

# 中国县域尺度生态保护的地域分异及其适宜性

黄 麟<sup>1</sup>, 郑瑜晗<sup>1,2</sup>, 肖 桐<sup>3</sup>

(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. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

**摘要:** 鉴于中国对生态保护的投入与奖惩皆以县域为基本单元, 需要开展县域尺度生态保护效果的监测评估, 以期为县域生态环境质量考核提供科学依据。本文定量分析了近15年县域尺度优良生态系统面积及植被覆盖度变化, 及其与生态保护项目数量的关系, 进而评估生态保护措施在县域生态变化中的效果, 并评价工程措施的地域适宜性。结果表明: ① 中国东北地区、南方亚热带区、青藏高原东南部的县域优良生态系统面积占比多高于50%, 西北地区、西南喀斯特区、华北平原等县域优良生态系统占比多低于20%。② 近几十年, 生态保护重点是生态脆弱区, 青海三江源、藏东南、川西、祁连山、新疆南部等西部地区的县域生态保护项目数量多大于5个, 东部沿海地区则少于或等于1个。③ 2000-2015年, 中国53%县域的优良生态系统面积占比提高, 黄土高原、黄淮海平原、京津冀、川黔渝、两广等地区的县域植被覆盖度明显上升, 而新疆北部、西藏中部、内蒙古中东部等干旱半干旱区、长三角等区域植被覆盖度下降。④ 生态保护项目数量与优良生态系统、植被覆盖度变化等反映生态状况改善的指标并未呈现正相关关系, 生态保护应遵循优良生态系统分布格局, 气候变化背景下造林等工程措施应遵循自然规律与地带性差异。

**关键词:** 县域尺度; 生态保护; 优良生态系统; 地域分异; 地带适宜性; 中国  
DOI: 10.11821/dlxb201707014

## 1 引言

伴随工业化、城镇化和农业现代化的生态系统退化、生物多样性丧失等生态问题逐渐引起广泛关注<sup>[1-4]</sup>。为了扭转生态环境恶化的势头, 20世纪70年代中国开始实施三北防护林体系建设工程, 2000年开始陆续实施了天然林保护、退耕还林、长江流域与珠江流域防护林、退牧还草、湿地保护、野生动植物保护及自然保护区建设等一系列重大生态保护与建设工程, 据统计工程总投资超过13000亿元。随着系列生态工程的实施, 中国生态系统持续退化的局面在一些区域得到遏制, 项目建设区生态环境明显改善<sup>[5-7]</sup>, 森林面积与植被覆盖度显著增加<sup>[8-10]</sup>, 退化草地得到恢复<sup>[11-13]</sup>, 沙化土地面积的扩张速度得到了有效控制<sup>[13-15]</sup>, 水土流失面积有所下降, 部分水土流失区域的水土保持能力显著增强<sup>[16-18]</sup>。尽管如此, 中国生态恶化趋势尚未得到根本扭转, 生态保护与开发建设活动的矛盾依然突出, 生态安全形势依然严峻<sup>[19]</sup>。

20世纪50年代, 国际上开始从生态、经济、社会效益等不同角度开展生态保护措施

收稿日期: 2017-02-20; 修订日期: 2017-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371019); 国家科技支撑项目(2013BAC03B00) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41371019; National Science & Technology Pillar Program, No.2013BAC03B00]

作者简介: 黄麟(1981-), 女, 四川宜宾人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为土地利用/覆被变化的生态效应。E-mail: huanglin@igsnrr.ac.cn

的评价<sup>[20]</sup>。中国自 20 世纪 90 年代开始,相继针对三北防护林、退耕还林、天然林保护等重大生态工程,构建评价指标体系,通过站点监测对比、遥感时空分析等,从涵养水源、保持水土等方面评价工程的生态效益<sup>[5-7]</sup>。然而,由于缺乏长时间序列生态系统变化的时空信息以及工程监测评估技术方法,对于大规模生态工程实施以来的生态系统变化状况缺乏量化认识,难以对工程取得的生态成效及其问题进行快速、科学的评估,进而对今后生态保护的工程布局、政策设计等缺乏有针对性的认识<sup>[11, 21]</sup>。因此,通过第三方开展系统、全面和准确的工程生态成效评估,是各类生态工程面临的急迫问题。

然而,国家对生态保护工程的规划范围和实际投入皆以县域为基本单元,没有工程项目空间分布的精准规划,宏观尺度难以获得工程实施的具体范围,因此针对工程效果的评估难以拆分哪些是气候变化的作用,哪些是生态工程的贡献,甚至某项工程的贡献。同时,过去唯 GDP 的政绩观导致对地方政府的考核并未考虑生态环境,部分县域仅将环境质量作为一个简单考核指标。近几年,生态 GDP、GEP 成为政绩考核的新导向,按照不同区域的主体功能定位,在经济贫困或是生态脆弱或是生态环境极为优良的县域开始实施差别化的考核机制<sup>[22]</sup>。许多研究以县域为单元开展生态环境质量状况评价,并尝试应用于县级绩效考核<sup>[23-25]</sup>。2011 年开始,中央政府每年对重点生态功能区县域生态环境质量进行监测评价考核,根据生态环境质量变差或变好的程度扣减或奖励其财政转移支付资金<sup>[26]</sup>。因此,需要了解在县域尺度上年际生态系统状况变化,各类生态保护项目对生态状况恢复和改善的效果如何,是否数量越多效果越好?在国家或区域尺度上,生态保护项目和工程措施的区域适宜性如何,是否遵循地带适宜性规律?以及未来生态工程的项目设计、空间布局和具体实施应注意哪些问题。因此,如何开展县域尺度生态系统变化的监测评估以及生态保护效果评价成为一个急待解决的问题。本文为国家开展县域生态环境质量监测评价考核,为今后生态工程项目的深入实施和滚动规划提供科学基础。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据收集与处理

