

中国林下经济发展与森林生态保护协调效应及其障碍因素研究¹

窦亚权 陈幸良

(中国林业科学研究院 林业科技信息研究所 北京 100091)

摘 要: 林下经济作为一种有效利用森林生态系统实现农民经济收入提升同时兼顾森林生态保护的发展模式, 其与森林生态系统的协调发展将关系到产业发展的可持续性和生态系统的稳定性。本文采用熵值法从产业发展水平、产业保障能力、森林资源禀赋和生态保护举措 4 个二级指标以及林下经济产业总产值、林业科技服务推广从业人员、人工造林面积占比和森林覆盖率等 11 个三级指标, 构建林下经济发展和森林生态保护综合评价指标体系。运用耦合协调度模型和障碍度模型, 测度 2012-2022 年我国林下经济发展与森林生态保护耦合协调度及其时空演变特征, 有效识别影响两者协调的障碍因素。结果发现: (1) 林下经济发展水平处于波动上升趋势, 呈现“西低东高、北低南高”空间格局, 主产区集中在东南地区。(2) 森林生态保护水平基本稳定, 呈现“中间低南北高”空间格局。(3) 我国林下经济发展与森林生态保护长期处于高水平磨合阶段, 耦合协调效应稳步增强, 呈现“西北低东南高”空间格局。(4) 林下经济产业总产值和人均森林蓄积量是影响两者协调发展的主要因素。因此, 应提高林下经济产业经营水平, 精准提升森林质量, 真正实现林下经济高质量发展和森林生态高水平保护协调统一。

关 词: 林下经济系统; 森林生态系统; 耦合协调; 障碍因素; 高质量发展; 高水平保护

Coordination Effect and Obstacle Factors between Non-timber Forest-based Economy Development and Forest Ecological Protection in China

Ya-Quan Dou Xing-Liang Chen

(¹ Research Institute of Forestry Policy and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Non-timber forest-based economy is a development model that effectively utilizes forest ecosystem to improve farmers' economic income while taking into account forest ecological protection. The coordinated development of non-timber forest-based economy and forest ecosystem will be related to the sustainability of industrial development and the stability of ecosystem. In this paper, we use the entropy method to construct a

基金项目: 国家林业和草原局软科学研究项目“林下经济产业发展高质量政策研究” 云南省哲学社会科学规划社会智库项目资助“云南林下经济发展现状与提升路径研究”(SHZK2024339); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金项目“林药复合经营对林分生长、碳储量及土壤的影响”(CAFYBB2023MB00102)

第一作者: 窦亚权, 男, 博士研究生, 研究方向为林下经济、生态产品价值实现、森林资源与环境经济等, E-mail:douyq@caf.ac.cn

通讯作者: 陈幸良, 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为林下经济与农林复合经营、森林生态经济等, E-mail:chen62889299@126.com

comprehensive evaluation index system of non-timber forest-based economy development and forest ecological protection from four secondary indexes, such as industrial development level, industrial security ability, forest resource endowment and ecological protection measures, and 11 tertiary indexes, such as gross output value of non-timber forest-based economy, practitioners of forestry science and technology service promotion, proportion of planted forest area and forest coverage rate. We measure the coupling coordination degree of non-timber forest-based economy development and forest ecological protection from 2012 to 2022 and its spatio-temporal evolution characteristics by the coupling coordination degree model and obstacle degree model, and effectively identify the obstacle factors affecting the coordination of the system in China. Results show that: (1) The economic development level of non-timber forest-based economy was in a fluctuating upward trend, showing a spatial pattern of "low in the west, high in the east, low in the north and high in the south", and the main output value area was concentrated in the southeast region. (2) The level of forest ecological protection is basically stable, showing a spatial pattern of "low in the middle and high in the north and south". (3) Non-timber forest-based economy development and forest ecological protection have been in a high-level running-in stage for a long time in China, and the coupling coordination effect has been steadily enhanced, showing a spatial pattern of "low in the northwest and high in the southeast". (4) The total output value of the economic industry and the per capita forest stock are the main factors affecting the coordinated development of the system. Therefore, we should improve the level of economic and industrial management under the forest, accurately improve the forest quality, and truly realize the coordination and unification of high-quality development of non-timber forest-based economy and high-level protection of forest ecology.

Key words: Non-timber forest-based economy system; Forest ecosystem; Coupling coordination; Obstacle factors; High quality development; High level protection

森林生态系统是陆地生态系统中面积最多、功能最重要的自然生态系统,对维系整个地球的生态平衡起着至关重要的作用,是人类赖以生存和发展的资源与环境(雷相东,2024)。随着我国社会经济的快速发展,人们逐渐意识到森林资源在缓解生态保护和经济发展矛盾中的定位和作用,相继出台或实施了促进森林资源保护、林业产业发展的制度和工程。1998年,我国启动实施了天然林资源保护工程,将天然林保护起来作为维护国家生态安全的重要基础,充分发挥森林资源在维护生态平衡和国土安全中的作用(黄颖利等,2020)。2008年,我国全面推进集体林权制度改革,林农拥有了林地的经营权和使用权,农民成为林地经营的主体,其经营积极性和主动性明显提高。但森林资源保护工程或项目的实施,在一定程度上限制了林业产业的发展。在此背景下,林下经济这种既能有效保护森林资源,又可以促进林区经济发展的经营模式应运而生(窦亚权等,2020)。2018年,《林下经济术语》(T/CSF001—2018)从术语定义层面规范了林下经济的学术研究,有效推动了林下经济产业实践发展(陈幸良,2022)。截至2022年底,我国林下经济经营利用面积超6亿亩,林下经济产值超过1万亿元,

从业人数达3400万人,林下经济成为林区广大农民最适应、最熟悉的产业发展模式,是林区经济发展的优势产业、供给侧结构调整的特色产业、乡村产业振兴的支柱产业(顾健等,2024)。2023年9-10月,习近平总书记在视察黑龙江省、江西省时,多次强调通过发展林下经济,增加农户收入,“林下经济”再次受到国家层面的重视和关注。特别是在树立大食物观理念、深化集体林权制度改革、巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接等时代背景下,林下经济产业发展迎来了前所未有的机遇。但我国林下经济的优势和潜力尚未充分激发,特别是生态优先的林下经济协调理念树立不牢固,高质量发展仍面临不少问题。

一直以来,森林资源的保护和利用问题都是学术界持续关注的热点问题。特别是在贫困林区,如何充分利用丰富的森林资源促进区域经济发展,有效破解“资源陷阱”困境成为社会各界重视的话题(张智光,

2022)。森林资源的保护对森林资源的利用起到基础性作用,同时森林资源的利用又监督着森林资源的保护,对森林资源保护提出要求(王旭,2016)。如果对森林资源只有保护没有开发,那么森林资源就失去了为经济进步做服务的作用,如果对森林资源只有利用和开发而没有保护,那么生态环境就会急剧恶化(张钰明,2023)。所以他们两者之间是相辅相成,互相影响、互相作用的关系(吴秀琼,2018)。因此,应充分处理好森林保护与利用二者之间的关系,以实现森林长期利用的目的,要想实现森林的长期可持续利用就必须对森林进行有效地保护。林下经济是一种可以兼顾森林生态保护和区域经济发展的充分利用森林资源的可持续发展模式(窦亚权等,2024)。发展林下经济具有正向的生态效应,具体表现为:一是提高森林生态系统固碳能力。林下经济对于改善农业生态系统的生态功能、减排固碳有着重要作用,是应对气候变化的一条重要途径(Murthy I K, 2013; Lorenz, K, 2014)。从长远来看,将传统单一的产业模式转变为复合经营的农林系统的做法可以提高土壤有机碳和养分,通过提高固碳能力来改善气候变化缓解战略。二是保护森林生态系统多样性。林下经济对维持生物多样性具有很强的积极影响(Felton, A et al., 2010; De Beenhouwer, M et al., 2013; Torralba, M, 2016),其经营系统可以为多种物种提供食物、栖息地以及其他资源(Jose, S, 2009)。三是维持森林生态系统稳定性。林下经济可以改善调节生态系统服务,如养分保留、侵蚀控制、碳封存、授粉、害虫控制和降低火灾风险,以及增加文化服务,如娱乐、美学和文化遗产价值(McAdam, J.H et al., 2009; Smith, J et al., 2012; Tsonkova, P et al., 2012)。部分学者认为林下经济发展会对森林生态环境造成负面影响(Muler et al., 2014; Graf et al., 2022; 袁婉潼等, 2022; 高承芳等, 2018; 侯伟丽和韦洁, 2019)。林下经济产业的发展必须考虑经济与环境的平衡,当林下经济经营或森林经营开发行为处于当地森林生态环境的承载力之内,则能够实现经济效应与环境效应的协调发展;一旦林下经济经营或森林经营开发行为超出当地森林生态环境的承载力时,当地经济效应与环境效应的协调发展将难以实现(Ehara et al., 2016; 吴伟光等, 2019; 吴娟和陈建成, 2022)。总之,在适度规模的经营下,林下经济可以产生生态反馈效应,经营主体不再单纯追求经济利润最大化,而是通过降低林地要素的投入来提高林地资源的生态反馈效应,从而提升环境效应,最终实现经济效应与环境效应的协同发展(吴伟光等, 2023)。

