

基于“三生”视角的中国林地分类提取

于竹筱^{1,2}, 张红旗¹, 许尔琪¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 林地具有多重功能, 在生态优先区和生产生活区承担不同功能。传统林地分类难以兼顾区域主导功能和开发保护定位, 且对不同功能区内林地的时空特征尚缺乏定量刻画。建立基于“生产—生活—生态”视角的林地分类, 利用土地利用图、功能区划、植被物候特征和统计数据, 使用专题图叠加、遥感识别和决策树分类技术, 提取林地各类型。结果表明: 2018年中国林地遥感面积为228.18万km², 1990—2018年生态优先区域林地减少2.49万km², 2000年后降速变缓; 防风固沙、水源涵养和土壤保持区等核心生态功能区内局部林地增加, 主要位于内蒙古部分草原和沙区、河北西北部和黄土高原; 东北地区、西南喀斯特区和新疆北部的林地转换为耕地和草地, 生物多样性保护区内林地降幅最小; 用材林地在2010年后减少变缓, 园地扩大主要来自东南地区的耕地和用材林, 城市林地在广东、浙江、江苏和北京迅速增加。研究表明, 发挥核心生态功能的林地在生态修复工程范围和自然保护区内局部恢复, 但剧烈的人为扰动仍导致其面积整体降幅较大。建议分区域差异化恢复生态林地、提升主导生态价值。

关键词: “三生”用地; 林地分类; 时空分异; 中国

林地具有多重功能, 生态上可以保持水土和防固风沙^[1,2], 生产上提供木材和林产品^[3], 生活上能满足人类休闲和就业^[4]。由于区域主导功能的差异^[5], 在生态优先区域和生产生活区, 林地承担不同的功能。我国人口增长迅速, 农业和建设用地挤占林地, 同时, 系列林业生态工程和森林恢复政策实施^[6]导致林地时空变化剧烈。因此, 从“生产—生活—生态”区域定位的角度, 解析林地在各功能区的时空变化特征, 可以明确林地已改善、有待保护和快速发展区域, 为差异化林地恢复与管理提供科学依据。

在早期资源普查背景下, 传统林地分类研究多从树种、覆盖度或用途等角度^[7], 能直观反映林地的自然性状和经济属性。林地植被学分类系统^[8]以植被型、群系和群丛为基本分类单位, 根据形态、结构和水热条件划分, 如针叶林植被型组包括5个植被型; 《森林资源规划设计调查主要技术规定》^[9]中森林分为有林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地、苗圃地、无立木林地、宜林地和辅助生产林地, 主要用于建立包括数量、质量和分布在内的森林资源调查档案; 《土地利用现状分类》^[10]林地包括乔木林地、竹林地、红树林地、森林沼泽、灌木林地、灌丛沼泽和其他林地, 用于土地利用类型调查和城乡规划; 为了对森林进行培育和合理利用, 《中华人民共和国森林法》中林种可分为防护林地、特种用途林地、用材林地、经济林地和薪炭林地。上述分类体系有利于摸清林地资

收稿日期: 2020-05-06; 修订日期: 2020-08-11

基金项目: 中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA19040305); 2018年广东高校省级重点平台和重大科研项目(2018KTSCX216)

作者简介: 于竹筱(1993-), 女, 山东威海人, 博士研究生, 研究方向为土地利用变化。E-mail: yzxiao111@126.com

通讯作者: 许尔琪(1986-), 男, 广东汕头人, 博士, 副研究员, 研究方向为土地系统空间格局及生态环境效应。

E-mail: xueq@igsnrr.ac.cn

源本底,进而开展保护和管理,但缺乏对其生态服务的探讨。

近年来,在保护生态背景下,林地的环境效益和生态影响进入人们视野,大量研究从林地生态系统^[11,12]、生态功能^[13-15]和生态空间^[16-18]的角度优化林地分类。唐立娜等^[11]根据气候、地形、植被和土壤特征,构建林地生态分类系统,从景观尺度指导森林经营;Deng等^[13]根据植物生理性状与生态功能的关系,对热带植物进行功能类群划分,并分析环境因子影响下的类群分布;Kovac等^[15]构建有关面积、功能、结构和前景的40个指标评估森林生境类型;还有学者认为我国生态空间内发挥重要生态功能的用地类型如森林在减少,区域生态功能削弱^[16],森林生态功能评估应强调在当地的背景和价值^[17]。可见,已有林地分类考虑了生态价值但难以反映区位差异,因此,结合区域主导功能和开发保护定位,分析林地差异化时空特征,是亟待解决的问题。此外,环境脆弱地区生态工程已广泛开展^[19],城乡范围内园地和城市绿地迅速发展^[20,21],学者们针对上述地区进行局部动态监测,但全国范围、长时间序列的变化尚未探明。

目前,我国发展强调生产、生活、生态空间统筹,并实施主体功能区战略。由于林地分布广泛且类型复杂,各区域内生态地位不同,在此背景下,基于“生产—生活—生态”功能区定位,从区域主导功能的角度划分林地类型,具有重要意义,有助于明确生态优先区、园林生产区和城市生活区内林地的时空分异规律。

因此,本文基于“生产—生活—生态”视角,分析我国林地长时间变化特征、转折点及区域差异。从区域主导功能的角度建立林地分类体系,划定核心生态功能区和生产生活区,利用土地利用图、生态功能区划、统计年鉴、MODIS NDVI影像和农业物候数据,提取1990—2018年各功能区内的林地分布,并结合林业工程和政策的影响,探究林地现状和变化趋势,结果可为林地差异化恢复和多功能统筹提供数据支撑。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 基于“三生”视角的林地分类体系