本文的生态保护主要包括三北防护林体系建设、天然林资源保护、退耕还林/还草、长江珠江流域防护林体系建设、野生动植物保护及自然保护区建设、退牧还草、京津风沙源治理、三江源自然保护区生态保护和建设、西藏生态安全屏障保护与建设、岩溶地区石漠化综合治理等重大生态工程项目以及国家重点生态功能区转移支付涉及的县域(市、县、旗)(图 1)。统计县域(市、县、旗)内实施的生态保护项目数量,同时拆分得到造林、种草、封禁等不同生态保护措施的空间分布信息。

基于 2000 年和 2015 年中国 100 m 空间分辨率的栅格百分比土地覆被与土地利用变化(LUCC)数据集<sup>[3]</sup>,该数据集以陆地卫星 TM/ETM+遥感图像为信息源,结合中巴资源卫星图像数据,经图像精校正和拉伸处理后,通过人工解译获得土地利用类型及其变化数据,将土地利用类型划分为 6 个一级类型、25 个二级类型。

本文收集了 2000-2015 年 1 km 空间分辨率的 MODIS 归一化植被指数(NDVI)数据,通过格式转换、重投影、拼接、重采样和滤波处理,采用最大合成法得到连续时间序列的 16 天 NDVI 数据,根据像元二分模型理论利用 NDVI 计算半月尺度的植被覆盖度,即认为一个像元的 NDVI 值是由绿色植被部分贡献的信息与无植被覆盖部分贡献的信息组合而成,公式如下:

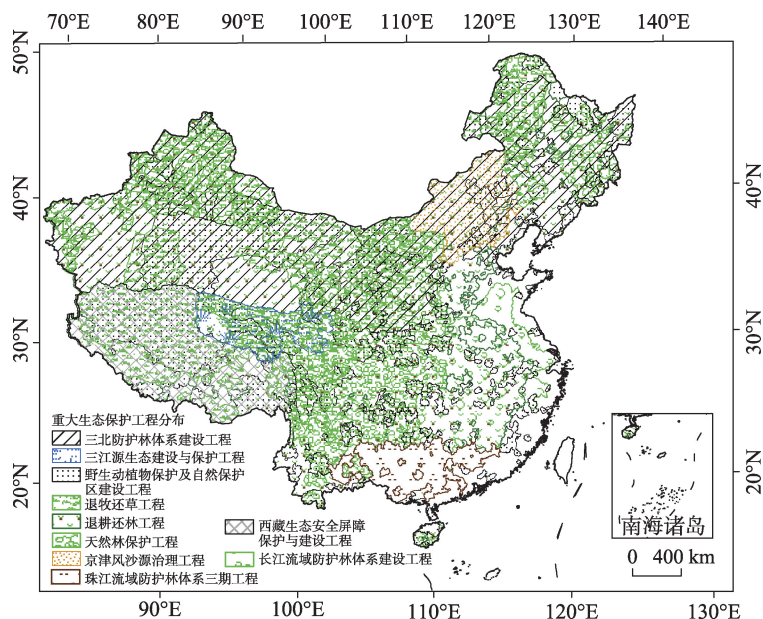


图1 中国县域尺度的生态保护项目空间分布

Fig. 1 The distribution of ecological conservation programs of China at county level

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中:  $F_c$  为植被覆盖度;  $NDVI_{veg}$  是纯植被像元的NDVI值;  $NDVI_{soil}$  是完全无植被覆盖像元的NDVI值, 依据100 m生态系统类型数据确定纯植被和完全无植被覆盖的像元。

从中国气象数据网 (<http://data.cma.cn>) 下载740个国家气象观测站的降水量、月平均最高气温、月平均最低气温、月日照时数、2 m处风速、相对湿度等数据, 经过质量控制和筛选后, 采用DEM为协变量的ANUSPLIN插值方法内插得到1 km的气象格点数据。利用1998年联合国粮农组织改进的FAO56-Penman-Monteith模型<sup>[27]</sup>计算潜在蒸散量, 并基于Thornthwaite方法<sup>[28]</sup>根据降水量和潜在蒸散量计算湿润指数 ( $I_m$ )。

$$I_m = 100 \times \left( \frac{P}{ET_0} - 1 \right) \quad (2)$$

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (3)$$

式中:  $ET_0$  为年潜在蒸散发量 (mm);  $P$  为年降水量 (mm);  $R_n$  为地表净辐射 ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $G$  为土壤热通量密度 ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $T$  为日平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_2$  为2 m高处风速 (m/s);  $e_s$ 、 $e_a$  分别为饱和与实际水汽压 (kPa);  $\Delta$  表示饱和水汽压—温度曲线的斜率 ( $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$ );  $\gamma$  为干湿表常数 ( $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$ )。

根据  $I_m$  值范围划分气候带类型, 即干旱 ( $I_m < -66.7$ )、半干旱 ( $-66.7 < I_m < -33.3$ )、半湿润 ( $-33.3 < I_m < 0$ )、湿润 ( $0 < I_m < 20$ )、潮湿 ( $I_m > 20$ )。