林下经济是一种充分以森林生态系统为载体的产业发展模式,一旦森林生态系统遭到破坏,林下经济发展也将会受到不同程度的影响。林下经济发展水平与森林生态系统是否协调将关系到产业的可持续发展,也影响着森林生态系统的稳定性。我国森林生态和林下产业进入高水平保护和高发展阶段,如何统筹推进两者协调发展,是深入推动生态文明建设的重要任务,也是全面实现乡村振兴的关键环节,更是全面推进美丽中国建设的核心所在。基于此,本文试图从全国尺度探究我国林下经济发展与森林生态保护耦合协调现状及其时空分布格局,分析影响两者协调发展的主要因素,提出实现林下经济高质量发展和森林生态高水平保护的对策建议,以期推动林业发展迈入新阶段、缓解林区经济发展和生态保护的矛盾关系。

1 林下经济系统与森林生态系统协调机理分析

自古以来,森林资源为人类生存提供了木材、油料、果食、药物等重要的物质产品以及涵养水源、固碳释氧、净化空气等必要的生态服务,不断推动人类社会进步和经济发展。以森林资源为主体的生物资源和非生物资源及其他们之间的相关作用形成了复杂的森林生态系统。森林生态系统可以为人类生存和发展提供必要的支持服务、调节服务、文化服务和供给服务等多项功能。一方面,森林生态系统可以提供木质林产品、非木质林产品等类型丰富的经济产品和服务,从而促进林业产业的健康持续发展;但由于森林资源的稀缺性和有限性,资源总量无法满足产业发展需求,可能制约林业产业高质量发展。同时,林业产业

发展水平越高，区域经济总值越高，对森林资源保护的投资力度也就越大，从而能够有效提高森林资源数量和质量；但由于林业产业的快速发展，也可能会导致森林资源的过度消耗利用，从而破坏森林资源的数量和结构（谢煜等，2014）。另一方面，稳定的森林生态系统可以提供必要的森林资源存量和优质的森林资源结构，从而提高森林生态保护水平；但随着森林资源受到破坏，会导致森林资源总量减少和质量下降，影响森林生态系统服务能力，从而降低森林生态保护水平。同时，森林生态保护水平的提高将会加大森林资源的保护力度，从而增加森林资源的总量和优化森林资源的结构；但如果采取了不恰当的保护措施或忽视森林生态的保护，将会破坏森林资源总量和结构（廖冰等，2017）。因此，以森林资源为主体的森林生态系统分别与林业产业发展和森林生态保护之间相互影响、相互作用（图1）。森林资源的有限性和稀缺性决定林业产业发展与森林生态保护之间存在竞争关系，需要在森林生态系统提供的各项服务中人为选择将这些功能用于产业发展或生态保护。从生态学中的竞争共生原理分析，在一定的时间和空间内，由于森林资源承载力是恒定的，而林业产业发展和森林生态保护目标的差异导致两个子系统相关竞争。持续的竞争将导致林业产业发展子系统和森林生态保护子系统生态位的分异，而这种分异会导致共生，从而促进森林生态系统的稳定发展。实践证明：林业产业发展子系统必须与森林生态保护子系统有机融合与共生发展，才能发挥出良好的森林生态经济复合效应（张智光，2023）。

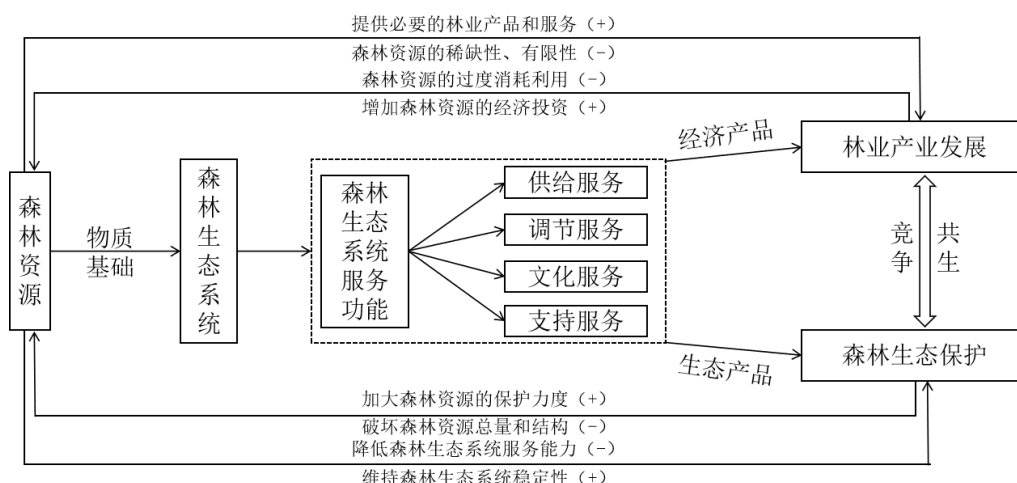


图1 林业产业发展与森林生态保护的相互作用关系

林下经济是一种依托森林生态系统发展而成的复合经营模式，森林生态系统可以为林下经济产业发展提供森林资源、非生物资源等丰富的资源基础；林下经济产业发展也将起到提高森林生态系统固碳能力、改善调节森林生态系统服务、增加森林文化服务功能等保护森林生态系统多样性和维持森林生态系统稳定性作用。但由于森林生态系统可以提供的资源有限，林下经济产业并不能无限扩张和发展；且如果林下经济产业经营行为超出森林生态环境承载力，也会破坏森林生态系统服务功能。林下经济系统和森林生态系统相互作用、相互影响形成一个林下经济-森林生态复合系统。该复合系统的基本矛盾是具有增长型机制的林下经济系统对森林资源需求的无限性与具有稳定型机制的森林生态系统对森林资源供给的有限性之间的矛盾。在林下经济-森林生态复合系统中，林下经济系统和森林生态系统2个共生单元处于赖以生存的森林资源与环境系统的共生环境下，通过一定的关系和作用形成互利共生、偏利共生和互害共生3种共生模式（图2）。互利共生是指林下经济系统和森林生态系统相互均为正向影响，达到一种林下产业发展水平高和森林生态系统稳定性强的协调状态。偏利共生有两种情况：一是注重林下经济产业的发展而忽视森林生态系统的保护，从而造成因森林资源利用强度大而破坏森林生态系统稳定性的结果；二是过度强调森

林生态系统的保护力度而忽视林下经济产业发展，从而导致森林资源丰富和生态系统脆弱地区与林业产业发展水平低和生活水平落后贫困并存的困境。互害共生是指林下经济系统和森林生态系统相互均为负向影响，由于林下产业发展超过森林资源环境承载力而破坏森林生态系统服务功能，同时长期破坏森林生态系统将导致森林资源匮乏，从而形成的林下经济产业发展水平低和森林生态系统稳定性差的局面。因此，互利共生是林下经济系统和森林生态系统达到的最佳状态，也是林下经济高质量发展和森林生态高水平保护的必然要求。互害共生是最不理想的状态，也是最不利于实现可持续发展目标的一种模式。偏害共生是处于互利共生和互害共生之间的过渡状态，是一种不稳定状态。