由于资源环境基础和社会经济条件的差异,地域主导功能不同,国土空间可以划分为生产空间、生活空间和生态空间,即“三生空间”^[5,22]。根据主导生态功能的分异格局,将生态优先区域划分为各类型生态功能区。核心生态功能区具有维护国家生态安全的重要地位,而其他生态空间则承担一般重要的生态功能。此外,“三生”功能相互影响,在空间上彼此重叠,生态—生产空间可以改善生态环境且兼具生产功能,生产—生活空间多位于城乡过渡地带的农林经营地区,生活空间位于城镇内部人类聚集区。林地能同时提供不同的输出,满足多种需求,生态上可以维持生态环境和保持生态平衡;生产功能体现在生产木材和林产品;生活上满足就业和休闲。从“生产—生活—生态”的角度对林地进行分类,应根据林地所在功能区的差异,考虑其承担的主要功能和次要功能的组合。

基于“三生”视角进行林地分类(表1),一级分类包括生态林地、生态生产林地、生产生活林地和生活林地。生态林地划分为核心生态林地和一般生态林地,核心生态林地位于重点生态功能区。水源涵养区林地分布在河流与湖泊的主要水源源头区,林地在土壤保持区可以减少土壤侵蚀和水土流失,林地在防风固沙区能预防土地沙化和沙尘暴,洪水调蓄区林地分布在储存水量和缓滞水流的湖泊沼泽,河岸防护区林地承担保护河岸和稳定河道功能,生物多样性保护区林地分布在动植物集中区。一般生态林地位于重点生态功能区以外的生态空间,其地位弱于核心生态林地,但仍对生态系统起到调节作用。

生态生产林地即用材林地，主要功能是改善生态环境，次要功能是生产木材。生产生活林地即园地，位于农林经营地区，包括果园、茶园和其他园地（桑园和热带作物），生产功能较强，也具备一定的生活功能，如提供就业机会和休憩环境。生活林地即城市林地，位于城镇范围内，主要提供娱乐、景观和绿化等生活功能。

1.2 数据来源

本文使用的1990年、2000年、2010年和2018年土地利用现状遥感监测数据来自中国科学院资源环境科学数据中心，为1 km×1 km栅格。全

国生态功能区划（修编版）^[23]来自环境保护部；自然保护区边界数据来自全球湿地数据库；主要河流湖泊数据集来自国家地球系统科学数据中心；林业工程空间分布图和林业科学数据集^[24]来自中国林业科学研究院，上述数据为矢量格式，用于确定核心生态功能区 and 速生丰产林区范围。城镇边界数据来自清华大学宫鹏研究组，为矢量格式，用于确定城市林地范围。DEM高程数据来自中国科学院资源环境科学数据中心，为90 m×90 m栅格；1990年AVHRR NDVI空间分布数据集来自寒区旱区科学数据中心，为8 km×8 km栅格；2000年、2010年和2018年MODIS NDVI空间分布数据集来自中国科学院资源环境科学数据中心，为1 km×1 km栅格，用于提取园地物候特征。农业生态区划边界来自国家“九五”科技攻关项目“农业资源高效利用与管理技术”，二级区作为园地提取基本单元。第二次全国土地调查（以下简称“二调”）数据来自土地调查成果共享应用服务平台，用于确定二调园地范围。统计数据、统计公报和农业普查资料来自县域统计年鉴和地方政府，统计口径为县园地面积和产量。

1.3 林地分类提取方案

根据上述分类体系，制定林地提取流程图（图1）。将历年土地利用图进行像元匹配，以林地作为数据处理范围，首先提取生态林地中核心生态林地，确定核心生态空间内林地范围；其次提取生产生活林地（园地）、生态生产林地（用材林地）和生活林地（城市林地）；最后确定一般生态林地范围。

1.3.1 生态林地中核心生态林地的提取

根据全国生态功能区划（修编版）^[23]中重要生态功能区分布、自然保护区边界数据、主要河流湖泊分布图和林业工程空间分布图（包括三北防护林工程、天然林保护工程、平原绿化工程、京津冀风沙源治理工程和沿海沿江防护林工程等）的范围，叠加专题图，划定水源涵养区、土壤保持区、防风固沙区、洪水调蓄区、河岸防护区和生物多样性保护区共6个核心生态空间范围，利用ArcGIS掩膜提取工具，在此范围内提取各年份土地利用图中的林地，最后得到核心生态林地。

1.3.2 生产生活林地的提取

统计全国各县的园地面积和产量，进行行政区划归并、单位统一和数据计算，确定重点园地区县范围。以园地面积≥80 km²且产量≥16万t为判别标准，依据来源于水果产量

表1 基于“三生”视角的林地分类体系

Table 1 Forest land classification system based on the perspective of "Production-Living-Ecology"

一级分类		二级分类
生态林地	核心生态林地	水源涵养区林地
		土壤保持区林地
		防风固沙区林地
		洪水调蓄区林地
		河岸防护区林地
		生物多样性保护区林地
		一般生态林地
生态生产林地	用材林地	
生产生活林地	园地	
生活林地	城市林地	

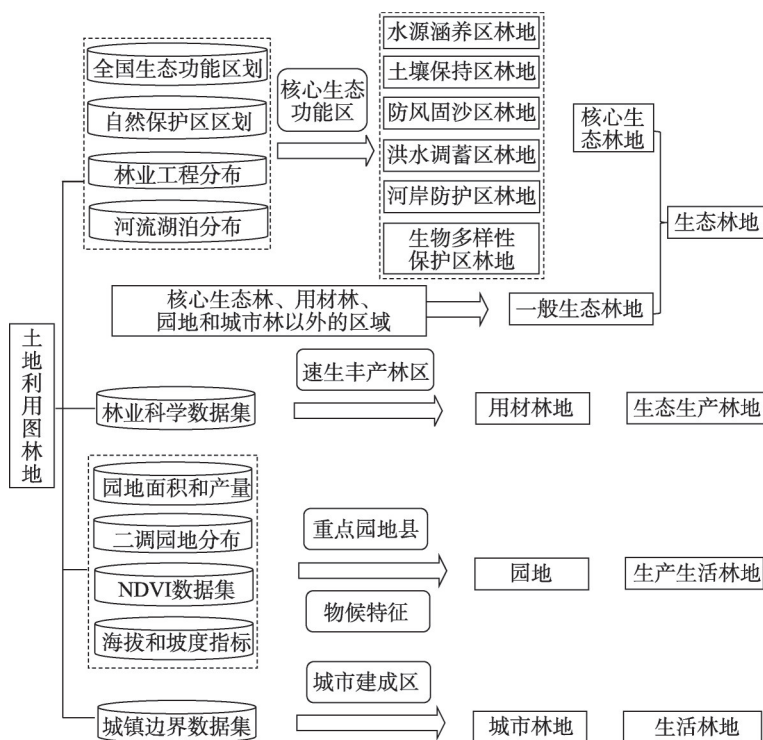


图1 基于“三生”视角的林地提取流程

Fig. 1 Flow of forest land extraction based on the perspective of "Production-Living-Ecology"

