陵以及云贵高原等平坦地区,这些区域人口稠密,也是人工表面的主要分布区;湿地以草本湿地和湖泊为主,主要分布在三江源、若尔盖高原以及藏北和滇中高原;裸露地主要分布在青藏高原,以稀疏草地、裸土/岩及冰川/永久积雪为主。

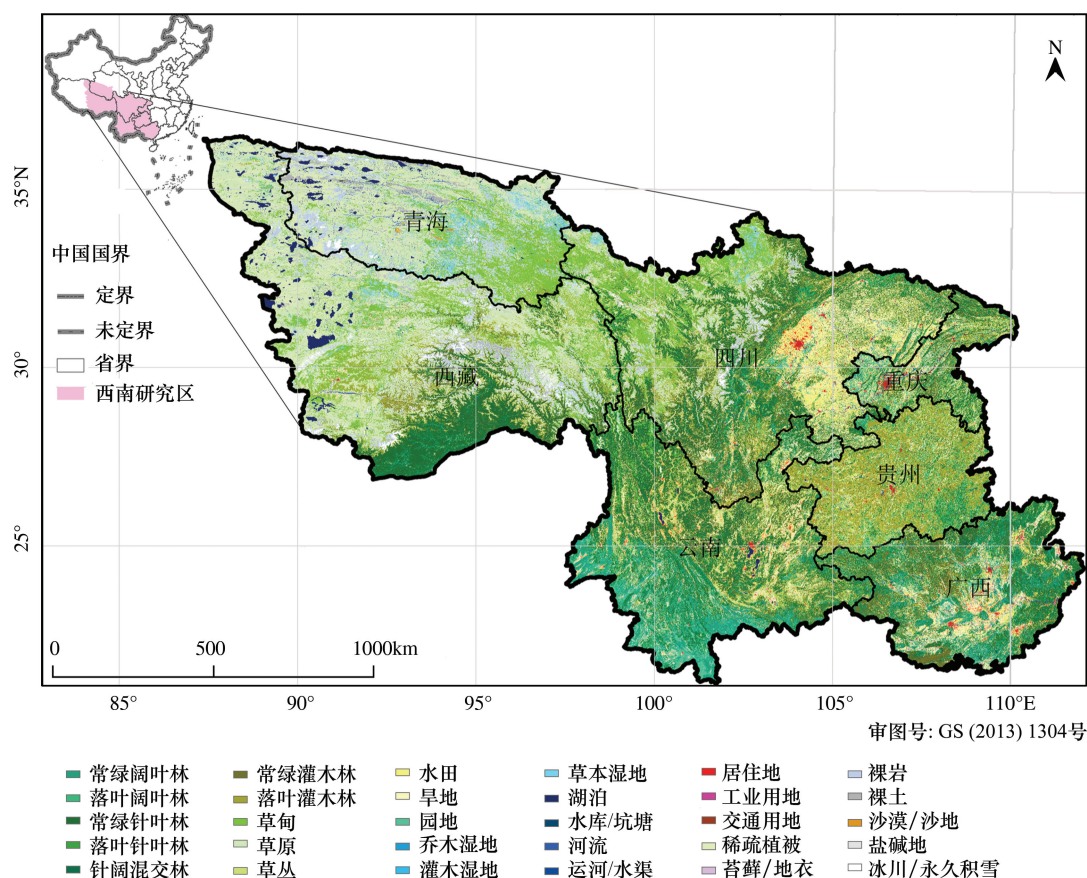


图1 2010年西南地区土地覆被分布图^[10]

Fig.1 Distribution of Land Cover for 2010 in the Study Area^[10]

2.2 西南地区土地覆被类型变化

1990—2010年,森林、湿地和人工表面增加,其中人工表面增幅最大,比1990年增加了48.57%;灌丛、耕地和裸露地减少;草地面积变化不大(图2)。变化的区域主要集中在:1)三江源及青藏高原高寒草甸区;2)川渝城市圈、昆明、贵阳、南宁及拉萨;3)云南南部;4)汶川地震灾区;5)三峡库区及长江沿岸;6)云贵高原、川渝山地丘陵等生态建设重点区(图3)。

1990s和2000s土地覆被变化趋势及幅度差异较大。前10年,西南地区共 $1245.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 发生了土地覆被类型变化。其中森林的转入面积为 $323.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要来自灌丛(48.37%)和耕地(33.07%);灌丛比2000年减少 $22.70 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要与森林、草地相互转换;草地略有减少($6.39 \times 10^4 \text{ hm}^2$),主要与灌丛、裸露地相互转换;耕地转出 $227.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中转换为森林、灌丛和草地的面积分别占47.09%、21.57%和16.52%;湿地的转入面积为 $45.42 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要来自裸露地(33.07%)、草地(27.62%)和耕地(21.52%);人工表面增加主要来源于耕地(76.44%);裸露地比2000年减少 $9.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要是与草地和湿地的相互转换(表2)。

后10年,西南地区土地覆被类型发生变化的区域共计 $1491.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$,与前10年相比,变化幅度明显