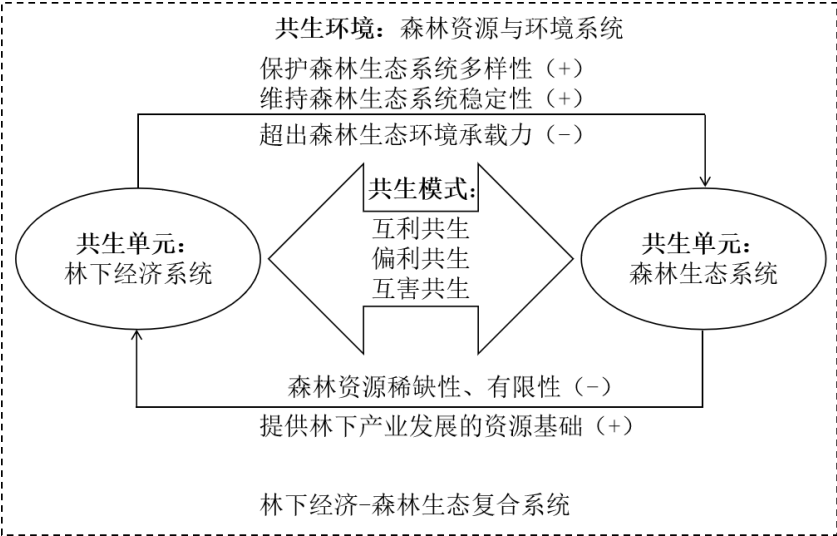


图 2 林下经济系统与森林生态系统的共生作用机制

2 材料与方法

2.1 评价指标体系

本文遵循科学性、系统性、典型性和可操作性的原则，以客观综合评价区域林下经济发展和森林生态保护水平为目标，构建林下经济发展-森林生态保护评价指标体系。首先，参考借鉴现有文献资料和研究成果（黄智君，2022；郝立丽等，2021；刘奕汝等，2023；吕洁华等，2019；李雪玲，2017），结合本文的研究目标和内容，筛选出现频次高的相关指标。其次，与林下经济发展和森林生态保护领域的专家学者充分讨论，参考专家意见初步确定符合评价要求的指标体系。最后，运用 Stata 软件剔除高度相关的指标，保留影响程度高、数据可获得的系列指标，从而构建出包含产业发展水平、产业保障能力、森林资源禀赋和生态保护举措等 4 个准则层以及 11 个指标层的综合评价指标体系（表 1）。

表 1 林下经济发展与森林生态保护综合评价指标体系*

目标层	准则层	指标层	指标属性	权重
林下经济发展	产业发展水平	X1：林下经济产业总产值（万元）	正向	0.646
		（0.676）X2：林下经济完成投资情况（万元）	正向	0.030
	产业保障能力	X3：林业科技服务推广从业人员（人）	正向	0.142
		（0.324）X4：乡镇林业站数量（个）	正向	0.080
		X5：林农专业技术培训（人次）	正向	0.102
森林生态保护	森林资源禀赋	Y1：森林覆盖率（%）	正向	0.083
		（0.763）Y2：人均森林蓄积量（万 m3/人）	正向	0.680

生态保护举措 (0.237)	Y3: 人工造林面积占比 (%)	正向	0.075
	Y4: 森林生态保护投资占比 (%)	正向	0.137
	Y5: 森林火灾受害面积 (万 m ³)	负向	0.022
	Y6: 森林病虫害防治率 (%)	正向	0.004

* 人均森林蓄积量=地区森林总蓄积量/地区总人口; 人工造林面积占比=人工造林面积/森林面积×100%; 森林生态保护投资占比=地区森林生态保护总投资/GDP×100%;

2.2 研究方法

耦合度可用于分析两个及两个以上系统之间通过相互作用而产生的影响现象及程度。当子系统之间存在脱节、欠协调情况时, 会使得上述子系统间的耦合协调度下降, 从而影响区域高质量发展。将林下经济发展-森林生态保护看成一个内容广泛、结构复杂并具有耦合特征的开放性系统, 深入理解两者间的相互作用机理是解决林下经济高质量发展与森林生态高水平保护协调的首要问题。为此, 本文在厘清各子系统的内在联系与逻辑关系的基础上构建耦合协调模型和障碍度模型, 测度我国林下经济发展与森林生态保护协调效应及影响因素。

2.2.1 熵值法 (Entropy Evaluation Method)

熵值法最早被用于物质系统能力衰退程度的度量, 现常被用到通过计算指标项的信息熵来确定指标的权重。本文将采用熵值法确定林下经济发展系统和森林生态保护系统各评价指标的权重以及各子系统的综合发展水平。

(1) 对指标层的原始数据做标准化处理, 以消除不同量纲的影响。本文采用极差标准化处理方法。公式如下:

正向指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

(1)

负向指标:

$$y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

式中, y_{ij} 为标准化的值, x_{ij} 为原始数值, $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ 分别表示指标 x_{ij} 的最大值和最小值。

(2) 计算第 j 项指标的熵值:

$$q_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

$$e_{ij} = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (\alpha_{ij} \ln \alpha_{ij}) \quad (3)$$

式中, q_{ij} 和 e_{ij} 分别表示子系统 i 二级指标 j 的标准化指标值和信息熵值, m 和 n 分别表示指标对应的年份数和二级指标个数。

(3) 计算第 j 项指标的权重:

$$w_{ij} = \frac{(1-e_{ij})}{\sum_{j=1}^n (1-e_{ij})} \quad (4)$$

式中, w_{ij} 表示上述指标基于信息熵的权重, $\sum w_{ij} = 1$ 。鉴于指标标准化处理后, q_{ij} 包含 0 值, 因此在熵值计算中, 采取指标平移法, 对该指标加上 0.0001, 体现为式(4)中, $a_{ij}=q_{ij}+0.0001$ 。根据以上计算公式, 得出林下经济发展和森林生态保护两个子系统各指标具体权重, 见表 1。

(4) 计算子系统综合评价水平值:

$$f(x) \text{ or } f(y) = \sum w_{ij} * d_{ij} \quad (5)$$

式中 $f(x)$ 和 $f(y)$ 分别表示我国 31 个省(区)林下经济发展和森林生态保护的综合评价指数; d_{ij} 表示子系统 i 中二级指标 j 的标准化值, w_{ij} 表示上述指标基于信息熵的权重。

2.2.2 耦合协调度模型 (Coupling Coordination Degree Model)

(1) 耦合度模型

本文采用耦合度来计算林下经济发展与森林生态保护两个子系统的耦合作用程度, 反映我国林下经济发展和森林生态保护两个子系统之间的耦合关系。计算公式如下:

$$C = \sqrt{\frac{f(x)f(y)}{(\frac{f(x)+f(y)}{2})^2}} = 2 \frac{\sqrt{f(x)f(y)}}{f(x)+f(y)} \quad (6)$$

式中, C 为系统耦合度, 且 $C \in [0, 1]$, $f(x)$ 和 $f(y)$ 分别表示林下经济发展和森林生态保护系统的综合评价指数。耦合度 C 值越小, 表示系统内部各要素之间的联系程度较低, 呈现无序状态。

(2) 综合发展指数

综合发展指数可用于反映我国林下经济发展与森林生态保护两个子系统的综合发展水平。计算公式如下:

$$T = \alpha f(x) + \beta f(y) \quad (7)$$

式中, α 和 β 分别表示林下经济发展与森林生态保护两个子系统的综合评价指数的权重。已有研究大多是根据经验来判断 α 和 β 取值或子系统的重要性而赋值。鉴于森林资源保护与利用的同等作用以及森林生态保护和林业高质量发展战略, 结合专家意见, 取 $\alpha = \beta = 0.5$ 比较合理。

(3) 耦合协调度模型

耦合度可以定量分析并确定各子系统间的相互影响程度和发展秩序情况, 但不能有效反应系统间的综合发展水平, 当各子系统发展水平较低或较高时, 均会出现较高的耦合度, 仅仅依据耦合度难以预测研究系统的整体功效。因此, 需要构建两个子系统的耦合协调度模型, 在系统耦合度较高时, 分析上述各子系统的优劣等级。

耦合协调度 D 的计算公式如下:

$$D = \sqrt{C * T} \quad (8)$$

式中, D 为耦合协调度, $D \in [0, 1]$, D 越大则表示系统整体的耦合程度越高, D 越小表示系统整体的耦合协调程度越低, 当 $D=0$ 时, 表示系统整体呈绝对失调状态。

根据 D 值将耦合协调情况划分为 10 个等级，具体见下表。

表 2 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度 D 值区间	协调等级	耦合协调度
(0.0~0.1)	1	极度失调
[0.1~0.2)	2	严重失调
[0.2~0.3)	3	中度失调
[0.3~0.4)	4	轻度失调
[0.4~0.5)	5	濒临失调
[0.5~0.6)	6	勉强协调
[0.6~0.7)	7	初级协调
[0.7~0.8)	8	中级协调
[0.8~0.9)	9	良好协调
[0.9~1.0)	10	优质协调

2.2.3 障碍度模型 (Obstacle diagnosis model)

在明确我国 31 个省（区）林下经济发展与森林生态保护系统的耦合协调程度及各子系统间发展差异的基础上，进一步采取障碍度模型来分析影响两者协调发展的主要因素。计算公式如下：

$$M_{ij} = \frac{(1-d_{ij})w_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1-d_{ij})w_{ij}} \tag{9}$$

式中， M_{ij} 表示第 i 个系统第 j 项对系统耦合协调度的障碍度， M_{ij} 值越大，则表示该指标对系统耦合协调度的负面影响程度越高。 d_{ij} 表示指标的标准化值， n 表示指标的总数。 w_{ij} 则表示第 i 个系统第 j 项指标的权重。