位列全国前100名的县(市)中果园面积较低的县和水果产量较低的县,并包括名优特产县,1990年、2000年、2010年和2018年重点园地县数量分别为223个、378个、562个和574个。

将历年NDVI进行重采样和像元匹配,在农业生态区划二级区内矢量化二调园地,分析二调园地NDVI在不同时相的特征,通过遥感识别和决策树分类,提取园地和其他地类的物候时序差异(表2): (1) NDVI变化速率^[25-27]。苹果、梨和柑橘的花期,果树处于生长旺季,NDVI增速大,而在凋落期NDVI降速大。(2) NDVI振幅^[28-30]。北方地区大多参考NDVI峰值期振幅,南方地区大多参考NDVI全年振幅。北方林地在生长旺季NDVI较平稳,振幅小,而园地NDVI变化大。南方林地全年NDVI较平稳,振幅小,而园地NDVI变化大。结合文献和研究区,将峰值期定义为NDVI值与波峰值之差<0.05的时间段。(3) NDVI波峰和波谷^[31-33]。波峰反映植被茂盛成熟期,波谷反映落叶收获期。由于果树的成熟、桑园和茶园的采摘,以及橡胶的落叶等,使得NDVI的波峰和波谷值明显。(4) NDVI差值^[26,34]。在3-4月,柑橘等果园NDVI明显增加,而林地处于平稳中轻微波动状态。在5-6月和7-8月等,冬小麦—夏玉米和早稻—晚稻等农作物NDVI趋势变动明显,可与园地区分。

基于园地种植实际情况和二调园地,利用DEM高程数据提取海拔和坡度,将地形属性值赋予园地,进行园地筛选。相较林地,园地多种植在海拔较低的平原和低缓丘陵,坡度为25°以上的山地不宜发展园地。

1.3.3 其他林地的提取

基于生活功能提取城市林地,根据城镇边界数据集确定城市林地范围,利用ArcGIS

表2 中国各农业生态区园地提取方法

Table 2 Extraction schemes of garden land for different eco-agricultural regions in China

序号	中国农业生态区	园地主要类型	园地NDVI物候判别依据	海拔判别依据/m
1	冀鲁豫低洼平原农业区/燕山太行山山麓平原农业区/山东丘陵农林区	果园（苹果，其次梨和葡萄）	4-5月增速最大 5月<6月	—/ <1000/ <500
2	辽宁平原丘陵农林区	果园（苹果，其次梨和葡萄）	5-6月增速最大 10-11月降速最大	<200
3	长城沿线牧区	果园（苹果，其次梨和葡萄）	4-5月增速最大 6-9月振幅>0.10	<1500
4	晋东豫西丘陵山地农林牧区	果园（苹果，其次梨和葡萄）	3-4月增速最大 5-9月振幅>0.12	<1000
5	汾渭谷地农业区	果园（苹果）和少量桑园	3-4月增速最大 5月<6月 5-10月振幅>0.13	<1000
6	晋陕甘黄土丘陵沟壑牧农林农区	果园（苹果）	6月<7月 6-9月振幅>0.12	<1500
7	陇中青东丘陵农牧区	果园（苹果）	5-10月振幅<0.05 全年振幅<0.39	<1500
8	秦岭大巴山林农区/淮北平原	果园（柑橘、梨）	3-4月增速最大 5月<6月	<500
9	豫皖鄂平原山地农林区	果园（苹果）	3-4月增速最大 5月<6月 全年振幅>0.59	<200
10	长江下游平原丘陵农畜水产区/长江中游平原农业水产区	果园（柑橘）	4-5月增速最大 4月<5月<6月 7-9月振幅>0.15	—
11	浙闽丘陵山地林农区	果园（柑橘）和茶园	7月<8月 9月波峰	<1000
12	川鄂湘黔边境林农牧区/四川盆地农林区	果园（柑橘）	4月<5月 全年振幅>0.51	<1000/ <500
13	江南丘陵山地农林区/闽南粤中农林水产区/南岭丘陵山地林农区	果园（柑橘）	3月<4月 7月<8月 11-12月降速最大	<400/ <500/ <500
14	粤西桂南农林区	果园（柑橘、香蕉）	3-4月增速最大 7月<8月 11-12月降速最大	<1000
15	黔桂高原山地林农区	茶园	3月、8月波谷	800~1400
16	川滇高原山地农林区	桑园	6月、7月波谷	<2200
17	滇南农林区/雷琼及南海诸岛农林区	橡胶	3月波谷 9月波峰	<300
18	南疆农牧区	果园（红枣）	4-5月增速最大 5月<6月 7月波峰	<1500

掩膜提取工具，在此范围提取各年份土地利用图中的林地，得到城市林地。基于生态生产功能提取用材林地，根据林业科学数据集^[24]确定速生丰产林工程建设范围，利用ArcGIS掩膜提取工具，在此范围提取各年份土地利用图中的林地，得到用材林地。生态林地中一般生态林地的提取，是在各年份土地利用图中的林地范围内，利用ArcGIS镶嵌和栅格计算器工具，排除其他各类型林地，得到一般生态林地。

2 结果分析

2.1 全国林地分布现状

基于“三生”视角林地分类体系和提取方案，获得1990—2018年林地各类型的面积和空间分布（图2）。2018年中国林地遥感面积为228.18万km²，主要位于东部和南部。生态林地、生态生产林地、生产生活林地和生活林地面积分别为192.64万km²、27.20万km²、7.38万km²和0.96万km²，占林地总面积的84.42%、11.92%、3.23%和0.42%，生态优先区域林地占比最大，生活林地占比最小。