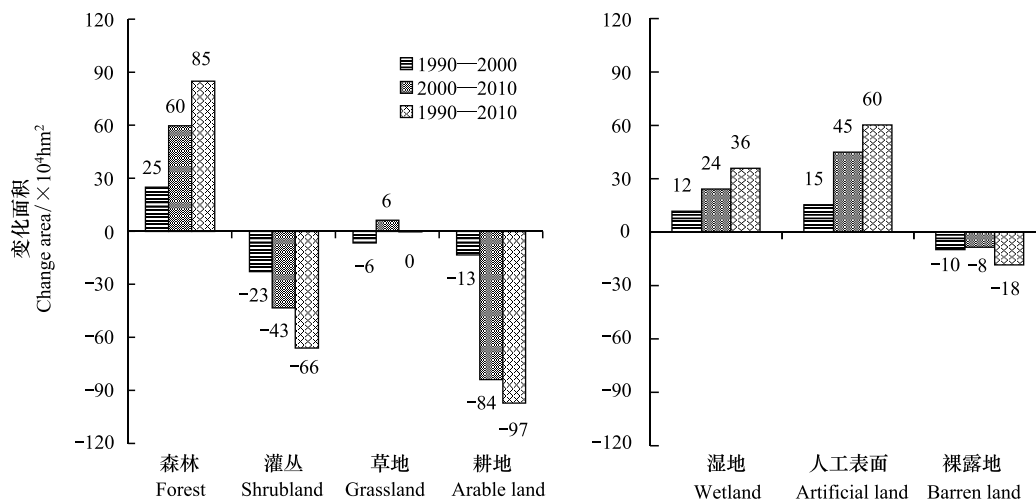
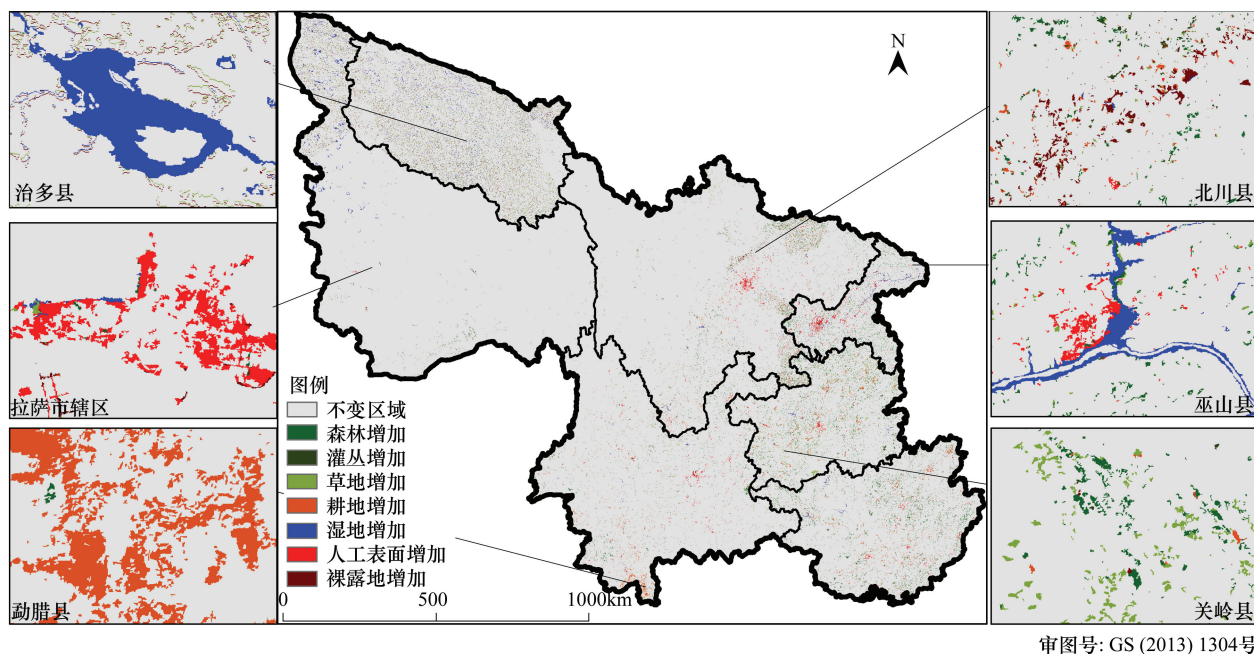


图 2 1990—2000、2000—2010、1990—2010 年西南地区土地覆被面积变化

Fig.2 Area Change of Land Cover Types in Southwestern China from 1990 to 2010



审图号: GS (2013) 1304号

图 3 1990—2010 年西南地区土地覆被变化

Fig.3 Change of Land Cover in Southwestern China from 1990 to 2010

增大。森林的转入面积为 $357.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 耕地 (42.96%) 为主要来源; 灌丛转出面积为 $336.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中转化为耕地的面积占 20.56%; 草地的转入 ($338.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 和转出面积 ($331.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 相似; 耕地大幅减少, 主要转出为林草类型, 其次为人工表面占用; 湿地持续增加, 草地 (38.35%) 和裸露地 (30.61%) 为主要来源; 人工表面快速扩张, 主要来源于耕地 (74.69%); 裸露地减少, 其中转化为草地和湿地的面积共占 93.79% (表 3)。

2.3 基于植被覆盖度的土地覆被变化分析

2.3.1 森林植被覆盖度及其变化

2000 年和 2010 年西南地区年最大植被覆盖度 ($FVC_{\max}$) 大于 80% 的森林比例分别为 83.01% 和 88.22% (表 4); $FVC_{\max} < 80\%$ 的森林面积比例较小, 主要分布在横断山区、川西高原及汶川地震灾区 (图 4a)。

表 2 1990 年到 2000 年西南地区土地覆被转移矩阵($\times 10^4 \text{ hm}^2$)