2.3 数据来源

本文数据主要包括林下经济产业、森林资源、森林生态、人口经济等（不含港澳台地区）。其中，林下经济产值、林业科技服务推广从业人员等林下经济发展数据和森林覆盖率、森林蓄积量、人工造林面积等森林生态保护数据来自国家林业局的《中国林业统计年鉴》（2012 年-2018 年）以及国家林业和草原局的《中国林业和草原统计年鉴》（2019 年-2022 年）；人口、GDP 等数据来自于国家统计局的《中统计年鉴》（2012 年-2022 年）以及各省级行政单位统计局的《国民经济和社会发展统计公报》（2012 年-2022 年）。部分省级行政单位的缺失值采取线性插值法填补。

3 结果与分析

3.1 林下经济发展水平测度结果

2012-2022 年我国林下经济发展水平总体上呈现上升态势，综合评价指数由 0.087 增长到 0.136，表明我国林下经济发展取得了显著成效（图 3）。根据我国林下经济发展特点，将演进过程大致分为 3 个阶段。具体来看，2012-2016 年为稳定期，全国大部分省区处于林下经济发展探索期，产值相对稳定。2016-2019 年为平稳上升期，特别是浙江和江西涨势明显，累计增长率分别为 40%、35%。2019-2022 年为下降期，

受新冠疫情冲击,林下经济产品市场价格受到影响。究其原因,我国林下经济发展随着政策的实施不断发展。2012年,中央一号文件首次提出“林下经济”,同时出台《关于加快林下经济发展的意见》,为林下经济发展提供指导。2018年,中国林学会颁布《林下经济术语》,界定了“林下经济”主要术语,进一步规范“林下经济”发展。

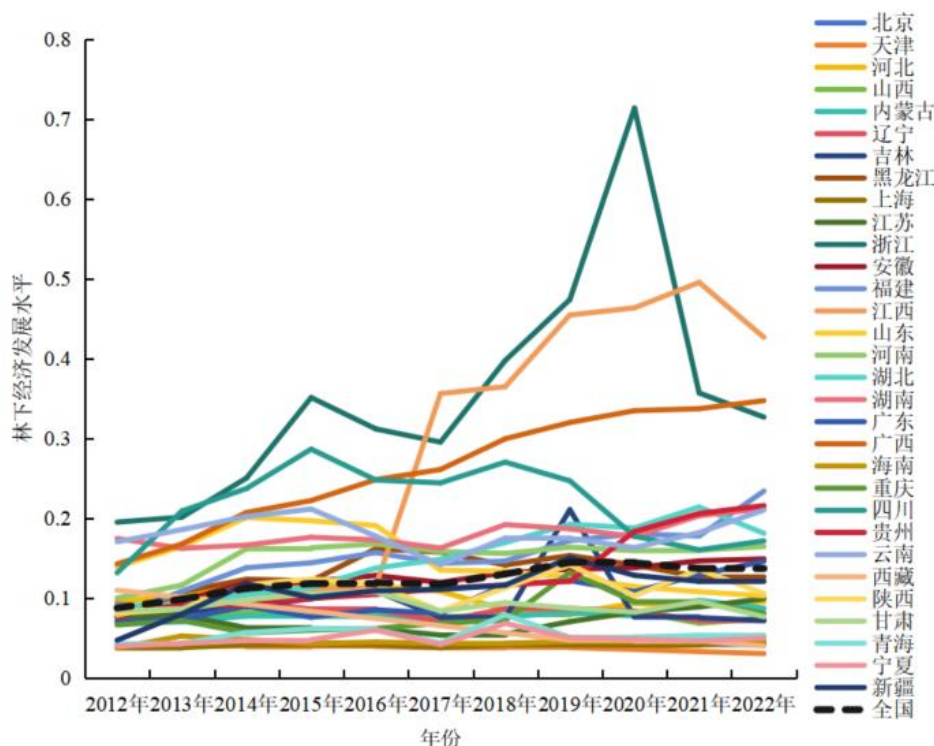


图3 2012-2022年林下经济发展水平的时 演进

采用自然断点法将2012-2022年内各年份林下经济发展水平分为高水平区、较高水平区、中等水平区、较低水平区和低水平区5个等级,选择2012年、2017年和2022年3个截面,运用ArcGIS软件绘制空间分布特征图(图4)。由图可见,2012-2022年期间我国林下经济发展水平呈现“西低东高、北低南高”空间分布格局,主产区集中在浙江、江西、广西等地区。可能归因于:其一,南方地区森林资源丰富、生态系统多样,为林下经济发展提供了林地资源和林荫空间,相比较我国北方特别是西北地区具有林下经济产业发展得天独厚的优势条件。其二,江西、福建等地区率先开展集体林权制度改革,完成明晰产权、放活经营权等重点任务,林农经营积极性较高,且林业产业发展配套设施相对完善,从而利于林下经济产业发展。其三,地方政策支持力度,江西、浙江等地出台了专门促进林下经济高质量发展的政策文件,有效指导林下经济产业健康发展。具体来看,2012-2017年低水平和较低水平区数量明显减少。河北、河南、安徽、湖北、贵州、福建、新疆和黑龙江省由低水平区转移为较低水平区,四川和广西省由较低水平区转移为中等水平区。2017年-2022年较高水平和高水平区数量有所增加。江西省由较高水平区转移为高水平区,广西、四川和浙江由中等水平区转移为较高水平区。

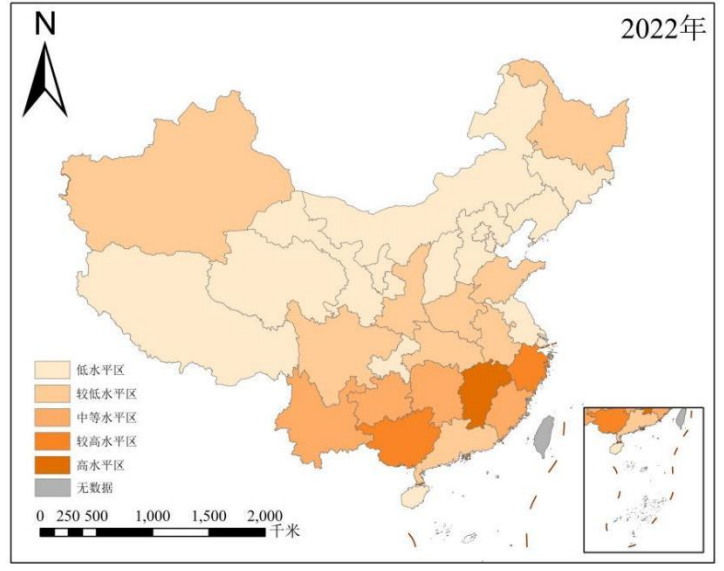
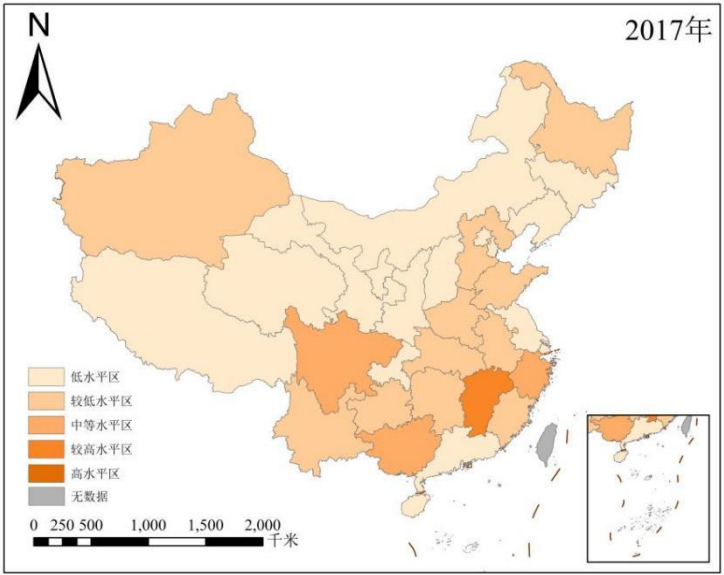
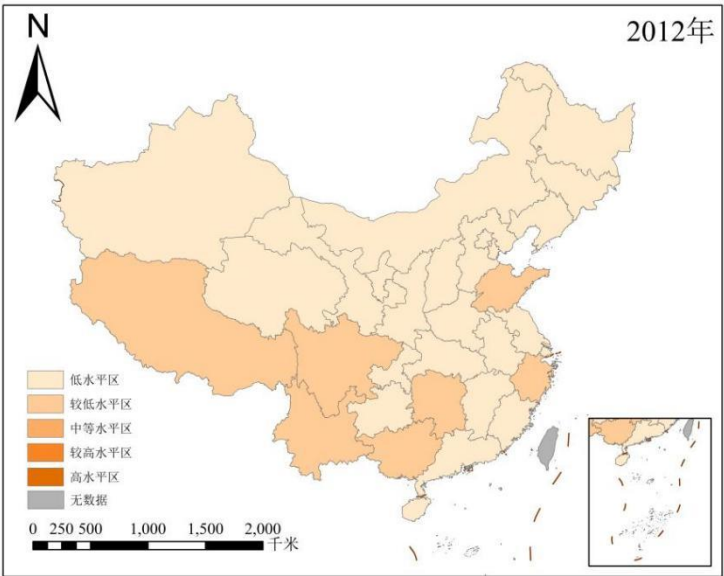