2.1.1 生态林地现状格局

2018年生态林地中，一般生态林地面积最大，在生态林地总面积占比达42.01%，水源涵养区林地和生物多样性保护区林地位列第二、三位，分别为28.99%和19.58%，洪水调蓄区林地最小仅占0.31%。在空间格局上，生态优先区域林地广泛分布，中南地区较集中，核心生态林地则分散在中南和东北地区。水源涵养区林地广泛分布在东北和东南地区，如大小兴安岭、长白山和南岭山地。土壤保持区林地位于西南地区，包括喀斯特山区、川滇干热河谷和三峡库区。防风固沙区林地集中在新疆和内蒙古。洪水调蓄区林地分布于洞庭湖湿地和鄱阳湖湿地。河岸防护区林地呈现南多北少的格局。生物多样性保护区林地分散在南方和东北的自然保护区，包括武夷山、武陵山、小兴安岭和藏东南地区。一般生态林地面积广阔，分布在第二级阶梯的中南部。

2.1.2 生态生产林地现状格局

生态生产林地（用材林地）主要集中在东南和东北地区。东南省份有大量用材林地，如广东、广西东部、海南沿海、福建东南、浙江中部、湖南中部、江西南部 and 江苏西部，东北平原有少量用材林地，如黑龙江东南部、吉林西部和辽宁南部。

2.1.3 生产生活林地现状格局

生产生活林地（园地）主要位于东部，呈南多北少、东多西少格局。北方园地多位于河北、山东、辽宁和陕西，特别是环渤海地区和汾渭谷地。南方的亚热带热带地区园地集中，分布在云南、海南、福建和广东等，特别是雷琼地区、滇南地区、浙闽丘陵和两广丘陵。

2.1.4 生活林地现状格局

生活林地（城市林地）主要位于东部，东南沿海较为集中，其余城市零散分布。城市林地分布广阔的地区有北京、广东东南、浙江北部、江苏南部和河北东南等。东北地区仅辽宁省的城市林地面积较高，西北和西南地区城市林地普遍较少。

2.2 全国林地时空变化

1990—2018年，各功能区内林地变化趋势和空间格局呈明显区域差异（图3）。数量

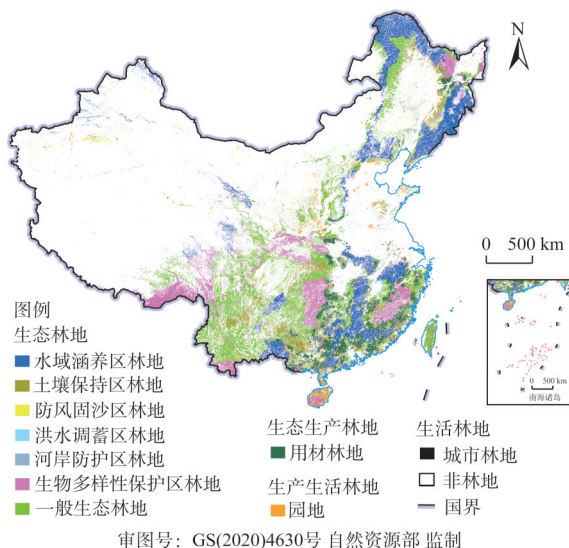


图2 2018年林地分布

Fig. 2 Forest land distribution in China in 2018

上,林地总面积先增加后减少,1990—2010年增加了1.26万km²,2010—2018年减少了0.94万km²。生态优先区域林地面积减少2.49万km²,降幅为1.28%,减少最快的时间段为1990—2000年。生态生产林地面积逐年减少,但降速变缓。生产生活林地面积变化为先增加、后轻微减少。生活林地面积迅速增加,2010—2018年增加最快。空间格局上,林地减少主要发生在东北地区、西南地区 and 新疆北部,林地增加主要发生在内蒙古东南部、华北平原西北部和新疆中部,此外,林地内部类型转换也较频繁。

2.2.1 生态林地时空变化

1990—2018年生态优先区域林地总面积逐渐减少,防风固沙区林地面积增加了0.41万km²,增幅达40.88%;洪水调蓄区林地面积在1990—2010年基本不变,之后减少了0.02万km²;水源涵养区、土壤保持区和河岸防护区林地分别减少了1.49万km²、0.71万km²和0.04万km²;生物多样性保护区和一般生态林地则先减少后增加,分别净减少了0.01万km²和0.64万km²(图4)。生态优先功能区内部分异较大,东北黑土区、西南地区 and 新疆北部山区的生态林地缩小,东北、华北和西北地区局部林地增加。

在林业生态工程和“封山绿化、退耕还林”政策的推动下,防风固沙

区的全部、水源涵养区的华北部分和土壤保持区的陕北部分,林地持续扩大。防风固沙区林地迅速增加,特别是1990—2000年和2010—2018年,在科尔沁沙地(图5a)、毛乌素沙地、呼伦贝尔沙地和塔里木盆地北部的原有草地、耕地和未利用地上大量造林,分布分散且斑块小。防风固沙区位于西北干旱半干旱交错带,土质疏松且植被稀疏,不合理的农牧工矿活动破坏了生态平衡。三北防护林工程实施提高了森林覆盖率,遏制了土地沙化,林地在防风固沙屏障中的作用增强。水源涵养区林地缩小发生在大小兴安岭和新疆北部,转为未利用地和耕地,应控制非法采伐和农地无序扩张;2010—2018年局部林地明显增加,大别山区退耕还林,而在大兴安岭南、太行山区和河北北部(图5b),草地转换为林地,三地分别位于三北防护林、太行山绿化和京津风沙源治理工程范围内,育林造林政策取得成效,以治林推动治水,保障城镇水源安全。土壤保持区林地缩小发生在东北黑土区