Table 2 The Transfer Matrix of Land Cover from 1990 to 2000

1990 年	2000 年							1990 年合计 Total in 1990
	森林	灌丛	草地	耕地	湿地	人工表面	裸露地	
	Forest	Shrubland	Grassland	Arable land	Wetland	Artificial land	Barren land	
森林 Forest	5818.99	136.71	47.59	105.61	4.36	2.57	1.37	6117.20
灌丛 Shrubland	156.38	2787.81	96.76	52.92	3.23	1.96	5.24	3104.31
草地 Grassland	52.94	98.78	4873.48	36.89	12.55	1.53	64.35	5140.51
耕地 Arable land	106.93	48.98	37.52	3141.00	9.77	22.33	1.53	3368.06
湿地 Wetland	3.01	2.16	13.53	7.05	579.98	0.66	7.21	613.59
人工表面 Artificial land	1.64	0.99	1.06	9.51	0.49	110.37	0.10	124.17
裸露地 Barren land	2.41	6.18	64.18	1.76	15.02	0.16	2766.93	2856.65
2000 年合计 Total in 2000	6142.30	3081.61	5134.12	3354.74	625.40	139.59	2846.74	21324.49

表 3 2000 年到 2010 年西南地区土地覆被转移矩阵($\times 10^4 \text{ hm}^2$)

Table 3 The Transfer Matrix of Land Cover from 2000 to 2010

2000 年	2010 年							2000 年合计 Total in 2000
	森林	灌丛	草地	耕地	湿地	人工表面	裸露地	
	Forest	Shrubland	Grassland	Arable land	Wetland	Artificial land	Barren land	
森林 Forest	5845.06	136.14	41.91	105.80	5.53	4.99	2.87	6142.30
灌丛 Shrubland	143.70	2745.53	104.33	70.10	4.79	6.09	7.07	3081.61
草地 Grassland	53.01	98.14	4802.24	37.04	30.69	2.86	110.13	5134.12
耕地 Arable land	153.43	49.45	53.46	3040.28	12.25	44.20	1.67	3354.74
湿地 Wetland	3.89	2.45	26.60	7.00	571.57	0.74	13.15	625.40
人工表面 Artificial land	1.68	0.86	1.26	9.47	0.86	125.30	0.16	139.59
裸露地 Barren land	1.40	5.82	110.68	1.39	23.88	0.30	2703.27	2846.74
2010 年合计 Total in 2010	6202.17	3038.39	5140.48	3271.08	649.56	184.48	2838.33	21324.49

表 4 2000 年和 2010 年西南地区不同等级植被覆盖度

Table 4 Statistics of fractional vegetation cover of southwestern China in 2000 and 2010

年最大植被 覆盖度/% $FVC_{\max}$	森林 Forest				灌丛 Shrub				草地			
	2000 年		2010 年		2000 年		2010 年		2000 年		2010 年	
	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%	面积/ (10^4 hm^2)	比例/%
<40	6.5	0.11	6.1	0.10	49.7	1.61	47.4	1.56	1308.3	25.48	1183.8	23.03
40—60	39.9	0.65	26.4	0.43	142.6	4.63	134.1	4.41	847.9	16.52	850.1	16.54
60—80	997.1	16.23	698.1	11.26	853.2	27.69	719.1	23.67	1562.2	30.43	1516.3	29.50
80—100	5098.5	83.01	5471.3	88.22	2036	66.07	2137.7	70.36	1415.6	27.57	1590.2	30.94

2000—2010 年西南地区 26.54% 的森林植被覆盖度呈增加趋势,主要集中在云南北部、贵州和重庆等退耕还林重点区;汶川地震重灾区、横断山区、云南南部等地区的森林植被覆盖度有所下降,森林退化的面积比例达 23.91% (图 4b)。

2.3.2 灌丛植被覆盖度及其变化

西南地区是我国灌丛的主要分布区, $FVC_{\max} > 80\%$ 的灌丛比例由 2000 年的 66.07% 增加到 2010 年的 70.36%,主要分布在贵州、横断山等山区; $FVC_{\max} < 40\%$ 的灌丛在 2000 年和 2010 年的面积比例都不足 2%,主要分布在青藏高原、川西高原等地(图 5a)。

2000—2010 年西南地区 32.53% 的灌丛植被覆盖度呈增加趋势,主要集中在云贵高原石漠化治理区以及四川南部;14.23% 的灌丛植被覆盖度呈下降趋势,主要分布在青藏高原东部、汶川地震灾区等地区(图 5b)。