## 2.2 研究方法

本文以县域 (市、县、旗) 作为基本评价单元, 分析生态保护集中开展的2000-2015年间, 县域内优良生态系统、植被覆盖度的变化, 定量判断县域生态系统状况变化, 进而探讨这些变化与生态保护工程数量的关系, 探讨县域尺度生态保护效果的地域分异,

以及生态保护措施的地带适宜性。

进一步细分 2000 年和 2015 年土地利用类型数据, 将郁闭度高于 30% 的天然林和人工林、郁闭度高于 40% 且高度小于 2 m 的灌木林、覆盖度高于 50% 的草地、洪泛湿地与内陆沼泽等定义为优良生态系统, 统计分析县域内优良生态系统面积占比, 以及 2000-2015 年的变化面积占县域内该类优良生态系统总面积的比例。基于估算的 2000-2015 年最大植被覆盖度数据, 利用最小二乘法拟合线性回归方程的方法, 统计分析 2000-2015 年县域内最大植被覆盖度的年变化率。

采用相关系数的统计检验方法进行趋势显著性检验, 分析优良生态系统变化面积占比、植被覆盖度年变化率与生态保护项目数量的相关关系。同时, 依据反映水热条件变化的湿润指数, 判断造林、种草、封禁等生态保护措施在湿润、半湿润、干旱、半干旱等不同区域的地带适宜性。

3 结果与分析

3.1 县域优良生态系统的地域差异

优良生态系统主要分布在中国东北温带季风气候区和南部亚热带地区(图2)。东北地区主要自小兴安岭绵延至长白山一带, 县域优良生态系统面积占国土面积的比例多高于 50%, 仅森林覆盖率就达 30% 以上, 形成了中国东北地区自然生态系统的天然屏障。内蒙古东部即大兴安岭南麓, 集中分布着广袤森林, 高覆盖草原和大量湿地, 该区域县域优良生态系统面积占比也多在 50% 以上, 而内蒙古中部以高覆盖草地生态系统为主, 面积巨大, 集中连片分布, 尽管县域优良生态系统相对比重不足 50%, 也一般高于 20%。西北地区以中低覆盖草原和荒漠为主, 优良生态系统占比不足 20%, 优良生态系统面积占国土面积超过 20% 的县域数少于总数的 25%; 优良生态系统占比超过 50% 的县域仅 5 个, 且在空间上分布不均, 局部地区优良生态系统分布相对聚集, 以天山、祁连

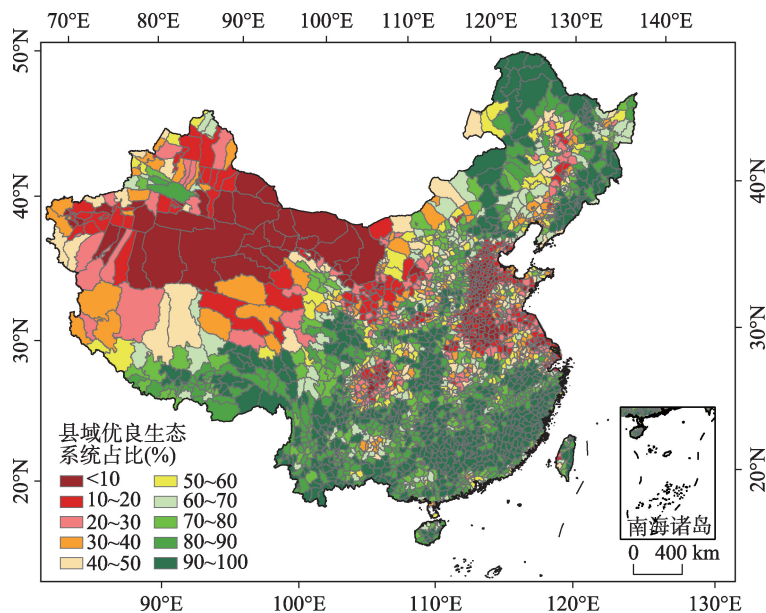


图2 中国优良自然生态系统的地带性分布格局特征  
Fig. 2 The zonal distribution pattern of China's high-quality natural ecosystems



山的森林、内蒙古中部草原和天山北部边缘地带的高覆盖草地为主。南方亚热带区以森林为主, 优良生态系统占比高于50%的县域数量超过了该区总数的三分之二。西南喀斯特区县域优良自然生态资源占比偏低, 约为10%~20%。秦巴、川西南、滇西南、桂北等地区森林集中分布, 优良生态系统比例高, 大部分县域占比超过了70%。青藏高原最为典型和占据绝对优势的优良生态系统为草地, 各县优良生态系统面积比例大于50%的县域数占总数的86.1%, 特别是藏东南分布大片原始森林, 森林覆盖率达到了80%以上。华北平原及江浙一带由于城市化水平较高, 建设用地面积急剧扩张, 优良生态系统占比偏低, 不足10%。