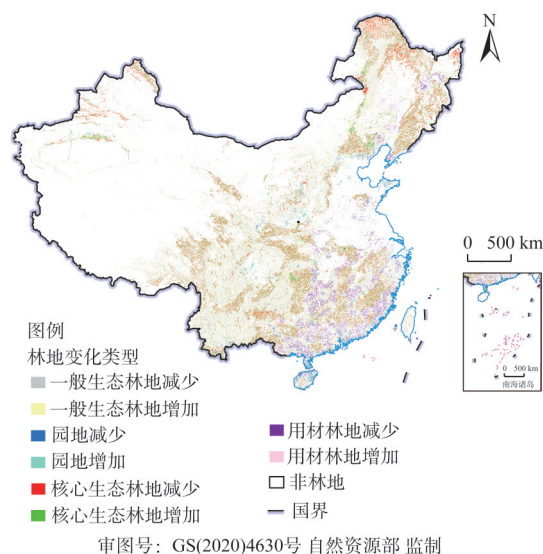


图3 1990—2018年林地主要二级类型空间变化

Fig. 3 Spatial changes of main secondary types of forest land in China from 1990 to 2018

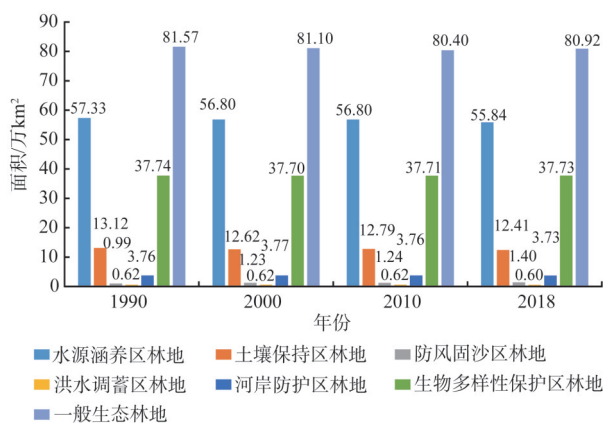


图4 1990—2018年生态林地面积变化

Fig. 4 Area change of ecological forest land in China from 1990 to 2018

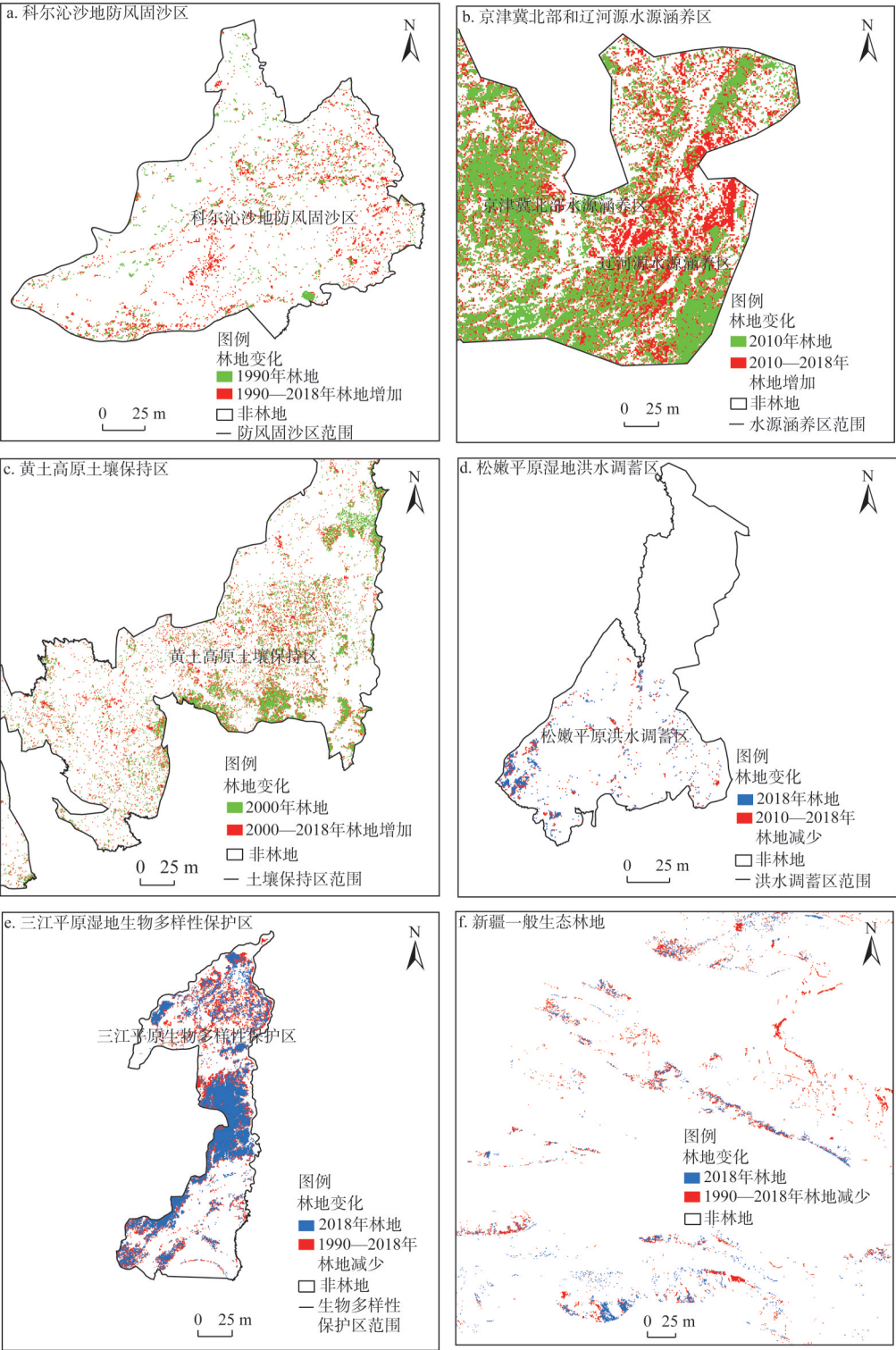


图5 1990—2018年生态林地局部变化

Fig. 5 Local changes of ecological forest land in China from 1990 to 2018

和西南喀斯特石漠化区,前者虽然具有营林生产传统,但农林效益不对等造成毁林开荒,后者林地因人为扰动和自然灾害而退化为草地;2000—2018年黄土高原丘陵沟壑区林地增加(图5c),其位于三北防护林工程内,经过生态治理,一定程度上缓解了水土流失。

