

DOI: 10.5846/stxb202110172926

余文梦, 张婷婷, 苏时鹏, 沈大军. 劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的影响——基于福建 253 个村的实证研究. 生态学报, 2022, 42(23): 9820-9829.

Yu W M, Zhang T T, Su S P, Shen D J. Effects of labor transfer and forest management on forest carbon density based on an empirical study of 253 villages in Fujian Province. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(23): 9820-9829.

# 劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的影响 ——基于福建 253 个村的实证研究

余文梦<sup>1</sup>, 张婷婷<sup>1</sup>, 苏时鹏<sup>2</sup>, 沈大军<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国人民大学环境学院, 北京 100872

<sup>2</sup> 福建农林大学公共管理学院, 福州 350002

**摘要:** 森林生态系统具有重要的固碳功能, 有效的森林管理是提升碳密度的重要方式。随着农村劳动力转移, 森林管护水平也随之变化, 进而可能影响森林碳密度。为了厘清劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的作用机理, 以提升森林碳密度。利用福建 5 县(区) 253 个村 1999 年与 2009 年的林业二类调查数据和入村调研数据, 采用转换因子连续函数法评价了森林碳密度, 再运用层次回归模型分析了劳动转移对森林碳密度的影响, 并检验了森林管护水平对二者的中介作用。结果表明: (1) 10 年间森林碳密度普遍提升, 但区域差异明显; 空间上森林碳密度呈由南向北递增, 提升率呈由南向北递减。(2) 劳动力转移对森林碳密度有显著促进作用, 而森林管护水平对森林碳密度有显著削弱作用, 并对劳动力转移与森林碳密度之间的关系具有显著中介效应。(3) 劳动力特征、采伐方式及森林自然禀赋等因素, 主要通过生计依赖、生境状况和生物量对森林碳密度产生显著影响。据此提出: 适当减少对森林的人为干扰, 丰富林农生计来源, 转变林业经营目标, 科学采伐成熟和过熟林, 保护天然起源林, 丰富人工林树种等政策建议。

**关键词:** 劳动力转移; 森林管护; 森林碳密度; 转换因子连续函数法; 中介效应

## Effects of labor transfer and forest management on forest carbon density based on an empirical study of 253 villages in Fujian Province

YU Wenmeng<sup>1</sup>, ZHANG Tingting<sup>1</sup>, SU Shipeng<sup>2</sup>, SHEN Dajun<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

<sup>2</sup> College of Public Administration, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

**Abstract:** Forest ecosystem has the function of carbon sequestration, and effective management is essential to increase its carbon density. However, as rural labor transferred, the level of forest management changed accordingly, which in turn affected the carbon density of forest ecosystem. It is necessary to clarify such influencing mechanism so as to maintain the high carbon density. Thus, based on the official forestry survey data and questionnaire survey data of 253 villages in five counties (districts) of Fujian Province from 1999 to 2009, this paper evaluated the forest carbon density by adopting the conversion factor continuous function method. Then hierarchical regression model was developed to analyze the effect of labor transfer on forest carbon density, and to verify the mediating effect of forest management. The results showed that: (1) The forest carbon density in the sample area generally showed an upward trend in the past 10 years, but presented significant regional differences in space. The forest carbon density increased from south to north, while the lifting rate decreased from south to north. (2) Forest carbon density is significantly promoted by the labor transfer and weakened by forest

**基金项目:** 中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项(中国人民大学 2022 年)

**收稿日期:** 2021-10-17; **网络出版日期:** 2022-07-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dajunshen@ruc.edu.cn

management, where forest management exerted a significant mediating effect on the relationship between labor transfer and forest carbon density. That is, the labor transfer can ultimately promote the increase of forest carbon density through weakening the level of forest management and reducing the human disturbance. (3) Factors including labor characteristics, harvesting methods and natural forest endowments have significant impacts on forest carbon density. Specifically, the higher the average age of the labor force engaged in forestry production in the village, the higher the forest carbon density. It is related to the reduced dependence on forest livelihoods as the workforce ages. The proportion of harvesting has a significant positive effect on the increase of forest carbon density, due to the benefits from appropriate harvesting to the stock volume and the regeneration of understory vegetation. Natural forest origin positively affects the carbon density, attributed to its abundance in tree species and better function of carbon sequestration. Single tree species negatively impact the forest carbon density, which conversely proves that richer forest tree species contribute to overall carbon density increase. To this end, suggestions are proposed as follows: appropriately reducing the artificial interference to forest ecosystem, enriching livelihood sources of foresters, transforming the objectives of forestry management, scientifically harvesting the mature and overripe forests, protecting natural origin forests, and enriching plantation tree species.