### 3.2 县域尺度生态保护的地域差异

从中国县域生态保护项目数量看(图3), 少于或等于1个生态保护项目的县域多分布于河北、山东、江苏、浙江、福建等东部沿海地区; 有2个生态保护项目的县域集中分布在中部地区, 以及东北地区 and 西藏、新疆等; 有3个生态保护项目的县域主要分布在西部, 特别是西南地区、黄土高原区; 有4个生态保护项目的县域分布于内蒙古、新疆北部、藏北等区域, 等于或大于5个生态保护项目的县域则多位于青海三江源、藏东南、川西、祁连山、新疆南部等区域。中国生态保护措施以封禁、造林、种草等为主, 从空间分布上看, 内蒙古中东部、天山北麓、塔里木河上游、鄂尔多斯高原、黑河流域、疏勒河流域、黄河西岸等地区结合实施造林、种草和封禁等措施; 内蒙古、青海、西藏、新疆等草原区则更多采用封禁和轮牧等草地生态保护措施; 秦巴、川南和滇西南、桂北、藏东南、武陵山区等森林保育区多结合造林与封禁措施。

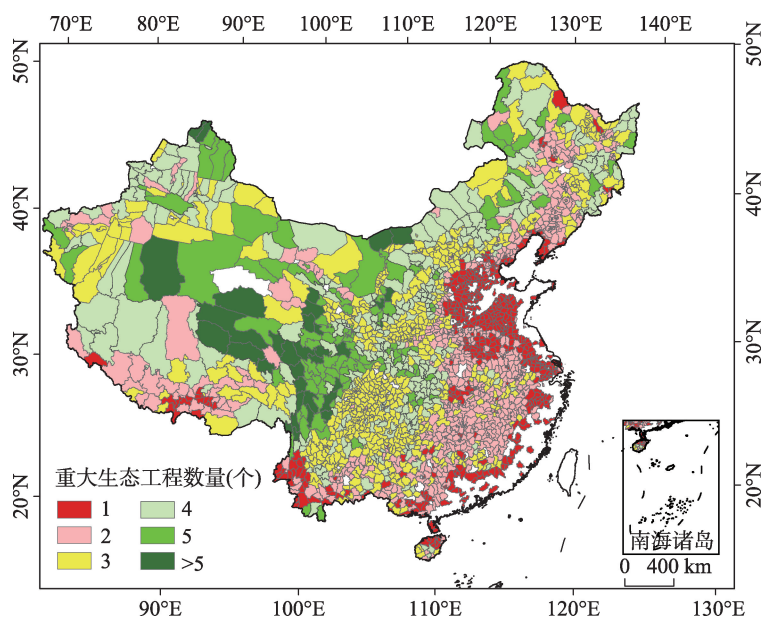


图3 中国县域重大生态工程数量的空间分布

Fig. 3 The number distribution of major ecological conservation programs of China at county level

### 3.3 2000-2015年县域优良生态系统与植被覆盖度变化

2000-2015年, 中国有1512个县域的优良生态系统面积占比提高, 特别是黄土高原和长江上中游流域地区(图4)。从不同优良生态系统类型来看, 1722个县域的优良森林面积占比提高, 1522个县域的高覆盖度草地面积占比提高, 2214个县域的湿地面积占比提高。黄土高原的森林面积明显增加, 其生态保护与恢复工程项目产生了正面作用, 实

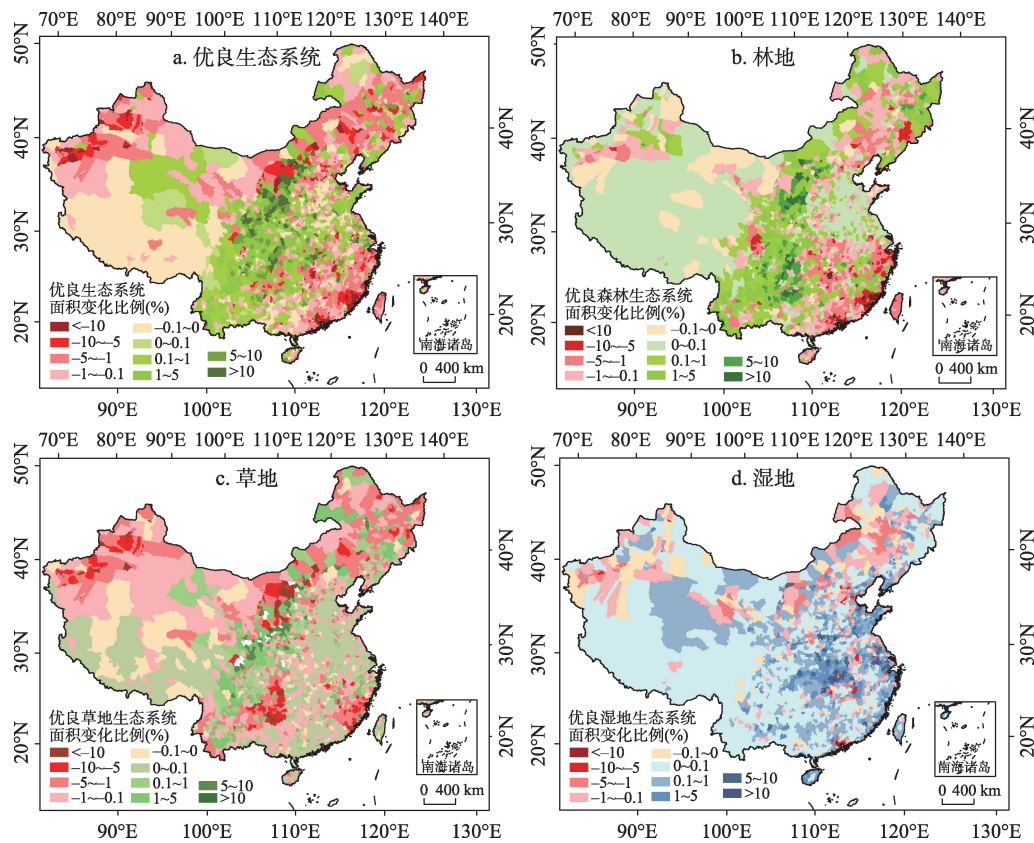


图4 2000-2015年中国县域优良生态系统、林地、草地、湿地面积变化比例空间分布

Fig. 4 Area change proportion of forest, grassland, wetland and high-quality ecosystems of China at county level during 2000-2015