图 4 2012-2022 年林下经济发展水平的空 分布

3.2 森林生态保护水平测度结果

2012-2022 年我国森林生态保护水平总体上相对稳定，综合评价指数维持在 0.12 左右，表明我国森林生态保护水平相对较低，仍需进一步加强森林质量提升，有效提升森林生态系统服务水平（图 5）。究其原因，我国相继实施了天然林保护修复、“三北”防护林体系建设、退耕还林还草等一系列林业生态工程，森林资源总量持续增长，重点区域森林生态功能有所提升。但当前森林结构和质量不高，全国乔木林质量指数 $0.62 < 1$ ，整体仍处于中等水平，且人均森林蓄积量 12.35 立方米，仅为世界人均森林蓄积的 1/6，森林生态系统服务功能较弱。分区域看，东北和西南地区森林生态保护水平高于全国水平，其中广西平均为 0.18，贵州最高达到 0.21；西北地区远低于全国水平，其中青海和新疆平均水平仅为 0.06；中部地区基本与全国平均水平保持一致，稳定在 0.12 左右。

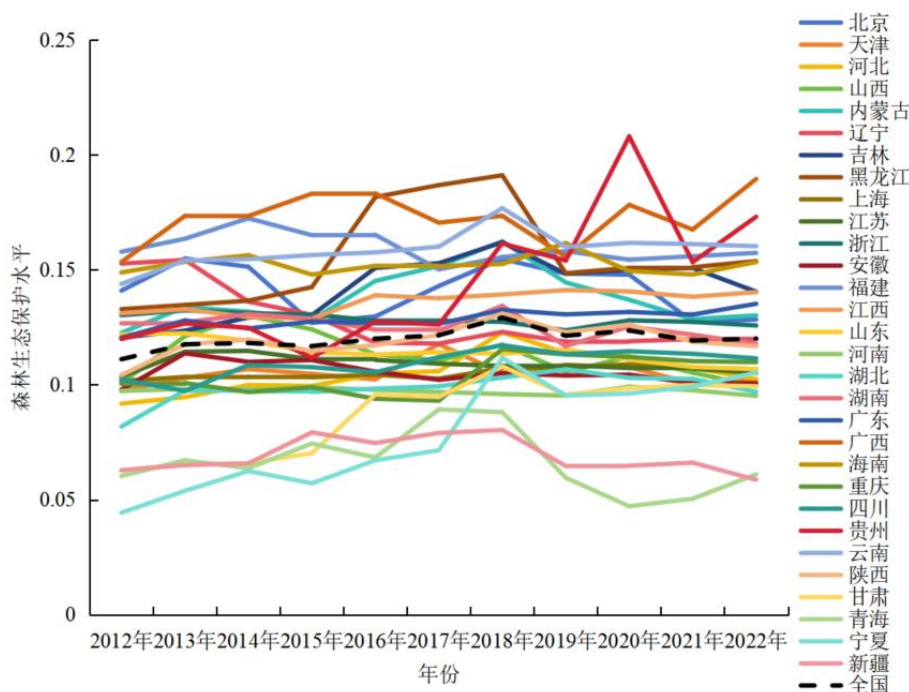
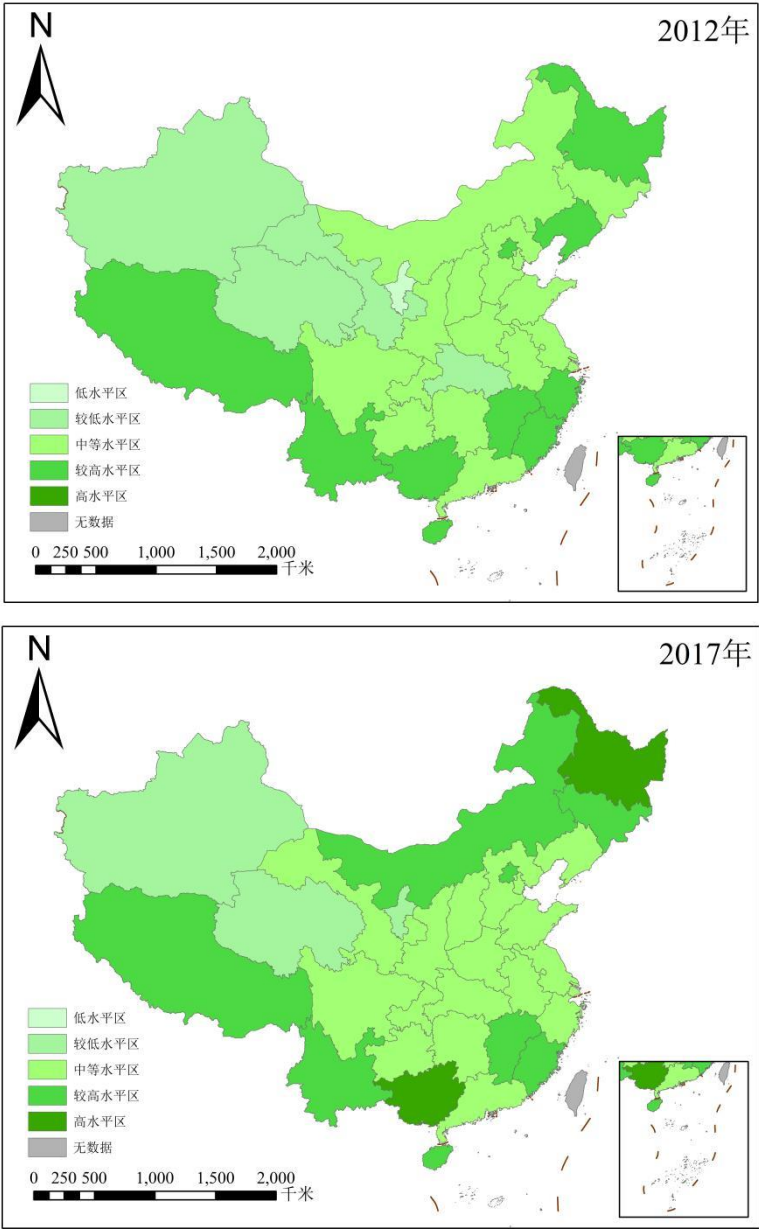


图 5 2012-2022 年森林生态保护水平的时 演进

采用自然断点法将 2012-2022 年内各年份森林生态保护水平分为高水平区、较高水平区、中等水平区、较低水平区和低水平区 5 个等级，选择 2012 年、2017 年和 2022 年 3 个截面，运用 ArcGIS 软件绘制空间分布特征图（图 6）。从空间分布看，总体呈现“中间低南北高”分布特征，高值区逐渐向西南地区移动，这与我国森林资源面积分布类似。原因可能源于：其一，云南、黑龙江、广西等地区森林面积较大，森林覆盖率较高，森林资源禀赋良好，从而森林生态保护水平较高。其二，相对于西北地区，东北和西南地区降水、气温、日照等自然条件更适宜林木生长，森林蓄积量增长较快。总体来看，我国森林生态保护高值区位于东北和西南地区，中部地区处于中等水平区，西北地区处于较低水平区，这表明具有明显的区域差异，表明我国森林生态保护成效不均衡。