2.3.3 草地植被覆盖度及其变化

西南地区草地分布广泛,相对森林和灌丛,草地植被覆盖度较低。 $FVC_{\max} > 80\%$ 的草地面积比例由

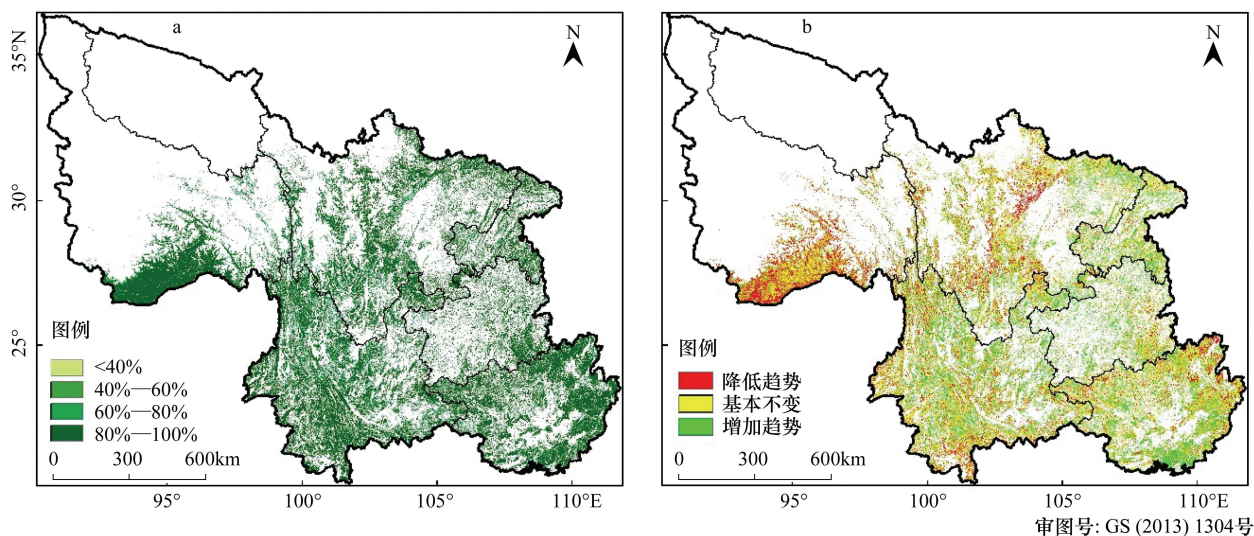


图 4 2010 年西南地区森林年最大植被覆盖度(a)及 2000—2010 年 FVC_{max} 线性回归斜率分布(b)图

Fig.4 Fractional vegetation cover of forests for 2010 (a) and slope of linear regression of FVC_{max} from 2000 to 2010 (b)

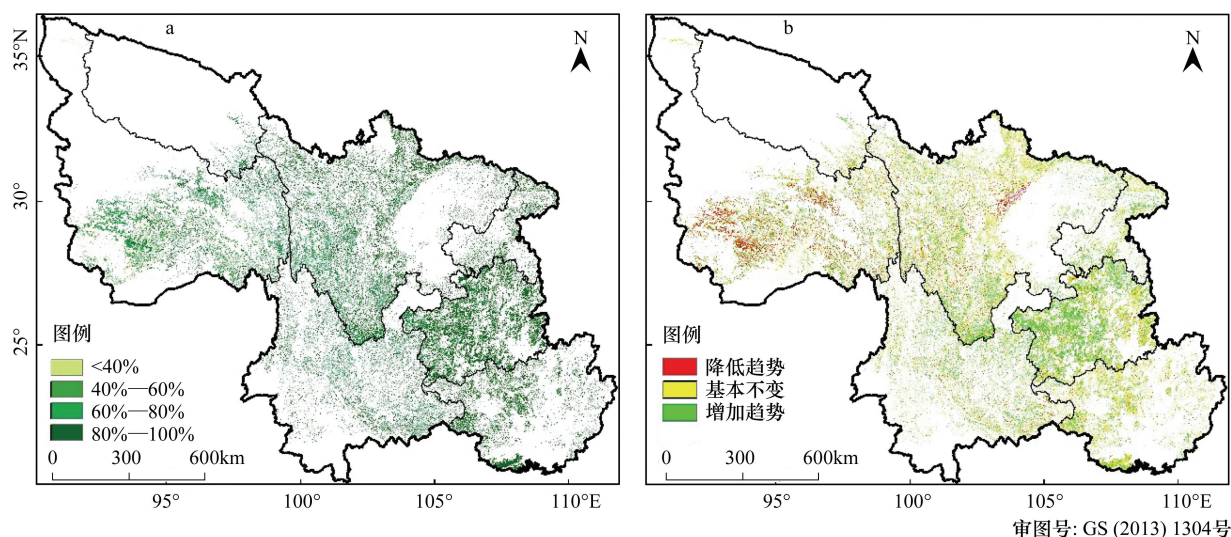


图 5 2010 年西南地区灌木年最大植被覆盖度(a)及 2000—2010 年 FVC_{max} 线性回归斜率分布(b)图

Fig.5 Fractional vegetation cover of shrubs for 2010 (a) and slope of linear regression of FVC_{max} from 2000 to 2010 (b)

2000 年的 27.57% 提高到 2010 年的 30.94%, 主要分布在青海东南部、横断山北部、川西北及若尔盖高原; $FVC_{max} < 40\%$ 的草地比例由 2000 年的 25.48% 降低到 2010 年的 23.03%, 主要分布在西藏那曲、山南地区及青海西南部(图 6a)。

2000—2010 年, 西南地区 28.87% 的草地植被覆盖度呈增加趋势, 其中青海南部草地明显改善; 16.14% 的草地植被覆盖度呈下降趋势, 主要分布在川西高原和青藏高原东南部(图 6b)。

3 讨论

3.1 西南地区土地覆被变化的驱动因素

土地覆被变化与人口、经济、政策等社会经济因素密切相关。从中国统计年鉴^[26]中得到, 1990—2010 年西南地区 7 省市区的总人口由 22734 万增至 24484.27 万; 城镇人口比重由 1990 年的 13.51% 增至 2011 年的 41.34%; 农村人口不断减少, 但农村人均住房面积逐年增加(从 1990 年 16.76 m² 到 2000 年 23.06 m² 到 2011 年