洪水调蓄区和河岸防护区林地退化明显,缺乏有效监管,主导核心生态价值削弱。洪水调蓄区林地被围垦成耕地,主要在松嫩平原(图5d),其地处半湿润半干旱区,径流调节功能受损,产生盐碱化;围湖造田还发生在洞庭湖和鄱阳湖湿地,易引发洪涝灾害,应保护湿地资源并限制耕地扩张。河岸防护区林地在1990—2000年略有增加,之后减少,新疆、西南地区和东南地区林地均有不同程度缩小。

生物多样性保护区林地和一般生态林地先减少后增加,自然保护工作正在加强。生物多样性保护区林地在20世纪90年代减少,三江平原湿地存在毁林开荒(图5e)、四川西部山林退化为未利用地,在2000年后逐步恢复,武陵山区和贺兰山等林地面积亦扩大。一般生态林地在1990—2010年减少,之后增加。林地减少广泛存在,新疆西北部(图5f)、内蒙古高原和贵州西部的林地退化,四川盆地林地开垦成耕地,东南沿海林地改为园地。林地扩张集中在三北防护林工程和天然林保护工程范围内,在科尔沁沙地外缘、河北西北部和重庆南部的草地和未利用地上造林;此外,辽宁有大量耕地退耕,是实施退耕还林的标杆省份。

2.2.2 生态生产林地时空变化

生态生产林地(用材林地)面积减少0.96万 km^2 ,降幅为3.42%。1990—2010年快速减少,2010—2018年趋于平缓。用材林地缩小广泛存在,东南沿海大量用材林转化为园地和建设用地,主要在海南东南部、雷州半岛、广西东部、广东中部、福建南部和湖南北部,还有黑龙江、辽宁、河北、山东和河南零散的用材林地消失。2000—2018年间,吉林西部和辽宁西部在原有的草地、耕地和未利用地上大量造林,属于三北防护林工程范围内。20世纪90年代工农业快速发展,生态生产空间内林地被挤占,近年来用材林供应趋于稳定,利于核心生态林的保护。

2.2.3 生产生活林地时空变化

生产生活林地(园地)面积在1990—2010年增加了3.53万 km^2 ,2010—2018年减少了0.63万 km^2 ,净增幅达64.66%。在1990年,仅华北平原和长江下游平原以及海南、云南、福建和广东的沿海地区,园地面积集中。此后,园地发展迅速,特别是在南方各省份,至2018年,长江中游平原、汾渭谷地、四川盆地、两广丘陵、江西东南部和南疆均新增大量园地。东部生产生活功能区内林地扩大,农业经营模式更丰富,社会经济活动向城郊过渡地带发展。

2.2.4 生活林地时空变化

生活林地(城市林地)面积增加0.87万 km^2 ,1990—2010年稳定增加,2010—2018年增速变大。城市生活功能区内林地增加,文化娱乐和美化环境等主导功能增强。具体来看,1990年时仅北京、辽宁、广东和台湾等地,分布一定面积的城市林地。到了2000年,广东南部的城市林地扩张明显。2000—2010年间,广东中部、江苏南部、湖南东部和山东西部的城市林地增加。2010—2018年间,城市林地扩大广泛发生,尤其是北京南部、辽宁中部、福建东部和浙江北部等。

2.3 不同功能区林地转移方向

纵观1990—2018年不同功能区林地变化数量和转移方向(表3),比较林地和其他地类之间的转换关系。

表3 1990—2018年林地各类型面积转移
Table 3 Area transfer of forest land types from 1990 to 2018 (万 km²)

一级分类		二级分类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
生态林地	核心生态林地	水源涵养区林地	0.19	—	-0.72	0.05	0.22	1.75	1.49
		土壤保持区林地	0.52	—	-0.02	0.04	0.06	0.11	0.71
	一般生态林地	防风固沙区林地	-0.03	—	-0.34	0	0	-0.04	-0.41
		洪水调蓄区林地	0.01	—	0	0	0.01	0	0.02
		河岸防护区林地	-0.01	—	-0.05	0.04	0.05	0.01	0.04
		生物多样性保护区林地	0.21	—	-0.61	0.03	0.11	0.27	0.01
		一般生态林地	0.02	0.55	-1.30	0.12	0.69	0.56	0.64
生态生产林地	用材林地	0.18	0.63	-0.13	0.04	0.26	-0.02	0.96	
生产生活林地	园地	-1.35	-1.30	-0.35	-0.02	0.15	-0.03	-2.90	
生活林地	城市林地	-0.41	-0.34	-0.03	-0.02	-0.07	0	-0.87	

注：正数为转出，负数为转入。

面积发生增加的林地中，增幅最大的是生活林地和生产生活林地。生活林地（城市林地）主要转入来源为耕地、一般生态林地和园地，在建设管理投入大的北京和气候条件适宜的南方城市扩张明显。1990—2018年城市林地面积增幅（9.85倍）大于城镇建成区面积增幅（3.69倍）^[35]，体现对居住环境的重视。生产生活林地（园地）来源为耕地、用材林地和一般生态林地，扩张多发生在人口密集、经济发达的东南沿海。由于园地比较效益高于耕地，在农业劳动力流失和果品需求增加的情况下，园地占据了粮食生产空间，且进入到一般生态空间内。与此同时，城市居住用地向郊区蔓延，存在园地让步于建设用地的现象。