现了由“整体恶化、局部好转”向“总体好转、局部良性循环”的转变。长江上中游流域地区以耕地面积的缩减为代价，森林面积明显上升，湿地面积微弱增长，特别是三峡库区、乌江流域。同时，2000-2015年有1347个县域的优良生态系统面积占比下降，特别是新疆西北部、东南沿海、东北与内蒙古中东部。其中，1137个县域的优良森林面积占比下降，1337个县域的高覆盖度草地面积占比下降，645个县域的湿地面积占比下降。东南沿海地区城镇化导致了森林和草地面积下降，新疆西北部、东北与内蒙古中东部县域的森林面积明显增加然而草地和湿地面积大幅下降，从而导致优良生态系统占比下降，就气候背景而言不利于该地区生态系统质量和服务能力的提升。

2000-2015年，中国县域尺度植被覆盖度变化呈现出显著的区域分异特征（图5）。黄土高原、黄淮海平原、京津冀、川黔渝、两广等地区的县域植被覆盖度明显上升。其中，黄土高原区上升趋势最为明显，秦巴山地、伏牛山地区尤为显著，植被覆盖度年增幅高达0.8%~1.5%。黄淮海平原、沂蒙山地以及大别山一带，覆盖度也呈较为明显地上升趋势，年增幅约0.4%~0.8%。相比而言，植被覆盖度下降的县域主要集中在新疆北部、西藏中部、内蒙古中东部等干旱半干旱区、以及长江三角洲等城市化扩张区域。新疆北部、内蒙古中东部植被覆盖度年降幅大于0.6%，长三角以及湘赣浙等长江中下游地区由于近年来城镇化水平较高，植被覆盖度亦呈现降低趋势。

3.4 县域尺度生态保护的适宜性评价

县域生态保护项目数量与指标变化的关系表明（图6），实施3~5个生态保护项目的

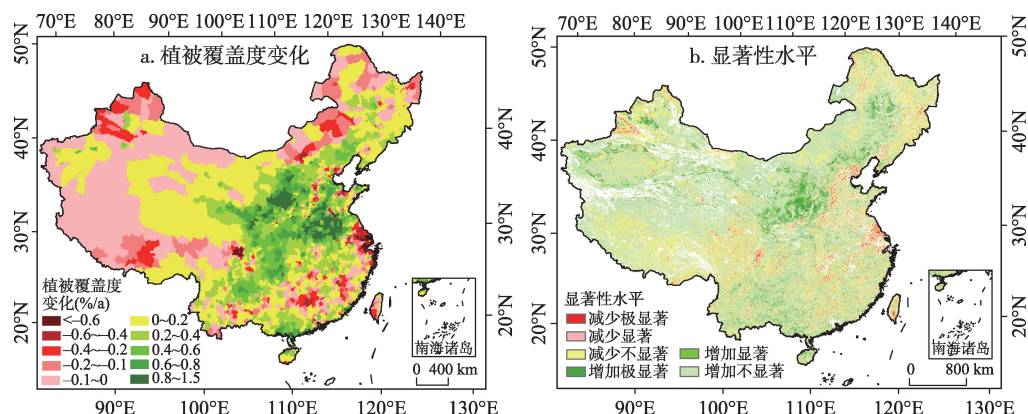


图5 2000-2015年中国县域尺度的植被覆盖度变化及其显著性水平

Fig. 5 Changes of vegetation coverage and its significance level of China at county scale during 2000-2015

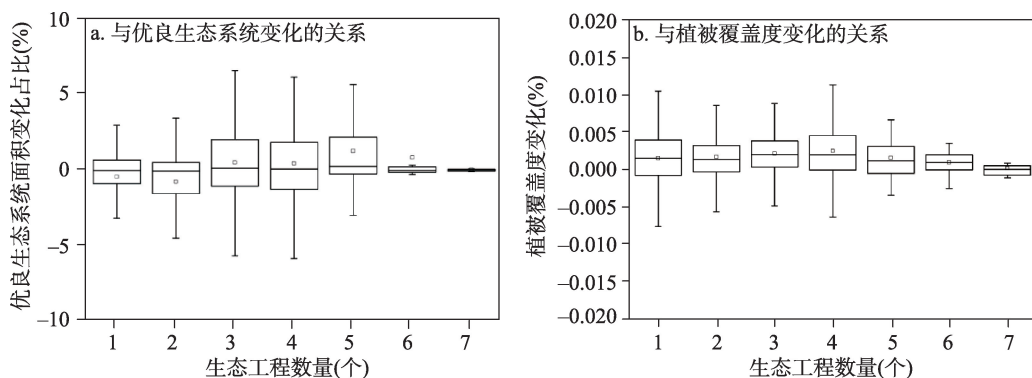


图6 生态保护项目数量与优良生态系统变化、植被覆盖度变化的关系统计

Fig. 6 The relationships between the number of ecological conservation programs and the changes of high-quality ecosystem and vegetation coverage