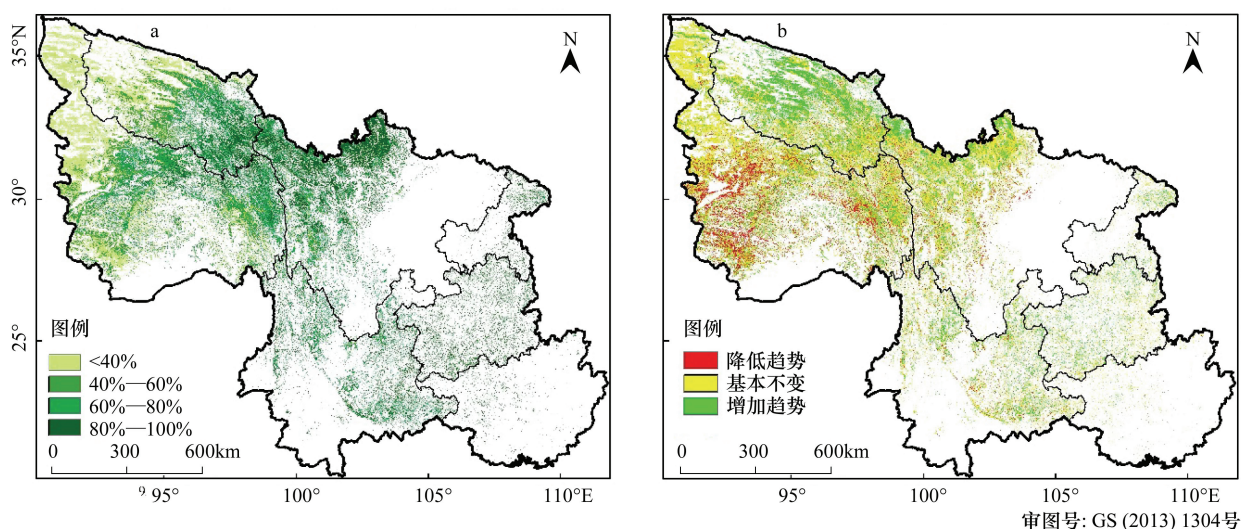


图6 2010年西南地区草地年最大植被覆盖度(a)及2000—2010年FVC_{max}线性回归斜率分布(b)图

Fig.6 Fractional vegetation cover of grasses for 2010 (a) and the slope of linear regression of FVC_{max} from 2000 to 2010(b)

32.56 m²,图7a)。1990—2010年7省市区的生产总值呈指数增长(由2280.69亿元增至48365.14亿元),铁路公路总长度增加了2.38倍,与此同时西南地区人工表面增加 60.31×10^4 hm²,其中后10年增幅较大(图7b),说明人口增长、经济发展及城镇化是导致人工表面快速扩张的重要原因,与刘纪远等的研究结论相同^[27]。耕地面积在1990—2010年间减少 96.98×10^4 hm²,但随着机械化肥的使用和灌溉技术的提高,粮食产量前10年迅速增加,后10年波动变化,水果产量大幅提高(图7c,图7d)。近20 a来7省市区的水产品产量

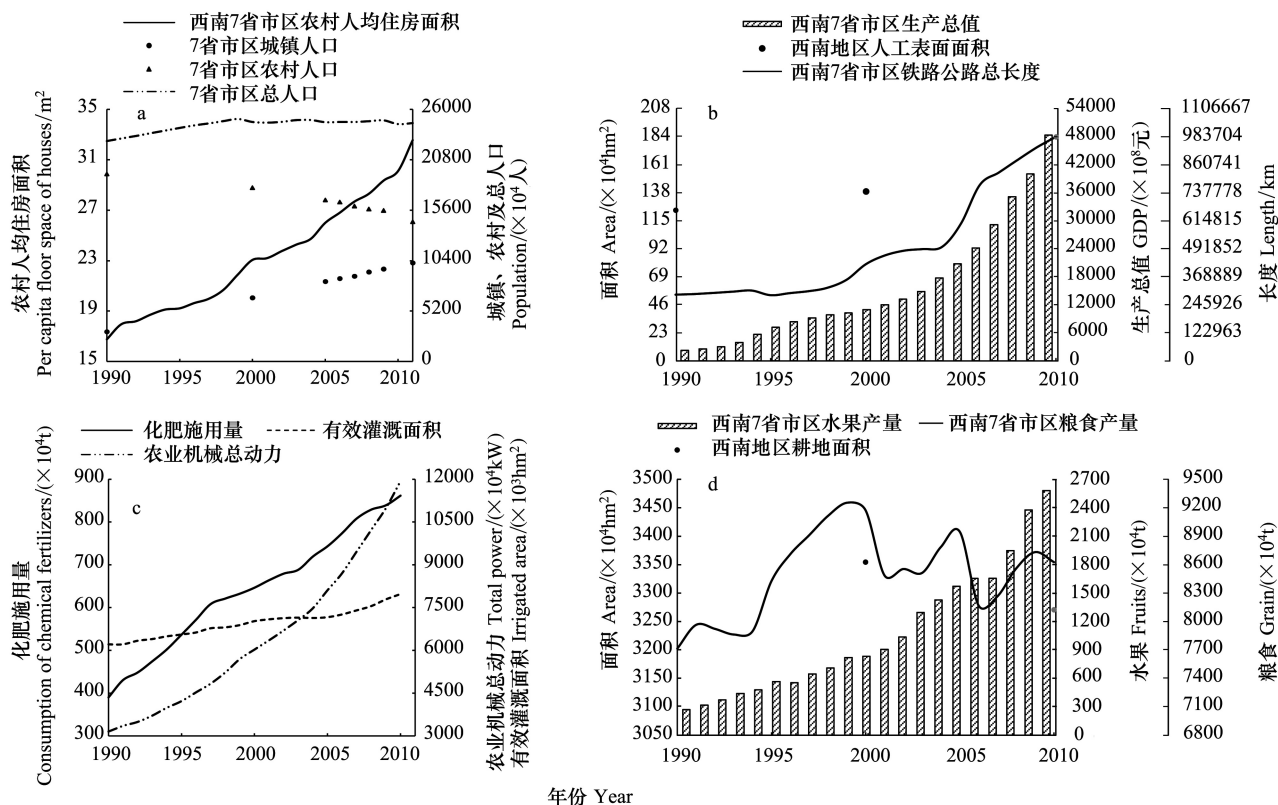


图7 西南地区近20 a来社会经济因素变化

Fig.7 Changing trends of socioeconomic factors driving land cover changes in southwestern China