面积发生减少的林地中，降幅较小的是生物多样性保护区林地和一般生态林地。生物多样性保护区林地多转换为未利用地和耕地，同时，存在草地转入，可见自然保护区建设对于维持生态动态平衡有一定效果，但仍需加强监管。一般生态林地多转出为建设用地、园地和未利用地，同时存在草地转入，由于一般生态林地所在区域主要位于二级阶梯中南部，自然状况较稳定，且人口密度较低，受人类影响小。核心生态林地中，除防风固沙区林地外，其余区域林地面积均减少，土壤保持区和水源涵养区林地降幅大。防风固沙区新增林地来源是中低覆盖度草地，在人为驱动下，土地利用类型转换为能发挥更大生态效益的林地。土壤保持区和水源涵养区林地主要转换为耕地和未利用地，但缺乏其他地类转入，由于核心生态空间多位于脆弱过渡地带，存在原生气候和地质问题，抗人类活动干扰能力差，在未获得有效保护时，退化程度加速。

3 结论

本文基于“生产—生活—生态”视角，构建林地分类体系，制定林地提取方案，揭示重点生态功能区和生产生活区的林地时空变化特征与区域差异。

结果表明：（1）2018年林地遥感面积为228.18万 km²，生态林地、生态生产林地、生产生活林地和生活林地面积分别为192.64万 km²、27.20万 km²、7.38万 km²和0.96万 km²。（2）1990—2018年，生态优先区域林地面积减少2.49万 km²，前十年减少最快。防风固沙区、水源涵养区的华北部分和土壤保持区的陕北部分内局部林地扩大。东北地区、洞庭湖

湿地和新疆北部存在毁林开荒,西南喀斯特地区林地退化为草地。(3) 1990—2018年,用材林地面积减少0.96万km²,2010年后减少变缓。园地面积增幅达64.66%,来源多为耕地和用材林地。城市林地面积增加0.87万km²,在广东、浙江、江苏和北京分布广泛。

本文从区域主导功能的角度优化了林地分类系统,利用土地利用图、功能区划、植被物候特征和统计数据等,通过专题图叠加、遥感识别和决策树分类技术,提取林地各类型。据此分析不同生态地位林地的变化规律:核心生态林地位于自然环境脆弱过渡地带,人类活动加速其退化;得益于林业生态工程和退耕还林政策,局部林地恢复;生物多样性保护区内林地较稳定;受生活需求驱动,园地和城市林地迅速增加。本文可为林业工程政策实施效果提供科学依据,为生态用地的功能分类和快速提取提供方法借鉴。研究建议遵循区域功能定位,提升林地主导生态价值,合理调整自然保护区范围;实施生态退耕,科学规划园地和城市林地。

参考文献(References):

- [1] CASPERSEN J P, PACALA S W. Successional diversity and forest ecosystem function. *Ecological Research*, 2001, 16 (5): 895-903.
- [2] 谢余初, 巩杰, 齐姗姗, 等. 基于InVEST模型的白龙江流域水源供给服务时空分异. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1337-1347. [XIE Y C, GONG J, QI S S, et al. Spatio-temporal variation of water supply service in Bailong River Watershed based on InVEST model. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1337-1347.]
- [3] GENG A X, YANG H Q, CHEN J X, et al. Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy Economics*, 2017, 85: 192-200.
- [4] 李婕. 浙江省休闲观光果园空间结构研究. 杭州: 浙江农林大学, 2013. [LI J. Study of the spatial structure of leisure and sightseeing orchard in Zhejiang province. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2013.]
- [5] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332-1338. [ZHANG H Q, XU E Q, ZHU H Y. An "Ecological-Living-Industrial Land" classification system and its spatial distribution in China. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1332-1338.]
- [6] BRYAN B A, GAO L, YE Y Q, et al. China's response to a national land-system sustainability emergency. *Nature*, 2018, 559(7713): 193-204.
- [7] CORCORAN J M, KNIRHT J F, GALLANT A L. Influence of multi-source and multi-temporal remotely sensed and ancillary data on the accuracy of random forest classification of wetlands in Northern Minnesota. *Remote Sensing*, 2013, 5 (7): 3212-3238.
- [8] 宋永昌, 阎恩荣, 宋坤. 再议中国的植被分类系统. *植物生态学报*, 2017, 41(2): 269-278. [SONG Y C, YAN E R, SONG K. An update of the vegetation classification in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2017, 41(2): 269-278.]
- [9] 国家林业局. 森林资源规划设计调查主要技术规定. 2003. [State Forestry Administration of China. Main technical regulations for forest resources planning and design investigation. 2003.]
- [10] 国土资源部. 土地利用现状分类(GB/T21010-2017). 2017. [Ministry of Land and Resources of China. Land use status classification(GB/T21010-2017). 2017.]
- [11] 唐立娜, 王庆礼, 代力民, 等. 辽宁东部山区林地生态分类系统. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 20-24. [TANG L N, WANG Q L, DAI L M, et al. Ecological classification system of forest landscape in eastern mountainous region of Liaoning province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 20-24.]
- [12] ZHALNIN A V, PARKER G R. Spatial analysis and delineation of ecological land type phases for the Hoosier National Forest, Indiana, USA. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(2): 214-224.
- [13] DENG F Y, ZANG R G, CHEN B P. Identification of functional groups in an old-growth tropical montane rain forest on Hainan Island, China. *Forest Ecology Management*, 2008, 255(5-6): 1820-1830.
- [14] LANGNER A, IRAUSCHEK F, PERAZ S, et al. Value-based ecosystem service trade-offs in multi-objective management in European mountain forests. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 245-257.
- [15] KOVAC M, GASPARINI P, NOTARANGELO M, et al. Towards a set of national forest inventory indicators to be used