县域,优良生态系统面积变化占该县域优良生态系统面积的比例较高,而实施项目数量少于3个或多于5个的县域占比较低;实施4个生态保护项目的县域,平均植被覆盖度年增幅最高,项目数量越多植被覆盖度反而减少。因此,项目数量与优良生态系统、植被覆盖度变化等反应生态状况改善的指标未呈现正相关关系。

气候变化与生态保护同时影响区域生态系统变化,其中气候的影响是最主要的。生态保护措施需要适应区域气候背景,不适宜的措施对区域生态系统产生负向胁迫,比如西北疏勒河流域、天山北麓、塔里木河上游等干旱区绿洲地带,由于其天然降水条件相对较好、或者有较为充足的高山冰雪融水与地表、地下水补给,生态系统以中低覆盖草原为主,县域平均实施生态保护项目3个以上,种草、封禁具有一定成效,然而造林等措施难以改变生态退化态势甚至导致进一步恶化(图7)。

## 4 讨论与结论

### 4.1 结论

本文通过分析2000-2015年中国县域尺度优良生态系统与植被覆盖度变化,评价生态



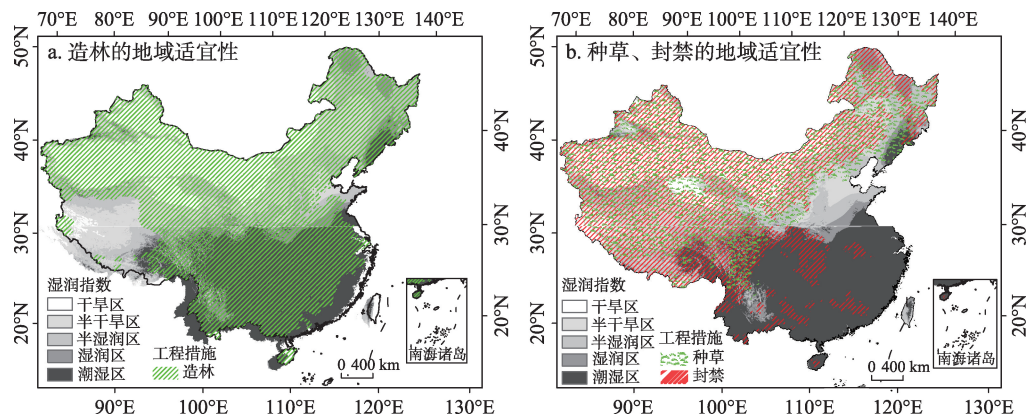


图7 造林、种草、封禁与生态系统分布规律的地域适宜性

Fig. 7 The distribution of afforestation, grass planting, enclosure and zonal suitability of ecosystem in China

保护项目在县域生态系统变化中的作用，结论表明生态保护项目数量与优良生态系统、植被覆盖度变化等反映生态状况改善的指标并未呈现正相关关系。首先，中国优良生态系统分布存在地带性差异，东北地区、南方亚热带区、青藏高原东南部的县域优良生态系统面积占比多高于50%，西北地区、西南喀斯特区、华北平原等县域优良生态系统占比多低于20%。其次，中国近几十年实施的生态保护项目多安排在典型生态脆弱区，比如青海三江源、藏东南、川西、祁连山、新疆南部等西部地区的县域生态保护项目数量多大于5个。2000-2015年，约53%县域的优良生态系统面积占比提高，黄土高原、黄淮海平原、京津冀、川黔渝、两广等地区的县域植被覆盖度明显上升，而新疆北部、西藏中部、内蒙古中东部等干旱半干旱区、长三角等区域植被覆盖度下降，说明影响区域生态系统变化的因素中，气候变化起主导作用<sup>[29-30]</sup>。因此，生态保护应遵循优良生态系统分布格局，气候变化背景下造林等工程措施应遵循自然规律。

4.2 讨论

未来的生态保护项目首先应在宏观层面明确需要保护和恢复的空间范围，依照中国县域生态系统地带性分异与适宜性规律进行统一规划设计与工程实施，减少不必要的项目重复或分散布局，针对不同类型区域实施分类保护，比如优良生态系统面积大于50%的县域，应以优质生态资源的保护为主，优先实施生态补偿，同时兼顾长期性生态建设成果巩固；生态保护项目实施后优良生态系统显著增加，或各类植被长势明显改善，生态退化得到有效遏制的县域，应以长期性生态建设成果的巩固为主，兼顾优质生态资源保护，固定投入成果巩固资金，定期开展监测与评估；对于有多项生态保护项目，但是生态保护效果不好、有待进一步提升的县域，应避免分散部署多项生态保护项目的问题，推进“多规合一”，对重点地区实施优化整合模式，对分散部署、生态成效有限的生态工程进行综合规划、整合、提升，统筹各类项目资金，形成资金合力，提高资金使用效率。

生态保护项目资金从上到下拨付过程中，一方面，上级政府为了平衡各方关系，往往会将转移支付资金再次分配，导致本该享受转移支付的县域所得转移支付资金被稀释；另一方面，部分地区的资金下达后存在私自扩大使用范围、补偿政策不透明、部门分摊等问题，从而大大降低了补偿资金使用效率，造成效果不明显。此外，各县域真正用于生态保护的转移支付资金比例较低，转移支付资金分配过程中，考虑更多的是地方的财政缺口、人口等因素，往往没有足够的资金用于生态保护。因此，以县域为基本单位