从 62.81 万 t 增至 441.78 万 t, 水库增加 1728 座, 1990s 湿地增加 $11.81 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 2000s 增加 $24.16 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (图 2), 与 Niu 等^[28] 2000s 湿地面积比 1990s 增幅更大的研究结果一致。

从 20 世纪 80 年代后期, 国家先后实施了《森林法》、《草原法》、长江中上游防护林体系工程, 并确定一系列自然保护区。21 世纪以来, 天保工程、退耕还林还草工程全面启动, 封山育林、石漠化治理、“森林重庆”等生态工程相继实施(图 8), 西南地区森林、灌丛和草地的面积及植被覆盖度总体得到提高(2000—2010 年 $FVC_{\max}$ 呈增加趋势的森林、灌丛和草地分别占 26.54%、32.53% 和 28.87%), 与张远东等^[29] 的研究结果相符。2000 年三江源自然保护区建立以来, 三江源湿地生态系统、高寒草甸等得到有效保护, 湿地和草地面积增加, 裸露地减少(图 3), 与赵志平、邵全琴等^[30-31] 的研究结果一致。重大水利工程建设和自然灾害也是影响土地覆被变化的重要因素, 如三峡大坝蓄水导致湿地增加, 库区移民使人工表面的位置和范围明显扩展(图 3), 与邵景安等^[14] 研究结果相同。2008 年汶川地震造成大量森林、草地和耕地损毁(图 3), 灾区土地覆被发生了巨

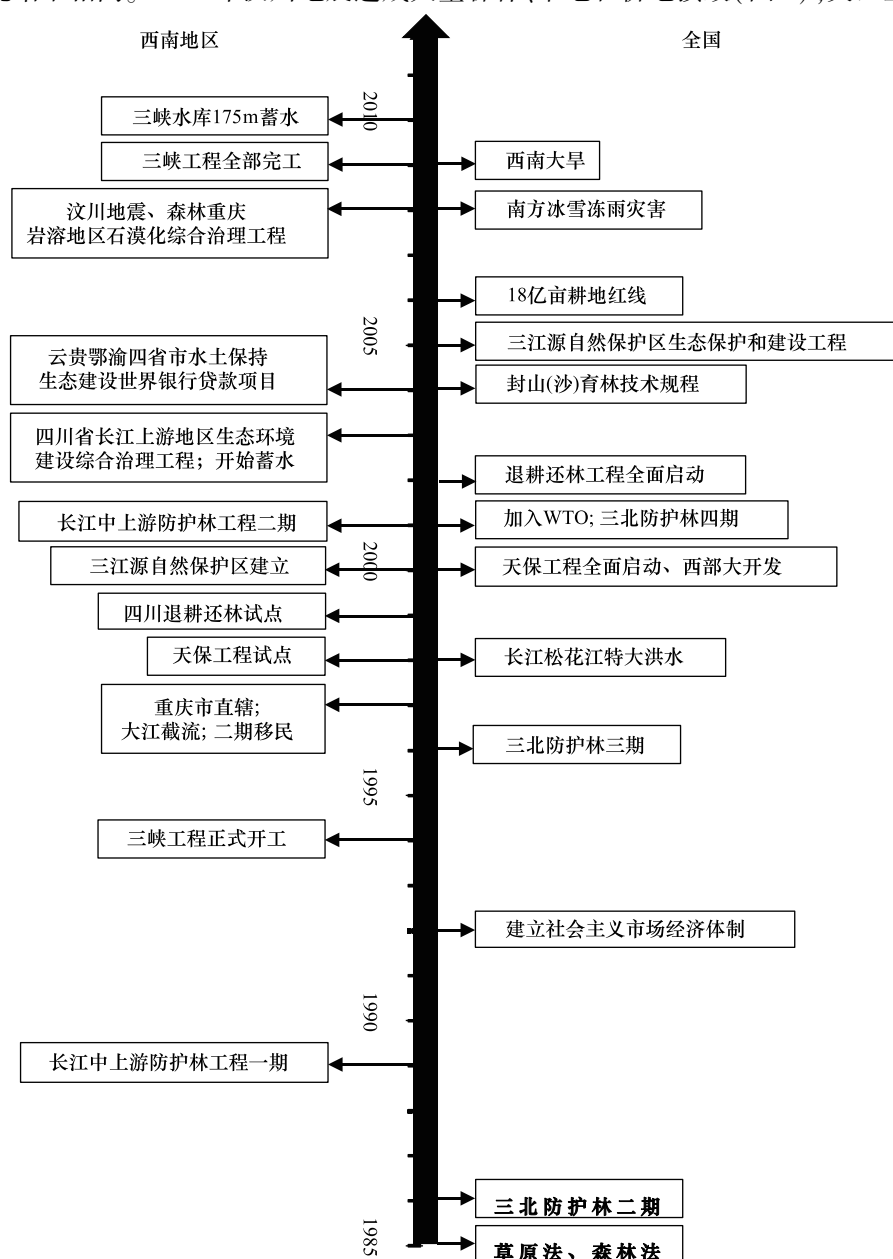


图 8 1990—2010 年间影响西南地区土地覆被变化的政策、工程及重大事件

Fig.8 Key policies, projects and events affecting southwestern China's land cover changes during 1990—2010