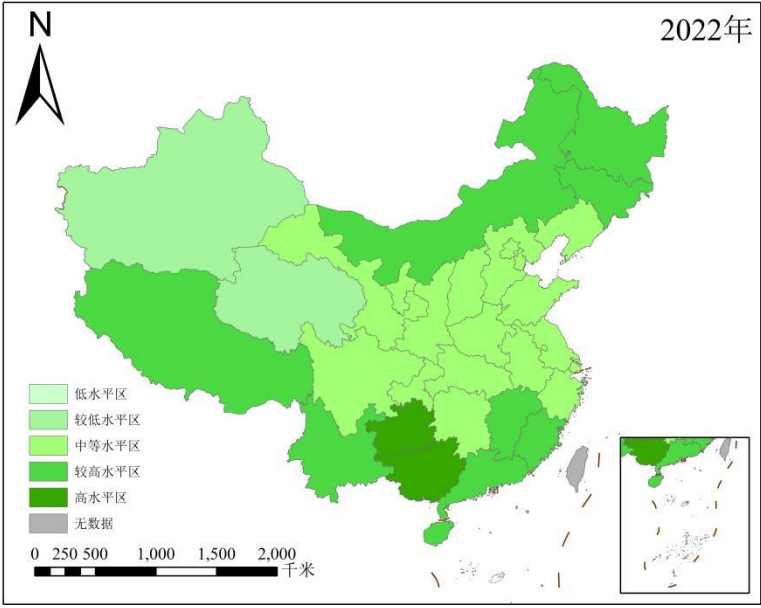


图 6 2012-2022 年森林生态保护水平的空 分布

3.3 林下经济发展与森林生态保护耦合协调度结果

运用耦合协调度模型，测度 2012-2022 年我国林下经济发展与森林生态保护协调关系，按照自然条件禀赋和经济发展水平，将我国分为东北、东部、中部和西部 4 个区域，进一步分析两者之间的耦合度和耦合协调度（表 3）。从耦合协调指数（C）来看，我国 2012-2022 年期间耦合度均在 0.9 以上，指数由 2012 年的 0.978 上升到 2022 年的 0.999，表明林下经济系统与森林生态系统两者具有很强的关联性，且相互作用、相互影响的关系愈发强烈。具体来看，中部耦合度水平最高，总体上呈下降态势；东北和西部地区次之，其中东北地区略微上升、西部地区稍有下降；东部地区相对较低。可能的原因在于：从全国层面看林下经济的发展在一定程度上保护了森林生态系统，且稳定的森林生态系统为林下经济发展提供了重要的资源基础，两个系统之间的相互关系越来越紧密。中部地区森林资源相对来说有限，林下经济发展对森林资源的依赖性也较大，但随着森林生态保护水平越来越高，这种依赖程度有下降趋势。

从耦合协调度指数（D）来看，我国 2012-2022 年期间林下经济发展与森林生态保护耦合协调度呈现上升趋势，但始终处于轻度失调状态，说明两个系统间的耦合协调程度水平不高，需要进一步加强系统间的协调发展水平。究其原因，一方面，我国林下经济发展水平还有很大提升空间，丰富的森林资源和林地空间并没有得到充分利用；另一方面，部分地区为了追求经济效益，缺乏合理的规划和科学的布局，可能会对森林生态系统造成影响，从而导致林下经济发展与森林生态保护协调水平不高。分区域来看，东北、东部、中部和西部地区耦合协调度逐渐上升，中部地区高于全国平均水平，西部地区和东北地区基本维持在全国水平，东部地区虽然从中度失调上升为轻度失调，但距全国水平仍有一定差距。可见，随着我国林下经济发展水平的不断提高，森林资源保护和利用的矛盾有所缓解，林下经济系统和森林生态系统趋于协调。具体来看，东北地区耦合协调度先增加后减少，总体上处于轻度失调状态。原因可能是，2012 年开始探索林下经济发展，随着林下经济的快速发展，东北地区丰富的森林资源有效得到，林下经济系统和森林生态系统协调关系有所改善，但由于国有林区改革的不断推进，林下经济发展出现瓶颈，从而导致森林资

源保护和利用矛盾凸显。东部地区经济发展水平较高，对森林生态保护的投入力度较大，森林生态保护水平较高，但森林资源生态价值并未有效转化为经济价值。中部地区森林资源得到了充分利用，且林下经济经营规模和技术没有对森林生态系统造成影响，因而林下经济发展与森林生态保护耦合协调程度较高。西部地区将林下经济产业发展看作是林区脱贫致富的重要举措，林区森林生态价值得到有效释放，林下经济系统与森林生态系统耦合协调程度明显上升。总之，我国各地区森林资源保护和利用矛盾问题得到有效缓解，但整体上森林生态系统蕴藏的经济价值还没有得到充分发挥，需要通过林下经济高质量发展促进林下经济系统与森林生态系统协调发展。

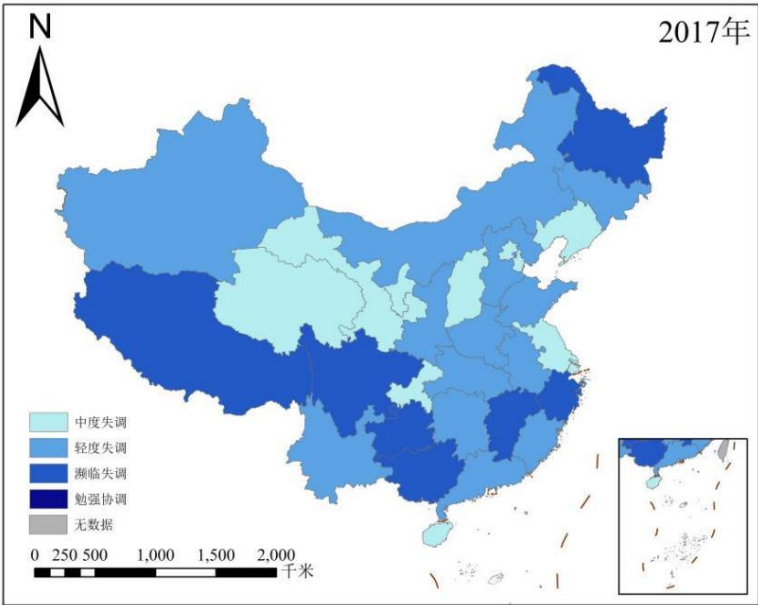
表 3 2012-2022 年分区域林下经济发展与森林生态保护耦合协调度

指标	区域	2012 年	2017 年	2022 年
耦合度指数 C	全国	0.978	0.996	0.999
	东北	0.964	0.968	0.969
	东部	0.930	0.923	0.933
	中部	0.989	0.970	0.952
	西部	0.959	0.938	0.935
耦合协调度指数 D	全国	0.321	0.354	0.369
	东北	0.313	0.340	0.323
	东部	0.298	0.311	0.325
	中部	0.315	0.370	0.385
	西部	0.311	0.334	0.348

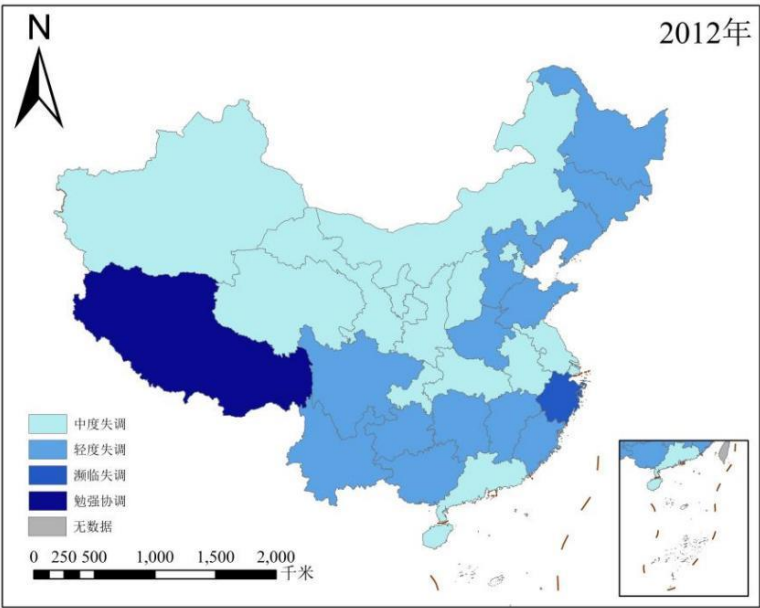
东北地区：辽宁、吉林、黑龙江（3 个省级行政区）；东部地区：北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南（10 个省级行政区）；中部地区：山西、河南、安徽、湖北、江西、湖南（6 个省级行政区）；西部地区：重庆、四川、陕西、云南、贵州、广西、甘肃、青海、宁夏、西藏、新疆、内蒙古（12 个省级行政区）