的绩效考评机制需要与生态保护成效挂钩,基于县域尺度生态保护效果监测评估,科学合理的建立激励和奖惩机制,考核生态环境保护类资金的投入情况及其产生的生态效益。

本文通过优良生态系统面积、植被覆盖度等指标开展以县域为基本单元的生态保护效果评价,可为中国县域生态环境质量考核、生态保护资金核定、生态工程规划实施等提供科学依据。不同于基于生态GDP或GEP政绩考核<sup>[22]</sup>的定性描述,不同于单一指标分级核定的定量描述<sup>[23-24]</sup>,也区别过于综合的指标评价可能掩盖实际效应<sup>[25]</sup>。本研究的不确定性主要体现在两个方面,一是优良生态系统的定义和划分,比如人工林中的桉树林、橡胶林及其他经济林以生产为目的,资源消耗和管理干扰大、生态效应低,不应归类为优良生态系统,但是由于其空间信息获取难度,本文中暂未考虑;另一方面,县域尺度统计分析难以辨识生态效应的提高或降低源于哪个具体项目,哪些生态保护项目产生成效,哪些没有成效,哪些项目叠加效果显著等等,需要进一步结合不同手段的具体项目效果开展深入探讨。

## 参考文献(References)

- [1] Fu Bojie. Trends and priority areas in ecosystem research of China. *Geographical Research*, 2010, 29(3): 383-396. [傅伯杰. 我国生态系统研究的发展趋势与优先领域. *地理研究*, 2010, 29(3): 383-396.]
- [2] Liu J, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, 2005, 435(7046): 1179-1186.
- [3] Liu Jiuyan, 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.]
- [4] Zhang Yongmin, Zhao Shidong. The condition and trends of the world's ecosystems. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(4): 403-409. [张永民, 赵士洞. 全球生态系统的状况与趋势. *地球科学进展*, 2007, 22(4): 403-409.]
- [5] State Forestry Administration of the People's Republic of China. Development Report of the Three-North Shelter Forest System in the Past 30 Years (1978-2008). Beijing: China Forestry Publishing House, 2008. [国家林业局. 三北防护林体系建设30年发展报告(1978-2008). 北京: 中国林业出版社, 2008.]
- [6] State Forestry Administration of the People's Republic of China. National Report on Ecological Benefit of Grain for Green Program (2015). Beijing: China Forestry Publishing House, 2016. [国家林业局. 退耕还林工程生态效益监测国家报告(2015). 北京: 中国林业出版社, 2016.]
- [7] State Forestry Administration of the People's Republic of China. National Report on Ecological Benefit of Natural Forest Resources Protection Program in Key State-owned Forest Area in Northeastern China and Inner Mongolia (2015). Beijing: China Forestry Publishing House, 2016. [国家林业局. 天然林资源保护工程东北、内蒙古重点国有林区效益监测国家报告(2015). 北京: 中国林业出版社, 2016.]
- [8] Huang Lin, Cao Wei, Gong Guoli, et al. Spatial and temporal variations in ecosystems in the three northern regions of China, 2000-2010. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(1): 107-117. [黄麟, 曹巍, 巩国丽, 等. 2000-2010年中国三北地区生态系统时空变化特征. *生态学报*, 2016, 36(1): 107-117.]
- [9] Li Shuangshuang, Yan Junping, Wan Jia. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia region. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(7): 960-970. [李双双, 延军平, 万佳. 近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征. *地理学报*, 2012, 67(07): 960-970.]
- [10] Wang Lang, Fu Bojie, Lv Yihe, et al. Spatio-temporal variations of vegetation cover in northern Shaanxi Province under the background of ecological restoration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2109-2116. [王朗, 傅伯杰, 吕一河, 等. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2109-2116.]
- [11] Shao Quanqin, Fan Jiangwen, Liu Jiuyan, et al. Assessment on the effects of the first-stage ecological conservation and restoration project in Sanjiangyuan region. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 3-34. [邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 等. 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.]
- [12] Shao Quanqin, Liu Jiuyan, Huang Lin, et al. Integrated assessment on the effectiveness of ecological conservation in Sanjiangyuan National Nature Reserve. *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1645-1656. [邵全琴, 刘纪远, 黄麟, 等. 2005-2009年三江源自然保护区生态保护和建设工程生态成效综合评估. *地理研究*, 2013, 32(9): 1645-1656.]
- [13] Liu Jiuyan, Xu Xinliang, Shao Quanqin. The spatial and temporal characteristics of grassland degradation in the Three-