大变化^[32-33]。2009 年西南大旱造成石漠化地区以乔木为主的森林生态系统退化为草灌生态系统^[34]。

气候变化也会对土地覆被变化产生一定影响,如青藏高原湖泊面积增加,主要原因是气候变暖导致的冰川和积雪融化^[35];干旱区裸土、草地与灌丛之间的相互转换,很大程度上是由降水量变化引起的^[36]。此外,气候变暖对西藏高山草甸生长产生不利影响^[37];干旱化致使三江源区植被发育迟缓,植被趋于退化^[38]。

因此,西南地区土地覆被变化是人类活动与自然环境共同作用的结果,国家生态保护政策与区域社会经济发展是近 20 年来西南地区土地覆被变化的主要驱动力。

3.2 西南地区土地覆被变化对生态环境的影响

森林面积增加和植被覆盖度提高对维持碳收支平衡、保持水土、净化空气和保护生物多样性具有重要意义。1990s 西南地区森林增加 $25.09 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 2000s 增加 $59.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其变化研究可以支持碳收支评估及生态保护与恢复评价。此外,伴随区域经济的发展,重庆、四川等地大量优质耕地被人工表面侵占(图 3),加之退耕还林的作用,西南地区耕地面积大幅减少,同时在耕地集约利用过程中,粮食产量前 10 年迅速提高,后 10 年呈现增产疲软乃至减产的态势(图 7c, 图 7d),粮食安全保障逐步由耕地集约化转向耕地面积的保护,这也为坚守 18 亿亩耕地红线的政策提供了数据支撑和科学依据。

4 结论

通过分析西南地区 3 期土地覆被变化及 2000—2010 年的植被覆盖度变化趋势,得到主要结论如下:

(1) 2010 年西南地区土地覆被类型以森林和草地为主,分别占总面积的 29.08% 和 24.11%;其次是耕地(15.34%)和灌丛(14.25%);裸露地占总面积的 13.31%;湿地和人工表面共占 3.91%。

(2) 1990—2010 年西南地区森林、湿地、和人工表面分别增加 1.39%、5.86% 和 48.57%,灌丛、耕地和裸露地分别减少 2.12%、2.88% 和 0.64%,变化的区域主要集中在生态建设重点区、城市圈、地震灾区、三峡库区、三江源区、青藏高原东南部和云南南部。

(3) 2010 年西南地区 $FVC_{\max} > 80\%$ 的森林、灌丛和草地的比例比 2000 年分别提高了 5.21%、4.29% 和 3.37%。2000—2010 年西南地区森林、灌丛和草地植被覆盖度呈增加趋势的面积分别占 26.54%、32.53% 和 28.87%,但汶川地震重灾区、横断山区、云南南部等地的森林及灌丛植被覆盖度下降,青藏高原东南部、川西高原等地区草地退化。

(4) 近 20 年来,尽管气候变化对西南地区的土地覆被和植被覆盖度有一定影响,但国家生态保护政策与区域社会经济发展是导致其变化及时空差异的主要原因。

本文从整体上分析了近 20 年来西南地区土地覆被格局及变化,在今后的研究中还可以综合气温、降水等因素,探讨气候对西南地区土地覆被格局的影响,结合重大生态工程分布,进一步分析生态保护措施在土地覆被及自然植被恢复方面的成效,为西南地区经济发展与生态环境保护协调发展提出合理的建议。

致谢:成都山地灾害与环境研究所、成都理工大学、贵州师范大学、武汉测量与地球物理研究所及南昌大学参与土地覆被监测,特此致谢。

参考文献(References):

- [1] Mooney M A, Duraipapp A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(S1): 3665-3672.
- [2] Neumann K, Herold M, Hartley A, Schmullius C. Comparative assessment of CORINE2 000 and GLC2 000: Spatial analysis of land cover data for Europe. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9(4): 425-437.
- [3] Feranec J, Jaffrain G, Soukup T, Hazeu G. Determining changes and flows in European landscapes 1990-2000 using CORINE land cover data. *Applied Geography*, 2010, 30(1): 19-35.
- [4] Loveland T R, Belward A S. The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: first results. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(15): 3289-3295.
- [5] Xian G, Homer C, Fry J. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change