选择 2012 年、2017 年和 2022 年作为横截面，将耦合协调度划分为 4 个等级，从纵向维度比较分析林下经济发展与森林生态保护耦合协调关系的空间分异和演化特征（图 7）。结果显示，我国林下经济发展与森林生态保护耦合协调度呈现“西北低东南高”的空间分布特征。总体来看，2012-2022 年高值区集中于南方集体林权和东北国有林区；低值区多分布于西北生态脆弱林区，这表明相比东北和南方森林富集地区，我国西北地区的森林生态系统保护和林下经济产业发展协调任务艰巨。具体来看，2012 年耦合协调度主要为：中度失调阶段（16 个省区、51.62%）、轻度失调阶段（13 个省区、41.94%）、濒临失调阶段（1 个省区、3.2%）、勉强协调阶段（1 个省区、3.2%）。这主要是由于这个时期林下经济发展水平较低，特别是西北地区和中部部分地区，随着生态保护工程的持续推进，林下经济产值并没有因为森林生态系统的改善而得到提高，因此林下经济发展与森林生态系统耦合协调效应较低。2012-2017 年中度失调区域明显较少，濒临失调区域显著增加，总体空间演变较大。其中，新疆、内蒙古、广东、陕西、湖北和安徽地区由中度协调上升为轻度协调阶段；黑龙江、江西、广西、四川和贵州地区由中度协调上升为濒临失调状态。2017-2022 年，我国林下经济发展和森林生态保护耦合协调水平进一步得到改善。其中，江苏、重庆地区由中度失调上升为轻度失调状态；福建、湖南、云南地区由轻度失调上升为濒临失调状态；江西和广西由濒临失调上升为勉强协调状态。这主要得益于，在建立生态产品价值实现机制、林业高质量发展、实现林区全面振兴等政策的驱动下，我国林下经济发展水平不断提升，特别是江西、广西林下经济总产值超过千亿元，林

下产业发展充分利用了森林资源和林地优势，而且有效保护了森林生态系统。同时，近些年我国在精准提升森林质量方面做出了很大尝试和探索，为林下经济发展提供了稳定的资源基础。但部分省区的耦合协调状态也有下降趋势。如西藏和黑龙江由濒临失调下降为轻度失调状态，新疆由轻度失调下降为中度失调状态。这主要可能是由于林下经济经营过程中，为了追求高产，在林地内大量使用化肥、农药，导致草木受损、环境污染，或者林下种植超量灌溉，既浪费水资源，又影响林木生长，对森林生态系统造成破坏，从



而导致林下经济发展与森林生态系统协调程度下降。因而，通过林下经济发展可以充分利用森林生态系统，促进林下经济发展与森林生态保护协调共生，但林下经济经营模式也会破坏森林生态系统，从而制约两者的协调发展。



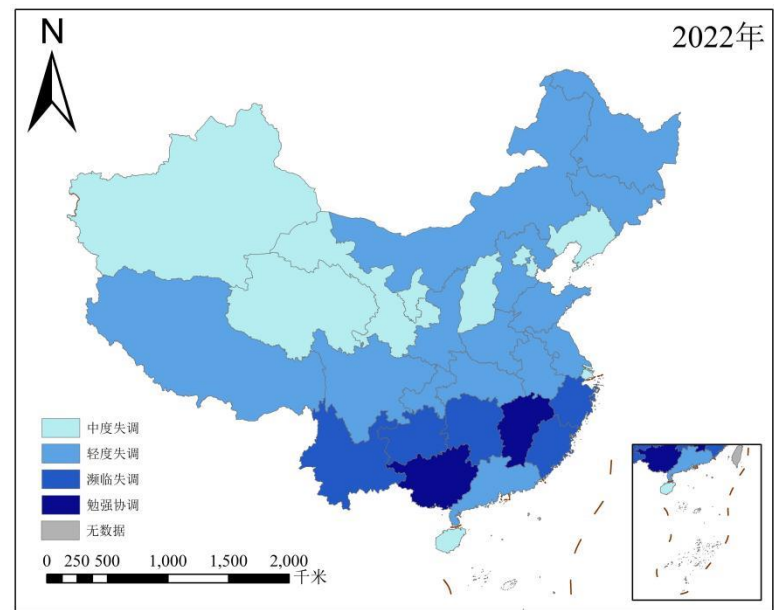


图 7 2012-2022 年林下经济发展与森林生态保护耦合协调的空 分布

3.4 林下经济发展与森林生态保护协调发展的 碍因素

利用障碍度模型，进一步分析影响我国林下经济发展与森林生态保护耦合协调的障碍因素。在林下经济发展系统中，产业发展水平为主要障碍因素，占比为 70.76%；其次为产业保障能力，占比为 29.24%。在森林生态保护系统中，森林资源禀赋为主要障碍因素，占比为 79.75%；其次为生态保护措施，占比为 20.25%。同时，2012-2022 年期间两个系统各指标的障碍度结构相对稳定。总的排序为：森林资源禀赋>产业发展水平>产业保障能力>生态保护举措。从指标层面看，障碍度排序为：人均森林蓄积量>林下经济产业总产值>林业科技服务推广从业人员>森林生态保护投资占比>林农专业技术培训>森林覆盖率>乡镇林业站数量>人工造林面积>林下经济完成投资完成情况>森林病虫害防治率>森林火灾受灾面积（表 4）。另外，林下经济发展系统中乡镇林业站数量和林农专业技术培训两个指标的障碍度呈上升趋势，表明随着林下经济的不断发展，技术问题制约林下经济发展与森林生态保护协调发展的作用逐渐强烈。

具体来看，在林下经济发展系统中，林下经济产业总产值和林业科技服务推广从业人员成为制约林下经济发展和森林生态保护协调发展主要障碍因素的原因可能是：其一，我国部分省区森林资源相对丰富，但林下经济产业发展产值不高，丰富的森林资源并没有得到有效利用，从而制约林下经济与森林生态保护协调发展。其二，林下经济是技术型产业，生产经营对技术要求较高，基层科技服务人员的缺乏可能会影响林下经济产业发展水平。因此，加强林下经济绿色技术应用，强化基层技术服务水平，提高林下经济产业产值，是实现林下经济产业与森林生态保护协调发展的重要着力点。在森林生态保护系统中，人均森林蓄积量和森林生态保护投资占比成为制约林下经济发展和森林生态保护协调发展主要障碍因素的原因可能是：其一，人均森林蓄积量是评价区域森林质量的重要指标，人均森林蓄积量将影响森林生态系统服务功能的发挥，从而限制林下经济持续发展。其二，加大投资力度是提高森林生态保护水平的关键，当前森林生态保护投资占比较少严重影响森林生态保护效果。因此，需要提升森林资源结构和质量，加强森林生态系统服务功能，为林下经济发展提供丰富的资源基础。

表 4 主要 碍因子及其 碍度

年份	林下经济发展系统/%				
	林下经济产业	林下经济完成	林业科技服务	乡镇林业站	林农专业技术培训
	总产值	投资情况	推广从业人员	数量	
2012	69.45	2.27	14.94	4.75	8.59
2017	67.83	2.28	15.43	5.61	8.84
2022	67.61	2.31	14.55	5.87	9.67

年份	森林生态保护系统/%					
	森林覆盖率	人均森林蓄积	人工造林面积	森林生态保	森林病虫害	森林火灾
		量		护投资占比	害防治率	受害面积
2012	6.33	73.10	5.74	13.58	1.21	0.03
2017	5.57	74.41	5.26	13.65	1.10	0.01
2022	5.18	74.2	4.94	14.79	0.90	0.01

4 结论与讨论

4.1 结论

本文在剖析林下经济系统与森林生态系统协调机理的基础上，构建林下经济发展与森林生态保护综合评价指标体系，运用熵值法、耦合协调度模型和障碍度模型，系统评价林下经济发展水平和森林生态保护水平，定量测度 2012–2022 年我国林下经济发展与森林生态保护耦合协调水平，时间演变特征和空间分布格局，识别障碍因素，为推动林下经济高质量和促进森林生态高水平保护提供科学依据和实证支撑。主要结论如下：

（1）2012–2022 年期间，我国林下经济发展综合评价指数由 0.087 增长到 0.136，呈现上升趋势，表明我国林下经济发展水平稳定提升。江西、广西和浙江地区累计增长分别达到 34%、20%和 13%，林下经济发展态势明显优于其他省区，成为我国林下经济发展的主产区，从而呈现出“西低东高、北低南高”的空间分布格局。

（2）2012–2022 年期间，我国森林生态保护综合指数基本稳定在 0.12 左右，各地区森林覆盖率和森林面积总量稳步提高，表明森林生态保护工作取得了明显成效。但森林生态保护水平相对较低，说明我国森林结构和质量有待提升，森林生态保护工作仍需加强。从空间格局看，森林生态保护水平呈现“中间低南北高”分布特征，高值区逐渐向西南地区移动。

（3）2012–2022 年期间，我国林下经济系统与森林生态系统耦合度指数均在 0.9 以上，表明两个系统长期处于相互影响、相互作用的高水平耦合阶段。且两个系统的耦合协调效应缓慢增强，整体上仍处于轻度失调的状态，表明林下经济发展与森林生态保护之间协调水平不高，两者的关系需要进一步优化。从空间分布看，林下经济发展与森林生态保护耦合协调度呈现“西北低东南高”的特征。