- River Headwaters Region in Qinghai Province. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(4): 364-376. [刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近30年来青海三江源地区草地退化的时空特征. *地理学报*, 2008, 63(4): 364-376.]
- [14] Wang Tao, Wu Wei, Xue Xian, et al. Spatial-temporal changes of sandy desertified land during last 5 decades in Northern China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 203-212. [王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化. *地理学报*, 2004, 59(2): 203-212.]
- [15] Zhuo Li, Cao Xin, Chen Jin, et al. Assessment of grassland ecological restoration project in Xilin Gol grassland. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5): 471-480. [卓莉, 曹鑫, 陈晋, 等. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价. *地理学报*, 2007, 62(5): 471-480.]
- [16] Wang S, Fu B, Piao S, et al. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*, 2015, 9: 38-41.
- [17] Deng L, Liu G B, Shangguan Z P. Land-use conversion and changing soil carbon stocks in China's 'Grain-for-Green' Program: A synthesis. *Global Change Biology*, 2014, 20(11): 3544-3556.
- [18] Wang Bing, Zhang Guanghui, Liu Guobin, et al. Ecological and environmental evaluation for water and soil loss comprehensive harness in loess hilly region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(20): 150-161. [王兵, 张光辉, 刘国彬, 等. 黄土高原丘陵区水土流失综合治理生态环境效应评价. *农业工程学报*, 2012, 28(20): 150-161.]
- [19] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. The 13th Five-year Plan Outline of National Ecological Protection. 2016. [环境保护部. 全国生态保护“十三五”规划纲要. 2016.]
- [20] Li Shidong, Zhai Hongbo. The comparison study on forestry ecological projects in the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1976-1982. [李世东, 翟洪波. 世界林业生态工程对比研究. *生态学报*, 2002, 22(11): 1976-1982.]
- [21] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences. Investigation and Assessment of National Ecological Environment by Remote Sensing for Ten Years from 2000 to 2010. Beijing: Science Press, 2017. [环境保护部, 中国科学院. 全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查与评估. 北京: 科学出版社, 2017.]
- [22] Liu Yansui, Liu Yu, Chen Yufu. Territorial multi-functionality evaluation and decision-making mechanism at county scale in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(10): 1379-1389. [刘彦随, 刘玉, 陈玉福. 中国地域多功能性评价及其决策机制. *地理学报*, 2011, 66(10): 1379-1389.]
- [23] Liu Haijiang, Zhang Jianhui, He Lihuan, et al. Analysis of the status and spatial distribution patterns of county-level eco-environmental quality of China. *Environmental Monitoring of China*, 2010, 26(6): 62-65. [刘海江, 张建辉, 何立环, 等. 我国县域尺度生态环境质量状况及空间格局分析. *中国环境监测*, 2010, 26(6): 62-65.]
- [24] Liu Rui, Wang Shixin, Zhou Yi, et al. Ecological environment condition evaluation mode of county region based on remote sensing techniques. *China Environmental Science*, 2012, 32(1): 181-186. [刘瑞, 王世新, 周艺, 等. 基于遥感技术的县级区域环境质量评价模型研究. *中国环境科学*, 2012, 32(1): 181-186.]
- [25] Li Guoping, Liu Qian, Zhang Wenbin. Transfer payment system in the national key ecological function area and the ecological environmental quality: Empirical study based on the countryside data of Shaanxi province. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2014, 34(2): 27-31. [李国平, 刘倩, 张文彬. 国家重点生态功能区转移支付与县域生态环境质量: 基于陕西省县级数据的实证研究. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2014, 34(2): 27-31.]
- [26] Ministry of Finance of the People's Republic of China. Notice on the issuance of The Transfer Payment Method for National Key Ecological Function Areas. 2011. [中华人民共和国财政部. 关于印发《国家重点生态功能区转移支付办法》的通知(财预[2011]428号). 2011.]
- [27] Allen RG, Pereira LS, Raes D et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: United Nations Food and Agriculture Organization, 1998: 15-86.
- [28] Thornthwaite C. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 1948, 38(1): 55-94.
- [29] Yue T X, Zhao N, Ramsey R D et al. Climate change trend in China, with improved accuracy. *Climatic Change*, 2013, 120(1): 137-151.
- [30] Lü Y, Zhang L, Feng X et al. Recent ecological transitions in China: Greening, browning, and influential factors. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 8732.

## Spatial variation pattern of ecological conservation and its zonal suitability at the county level in China

HUANG Lin<sup>1</sup>, ZHENG Yuhan<sup>1,2</sup>, XIAO Tong<sup>3</sup>

(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;

3. Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China)

**Abstract:** China's investments, financial incentives and deductions on ecological conservation are based on the county level. Therefore, the monitoring and assessment on the effects of ecological conservation at the county level is significant to provide a scientific basis to the ecological and environmental quality assessment of counties. This paper quantitatively estimated the dynamics of high-quality ecosystems and the vegetation coverage in the past 15 years, and examined its relationships with the number of ecological conservation programs at the county level. Then it assessed and discussed the effects of ecological conservation measures in county's ecological changes and its regional suitability. The results showed that the proportion of high quality ecosystems higher than 50% was primarily observed in counties of Northeast China, subtropical southern China and southeastern Qinghai-Tibet Plateau, and the proportion lower than 20% was mostly found in counties of Northwest China, karst region of Southwest China and the North China Plain. In recent decades, ecological conservation focused on ecological fragile regions, so there are more than five ecological conservation programs in most counties of the Three Rivers Source Region in Qinghai Province, southeastern Tibet, western Sichuan, Qilian Mountains, southern Xinjiang and other parts of Western China, while there is one or no one found in coastal eastern China. In the past 15 years, the area proportion of high-quality ecosystems in 53% of the counties has increased. The vegetation coverage of counties in the Loess Plateau, Huang-Huai-Hai Plain, Beijing-Tianjin-Hebei region, Sichuan-Guizhou-Chongqing, and Guangdong and Guangxi provincial units has increased significantly. However, it has decreased in northern Xinjiang, central Tibet, central and eastern Inner Mongolia, Yangtze River Delta and other parts of China. The relationships between the numbers of ecological conservation programs and the indicators responding ecosystem restoration such as high-quality ecosystem and vegetation coverage do not show positive correlations. It is recommended that ecological conservation projects should be planned and implemented according to the distribution of high-quality ecosystems, and the restoration measures such as afforestation should follow natural principles and regional variations under the background of climate change.

**Keywords:** county level; ecological conservation; high-quality ecosystem; spatial variation; suitability assessment; China