- detection methods. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(6): 1133-1147.
- [6] Herold M, Mayaux P, Woodcock C E, Baccini A, Schmullius C. Some challenges in global land cover mapping: an assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2538-2556.
- [7] Latham J S, He C C, Alinovi L, DiGregorio A, Kalensky Z. FAO methodologies for land cover classification and mapping // Walsh S J, Crews-Meyer K A, eds. *Linking People, Place, and Policy*. New York: Springer, 2002: 283-316.
- [8] Chen J, Chen J, Liao A P, Cao X, Chen L J, Chen X H, He C Y, Han G, Peng S, Lu M, Zhang W W, Tong X H, Mills J. Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 103: 7-27.
- [9] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, Xu X L, Qin Y W, Ning J, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Wu S X, Shi X Z, Jiang N, Yu D S, Pan X Z, Chi W F. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [10] 吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 王宗明, 于信芳, 李爱农, 马荣华, 黄进良, 陈劲松, 常存, 刘成林, 张磊, 李晓松, 曾源, 包安明. 21 世纪前十年的中国土地覆盖变化. 第四纪研究, 2014, 34(4): 723-731.
- [11] 吴丹, 邵全琴. 近 30 年来长江源区土地覆被变化特征分析. 地球信息科学学报, 2014, 16(1): 61-69.
- [12] 李正, 王军, 白中科, 郭以强, 邱杰. 喀斯特地区土地利用变化研究——以贵州省为例. 地域研究与开发, 2011, 30(2): 143-148.
- [13] 邵景安, 张仕超, 魏朝富. 基于大型水利工程建设阶段的三峡库区土地利用变化遥感分析. 地理研究, 2013, 32(12): 2189-2203.
- [14] 伍星, 沈珍瑜, 刘瑞民. 长江上游土地利用/覆被变化及区域分异研究. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(6): 819-829.
- [15] 何慧娟, 史学丽. 1990—2010 年中国土地覆盖时空变化特征. 地球信息科学学报, 2015, 17(11): 1323-1332.
- [16] 董谢琼, 段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势. 气象科学, 1998, 18(3): 239-247.
- [17] 贾明明, 任春颖, 刘殿伟, 王宗明, 汤旭光, 董张玉. 基于环境星与 MODIS 时序数据的面向对象森林植被分类. 生态学报, 2014, 34(24): 7167-7174.
- [18] 雷光斌, 李爱农, 边金虎, 张正健, 张伟, 吴炳方. 基于阈值法的山区森林常绿、落叶特征遥感自动识别方法——以贡嘎山地区为例. 生态学报, 2014, 34(24): 7210-7221.
- [19] Zhang L, Li X S, Yuan Q Z, Liu Y. Object-based approach to national land cover mapping using HJ satellite imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, 8(1): 083686.
- [20] 宋翔, 颜长珍. 基于知识库的像元光谱向量相似度土地覆盖变化检测方法. 生态学报, 2014, 34(24): 7175-7180.
- [21] 张磊, 吴炳方, 李晓松, 邢强. 基于碳收支的中国土地覆被分类系统. 生态学报, 2014, 34(24): 7158-7166.
- [22] 程红芳, 章文波, 陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展. 国土资源遥感, 2008, (1): 13-18.
- [23] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(3): 241-252.
- [24] 吴云, 曾源, 吴炳方, 李晓松, 武文波. 基于 MODIS 数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1712-1718.
- [25] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. 资源科学, 2004, 26(4): 153-159.
- [26] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. [2016-02-28]. <http://tongji.cnki.net/kns55/Nav/HomePage.aspx?id=N2014120083&name=YINFN&floor=1>.
- [27] 刘纪远, 战金艳, 邓祥征. 经济改革背景下中国城市用地扩展的时空格局及其驱动因素分析. *AMBIO—人类环境杂志*, 2005, 34(6): 444-449.
- [28] Niu Z G, Zhang H Y, Wang X W, Yao W B, Zhou D M, Zhao K Y, Zhao H, Li N N, Huang H B, Li C C, Yang J, Liu C X, Liu S, Wang L, Li Z, Yang Z Z, Qiao F, Zheng Y M, Chen Y L, Sheng Y W, Gao X H, Zhu W H, Wang W Q, Wang H, Weng Y L, Zhuang D F, Liu J Y, Luo Z C, Cheng X, Guo Z Q, Gong P. Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(22): 2813-2823.
- [29] 张远东, 张笑鹤, 刘世荣. 西南地区不同植被类型归一化植被指数与气候因子的相关分析. 应用生态学报, 2011, 22(2): 323-330.
- [30] 赵志平, 刘纪远, 邵全琴. 三江源自然保护区土地覆被变化特征分析. 地理科学, 2010, 30(3): 415-420.
- [31] 邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 黄麟, 曹巍, 徐新良, 葛劲松, 吴丹, 李志强, 巩国丽, 聂学敏, 贺添, 王立亚, 祁龙飞, 李其江, 陈卓奇, 张更权, 张良侠, 杨永顺, 杨帆, 周万福, 刘璐璐, 祁永刚, 赵国松, 李愈哲. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20.
- [32] 欧阳志云, 徐卫华, 王学志, 王文杰, 董仁才, 郑华, 李迪华, 李智琦, 宏锋, 庄长伟. 汶川大地震对生态系统的影响. 生态学报, 2008, 28(12): 5801-5809.
- [33] 李强子, 张飞飞, 杜鑫, 吴炳方, 张磊, 魏彦昌, 蒙继华. 汶川地震粮食受损遥感快速估算与分析. 遥感学报, 2009, 13(5): 928-939.
- [34] 王维, 王文杰, 李俊生, 吴昊, 许超, 刘孝富, 刘铤. 基于归一化差值植被指数的极端干旱气象对西南地区生态系统影响遥感分析. 环境科学研究, 2010, 23(12): 1447-1455.
- [35] 万玮, 肖鹏峰, 冯学智, 李晖, 马荣华, 段洪涛, 赵利民. 卫星遥感监测近 30 年来青藏高原湖泊变化. 科学通报, 2014, 59(8): 701-714.
- [36] 张懿铨, 王兆锋, 王秀红, 丁明军, 于伯华, 郑度. 青藏高原关键区域土地覆被变化及生态建设反思. 自然杂志, 2013, 35(3): 187-92.
- [37] Zhang L, Guo H D, Ji L, Lei L P, Wang C Z, Yan D M, Li B, Li J. Vegetation greenness trend (2000 to 2009) and the climate controls in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2013, 7(1): 073572.
- [38] 郭冻, 杜世宏, 薛达元, 蔡亮. 长江源区土地覆盖变化与草地退化格局的时空分异. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1219-225.