（4）林下经济产业总值和人均森林蓄积量是影响林下经济发展与森林生态保护协调的主要因素。其次，林业科技服务推广从业人员和森林生态保护投资占比也影响两者的协调发展。因此，应当加大技术投入力度，充分利用森林资源，提高林下经济发展水平，同时加大森林生态保护资金投入，提升森林质量和

结构,从而推动林下经济发展和森林生态保护协调共生。

4.2 讨论

基于本文研究发现,为促进林下经济高质量发展和森林生态高水平保护协调,可以从以下几个方面着手:一是提高林下经济发展水平。在保护森林生态环境的前提下,提高森林资源利用率,科学利用森林立体空间,开展适度规模经营,引导林下经济产业健康、有序、快速发展。二是精准提升森林质量。在保障森林总量稳步提升的同时,根据林分特点和主导功能实施精准化经营方案和措施,科学提升森林经营水平,提高林地生产力和人均森林蓄积量,培育稳定健康优质高效的森林生态系统。三是加大资金和技术投入力度。一方面,增加林业基层从业人员,提升技术服务水平,提高林下产业科技含量,提高产品产量和经济产值,为森林生态系统提供必要的资金支撑;另一方面,加强森林生态保护资金投入力度,优化改善森林结构,科学精准提升森林质量,为林下经济发展提供丰富的资源基础,

本文在阐释林下经济系统和森林生态系统共生协调机理基础上,针对两个系统的关系展开耦合协调分析,识别影响系统协调发展的障碍因素,具有重要的理论和实践意义。在理论上,将共生协调理论运用到林下经济发展和森林生态保护关系的分析中,可以丰富新时期森林资源保护和利用关系的研究文献,进一步诠释“绿水青山就是金山银山”的深刻内涵。在实践上,可以为制定林下经济发展高质量发展和森林生态高水平保护政策提供参考和依据,实现森林多功能经营目标,探索林下经济可持续发展路径。然而,本文作为从全国尺度层面对林下经济系统与森林生态系统关系的初步探索,仍存在一定局限性。例如由于林下经济产业发展能力评价指标的可获取性低以及林下经济产值统计口径和标准尚未完全统一,本文选取部分间接指标评价林下经济发展能力,后续研究将结合省级层面的统计年鉴和调研数据,丰富林下经济发展水平评价指标和数据,进一步完善和深化研究成果。

参 考 文 献

- [1]陈幸良. 林下经济学的缘起、发展与展望 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46 (06): 105-114.
- [2]窦亚权,张晓梅,李娅,等. 林下产业精准扶贫典型案例分析 [J]. 林业经济问题, 2021, 41 (01): 27-33.
- [3]窦亚权,赵麟萱,王妍,等. 林下经济: 概念辨析与内涵演变 [J]. 世界林业研究, 2024, 37 (02): 1-7.
- [4]高承芳,黄颖,张晓佩,等. 基于能值分析的马尾松低效林林下种草养鸡耦合模式评价 [J]. 中国生态农业学报, 2018, 26 (12): 1919-1928.
- [5]顾健,窦亚权,陈幸良,等. 林下经济发展与森林生态产品价值实现: 理论逻辑与实践路径 [J]. 世界林业研究, 2024, 37 (02): 8-14.
- [6]侯伟丽,韦洁. “金山银山”和“绿水青山”可以同时实现吗?——基于省级面板数据的分析 [J]. 林业经济, 2019, 41 (02): 18-21.
- [7]郝立丽,李凌寒,张滨,等. 黑龙江省林下经济与生态环境系统耦合协调发展研究 [J]. 林业经济问题, 2021, 41 (02): 128-135.
- [8]黄颖利,李晗晗,朱震锋,等. 天然林保护工程生态恢复的时空特征及评价 [J]. 林业经济问题, 2020, 40 (06): 579-586.
- [9]黄智君. 森林资源保护与绿色发展耦合协调关系及障碍因子分析 [J]. 林业资源管理, 2022, (03): 122-128.
- [10]李雪玲. 基于耦合协调度模型的林业产业与森林生态系统协同发展研究——以广西壮族自治区为例 [J]. 绿色科技, 2017, (16): 223-225.
- [11]刘奕汝,杨培涛. 区域森林生态-自然-经济-社会复合系统的耦合协调度——以长沙市为例 [J]. 林业科学, 2023, 59 (09): 139-146.
- [12]吕洁华,蔡秀亭. 中国省域森林生态安全与林业产业结构时空耦合测度 [J]. 世界林业研究, 2019, 32 (04): 34-39.

- [13]雷相东. 森林生态系统服务多功能性: 概念、指标和经营模拟模型 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46 (05): 1-11.
- [14]廖冰,张智光. 林业生态安全指标-指数的耦合实证测度研究 [J]. 资源科学, 2017, 39 (09): 1777-1791.
- [15]王旭. 浅谈森林保护和森林资源的开发利用 [J]. 农业与技术, 2016, 36 (02): 199.
- [16]吴娟,陈建成. 林下经济与农业高质量发展: 耦合逻辑与实现路径 [J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2022, 22 (04): 153-160. .
- [17]吴伟光,敖贵艳,刘强,等. 非木质林产品对丘陵山区“两山”协调发展的贡献及启示——基于浙江省杭州市临安区的案例 [J]. 林业经济, 2019, 41 (11): 3-9.
- [18]吴伟光,许恒,王凤婷,等. “两山”理念的有效载体与实践: 林下经济的经济效应、环境效应及其协同逻辑 [J]. 中国农村经济, 2023, (10): 158-174.
- [19]吴秀琼. 刍议森林资源保护与开发利用之间的关系 [J]. 种子科技, 2018, 36 (09): 13+16.
- [20]谢煜,张智光. 林业生态与产业体系共生协调机理与模式研究 [J]. 林业经济, 2014, 36 (10): 8-11.
- [21]袁婉潼,乔丹,柯水发,等. 资源机会成本视角下如何健全生态补偿机制——以国有林区停伐补偿中的福利倒挂问题为例 [J]. 中国农村观察, 2022, (02): 59-78.
- [22]张钰明. 森林资源保护及可持续发展利用对策建议分析——以甘肃某地区为例 [J]. 林业科技情报, 2023, 55 (01): 176-178.
- [23]张智光. 超循环经济: 破解“资源诅咒”, 实现“两山”共生 [J]. 世界林业研究, 2022, 35 (02): 1-7.
- [24]张智光. 论林业经济的系统观 [J]. 林业经济问题, 2023, 43 (03): 225-239.
- [25]De Beenhouwer, M., Aerts, R., Honnay, O. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry[J].Agriculture Ecosystems Environment, 2013,175, 1–7.
- [26]Ehara,M., K. Hyakumura, H. Nomura, T. Matsuura, H. Sokh, C. Leng,2016,“Identifying characteristics of households affected by deforestation in their fuelwood and non-timber forest product collections: Case study in Kampong Thom Province, Cambodia”, Land Use Policy, 2016, 52:92-102.
- [27]Felton, A., Knight, E., Wood, J., Zammit, C., Lindenmayer, D. A meta-analysis of fauna and flora species richness and abundance in plantations and pasture lands. Biology Conservation[J].2010,43:545–554.
- [28]Jose, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview[J].Agroforestry Systems, 2009,76:1–10.
- Lorenz, K and Lal, R.Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review[J].Agronomy for Sustainable Development ,2014,34 (2) :443-454.
- [29]McAdam, J.H., McEvoy.The potential for silvopastoralism to enhance biodiversity on grassland farms in Ireland. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam,J., Mosquera-Losada, M.R. (Eds.), Agroforestry in Europe Current Status and Future Prospects, 2009:343–356.
- [30]Muler, A. E., D. C. Rother, P. S. Brancalion, R. P. Naves, R. R. Rodrigues, M. A. Pizo, 2014, “Can Overharvesting of A Non-timber-forest-product Change the Regeneration Dynamics of A Tropical Rainforest? The Case Study of Euterpe Edulis”, Forest Ecology & Management, 324:117-125. 24.
- [31]Graf, Y. S. Hein, and A. S. Schnabl, 2022, “A Review of Challenges and Future Pathways for Decision Making with Treeshelters—A German and European Perspective”, Journal of Forest Research,(3):191-199. 25.
- [32]Murthy I.K. , Gupta M. , Tomar S. , et al. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in India[J]. Journal of Earth Science & Climatic Change, 2013.
- [33]Smith, J., Pearce, B.D., Wolfe, M.S.. Reconciling productivity with protection of the environment: is temperate agroforestry the answer? Renew Agriculture. Food Systems, 2012,28:80–92.
- [34]Torralba, M. ,Fagerholm, N., Plieninger, T.Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis[J].Agriculture Ecosystems & Environment,2016,230: 150-161.
- [35]Tsonkova, P., Böhm, C., Quinkenstein, A., Freese, D. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. Agroforestry. Systems, 2012,85:133–152.