- for assessing the conservation status of the habitats directive forest habitat types. *Journal for Nature Conservation*, 2020, 53: 125747, Doi: 10.1016/j.jnc.2019.125747.
- [16] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究. *资源科学*, 2015, 37(7): 1322-1331. [XU E Q, ZHANG H Q. Land use structure and change of important ecological space in China and protection research. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1322-1331.]
- [17] NINAN K N, INOUE M. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't. *Ecological Economics*, 2013, 93: 137-149.
- [18] 毛世平. 西藏自治区生态空间的分类与范围及人类活动影响. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2163-2174. [MAO S P. Classification, scope and the impact of human activities of ecological space in Tibet Autonomous Region. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2163-2174.]
- [19] 王强, 张勃, 戴声佩, 等. 基于GIMMS AVHRR NDVI数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化. *资源科学*, 2011, 33(8): 199-206. [WANG Q, ZHANG B, DAI S P, et al. The Three-North Shelterbelt Program and dynamic changes in vegetation cover. *Resources Science*, 2011, 33(8): 199-206.]
- [20] 徐伟燕, 孙睿, 金志凤. 基于资源三号卫星影像的茶树种植区提取. *农业工程学报*, 2016, 32(s1): 161-168. [XU W Y, SUN R, JIN Z F. Extracting tea plantations based on ZY-3 satellite data. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(s1): 161-168.]
- [21] 凡宸, 叶有华, 邓焕祥, 等. 基于HJ-1-A/B数据提取城市绿地信息的应用研究. *生态科学*, 2014, 33(3): 568-573. [FAN C, YE Y H, DENG H X, et al. Applied research of extraction of green space in Shenzhen with HJ-1-A, B data. *Ecological Science*, 2014, 33(3): 568-573.]
- [22] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. *地理学报*, 2017, 72(7): 1290-1304. [LIU J L, LIU Y S, LI Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of "Production-Living-Ecological Spaces" in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7): 1290-1304.]
- [23] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划(修编版). 2015. [Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences. *National ecological function regionalization (revised edition)*. 2015.]
- [24] 中国林业科学研究院, 中国测绘科学研究院. 林业科学数据集(第一卷). 北京: 中国林业出版社, 2005. [Chinese Academy of Forestry, Chinese Academy of Surveying and Mapping. *Forestry Science Data Set (Volume I)*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.]
- [25] 王龔, 田庆久, 黄彦, 等. 基于HJ星CCD遥感数据的落叶阔叶林NDVI差值速率识别模型. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(4): 1018-1022. [WANG Y, TIAN Q J, HUANG Y, et al. NDVI difference rate recognition model of deciduous broad-leaved forest based on HJ-CCD remote sensing data. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(4): 1018-1022.]
- [26] ARCHIBALD S, SCHOLES R J. Leaf green-up in a semi-arid African savanna-separating tree and grass responses to environmental cues. *Journal of Vegetation Science*, 2007, 18(4): 583-594.
- [27] 刘建光, 李红, 孙丹峰, 等. MODIS土地利用/覆被多时相多光谱决策树分类. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 312-318. [LIU J G, LI H, SUN D F, et al. Land use/cover decision tree classification fusing multi-temporal and multi-spectral of MODIS. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(10): 312-318.]
- [28] DANIEL J R, ANDREW C M. A hybrid approach to mapping land-use modification and land-cover transition from MODIS time-series data: A case study from the Bolivian seasonal tropics. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(2): 353-372.
- [29] CHEN Y L, LU D S, MORAN E, et al. Mapping croplands, cropping patterns, and crop types using MODIS time-series data. *International Journal of Applied Earth Observation GeoInformation*, 2018, 69: 133-147.
- [30] HUTH J, KUENZER C, WEHRMANN T, et al. Land cover and land use classification with TWOPAC: Towards automated processing for pixel-and object-based image classification. *Remote Sensing*, 2012, 4(9): 2530-2553.
- [31] YAN E P, WANG G X, LIN H, et al. Phenology-based classification of vegetation cover types in Northeast China using MODIS NDVI and EVI time series. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(2): 489-512.
- [32] DE FRIES R S, HANSEN M, TOWNSHEND J R G, et al. Global land cover classifications at 8 km spatial resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(16): 3141-3168.
- [33] PERVEZ M S, BUDDE M, ROWLAND J. Mapping irrigated areas in Afghanistan over the past decade using MODIS

NDVI. Remote Sensing of Environment, 2014, 149: 155-165.

- [34] KRISHNASWAMY J, KIRAN M C, GANESHAIAH K N. Tree model based eco-climatic vegetation classification and fuzzy mapping in diverse tropical deciduous ecosystems using multi-season NDVI. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(6): 1185-1205.
- [35] 住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴. 2018. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Statistical yearbook of urban and rural construction in China. 2018.]

Classification and extraction of forest land in China based on the perspective of "Production-Living-Ecology"

YU Zhu-xiao^{1,2}, ZHANG Hong-qi¹, XU Er-qi¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Forest land has multiple functions. In ecological, production or living priority areas, forest land plays different roles. The traditional forest land classification is difficult to take into account the regional dominant function and development orientation. There is still a lack of quantitative description of the spatial and temporal characteristics of forest land in different functional areas. This paper establishes a forest land classification system based on the perspective of "Production- Living- Ecology". Using land use map, functional zoning, vegetation phenological characteristics and statistical data, through thematic map superposition, remote sensing recognition and decision tree classification technology, various types of forest land are extracted. The results show that from 1990 to 2018, forest land in ecological priority area decreased by 24900 km², but decreased slowly after 2000, and that the remote sensing area of forest land in China in 2018 was 2.2818 million km². Local forest lands in core ecological functional areas such as wind prevention and sand fixation, water conservation and soil conservation areas were expanded, mainly in some grasslands and sandy areas in Inner Mongolia, Northwest Hebei and the Loess Plateau. In the Northeast Region, Southwest Region and Northern Xinjiang, forest land was converted into cultivated land or grassland. The decrease of forest land in biodiversity reserve was the smallest. The timber land decreased slowly after 2010. The garden land expanded rapidly in the southeast, mainly from timber land and cultivated land. The urban forest land is increasing rapidly in Guangdong, Zhejiang, Jiangsu and Beijing. The study shows that forest land with core ecological function is partially restored in the scope of the ecological restoration project and nature reserve, but the severe man-made disturbance still leads to a large decrease in its overall area. It is suggested that the ecological forest land should be restored and the dominant ecological value should be promoted according to regional differences.

Keywords: "Production-Living-Ecology" land; forest land classification; spatio-temporal differentiation; China