**Key Words:** labor transfer; forest management; forest carbon density; conversion factor continuous function method; the mediation effect

森林作为陆地生态系统中最重要固碳载体,占植被碳储量的 80%以上<sup>[1-3]</sup>,经预测在 2025 至 2055 年间,全球范围内森林管理每年将贡献为 0.2—1.6 Gt CO<sub>2</sub>减少量<sup>[4]</sup>。我国森林主要分布在农村地区,农村劳动力是森林经营管护的重要主体。随着工业化和城镇化的持续发展,农村劳动力向非农就业转移比重逐渐增加,给森林经营管理带来巨大挑战。目前,农村地区出现了大量林地的粗放经营和抛荒现象,疏伐、施肥和控制竞争植被等森林管护行为的水平不断下降。这不仅影响了林业经营的经济效率,还通过森林生态结构和质量变化影响了固碳能力的提升。然而,也有观点认为农村劳动力转移通过减少对森林的人为干扰提升了固碳水平。因此农村劳动力转移对森林固碳能力到底是抑制还是促进,与森林管护水平关系如何,是一个尚待回答的问题。本文将通过测算样本区域森林碳密度变化,探讨其与劳动力转移以及森林管护水平之间的响应路径,以期精准提升森林碳密度提供决策参考。

现有研究主要聚焦于劳动力转移对森林管护水平的影响,或森林管护水平对森林碳密度的影响。其中,劳动力转移对森林管护水平影响的观点主要有:其一,农村劳动力向非农就业转移,使得农民收入增加,进而拥有更多资本投入到林业经营和管护中,提升了管护水平<sup>[5]</sup>。其二,农村劳动力向非农就业转移,使得农业生产的劳动力投入受到挑战,由于转移主要以青壮年为主,使得农村留守劳动力呈高龄化和妇女化结构特征,弱化了人力资本水平,削弱了管护水平<sup>[6-9]</sup>。其三,农户对林地生计依赖是农户面对制度、资源禀赋以及自身效用进行的理性判断与选择<sup>[10-11]</sup>,林业经济效益决定了农户对森林生计依赖性的强弱<sup>[12]</sup>,进而影响林业经营管护行为。农村劳动力向非农就业转移,造成农民生计依赖的变动,将改变森林管护行为。

在森林管护水平对森林碳密度的影响方面,现有观点认为:首先,森林管护可以提升森林碳密度,研究发现疏伐、施肥和控制竞争植被等管护措施对森林密度产生积极影响<sup>[13]</sup>;而且森林碳密度受人为因素时空演变规律明显,其中退耕还林、人工造林与抚育间伐、氮肥施用等人为因素对森林碳密度的提升速率和程度超过自然变化<sup>[4]</sup>;因此,在预测人为干扰(经营管护)对森林碳密度的影响越来越大的情况下,要合理评价人为因子的影响,构建碳汇造林技术体系<sup>[14]</sup>。其次,在不同森林结构和质量下森林管护提升森林碳密度存在潜力差异,研究发现,不同林型的同一树种和同一林型的不同生长阶段的森林碳密度存在差异<sup>[15]</sup>,森林碳密度随林龄的增大而逐渐增加<sup>[16]</sup>,其中幼龄林至中龄林增幅最大,近熟林后明显下降<sup>[17-19]</sup>。目前我国森林林龄小、密度低,通过经营管护提升森林碳密度的潜力较大<sup>[20]</sup>。另外,人工林在森林碳汇中发挥着越来越重要的作用<sup>[21]</sup>,实证表明,虽然针阔混交林碳密度在各林型中并非最高,却拥有较高碳密度<sup>[22]</sup>。在人工林面积较大的

情况下,通过科学的经营管护,适当扩大针阔混交林面积,将有利于提高森林碳密度<sup>[20,22]</sup>。最后,外生环境影响森林管护对森林碳密度提升的作用。森林碳密度最大值出现在地形比较平坦和低海拔区域,海拔和凹凸度是最强的预测因子<sup>[23]</sup>;同时森林碳密度还受到日照、温度和降雨的影响<sup>[20,24-25]</sup>。

综合来看,现有相关研究多集中于对劳动力转移与森林管护水平或森林管护水平与森林碳密度之间响应关系的讨论上,而对劳动力转移、森林管护水平与森林碳密度三者之间响应路径的实证研究较少。同时,在我国大量农村劳动力向非农业就业转移的背景下,探讨劳动力转移对森林碳密度的影响,对精准提升森林碳密度水平,具有现实参考价值。为此,本文聚焦劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的影响,选择森林覆盖率达66.8%且农村劳动力转移比例较大的福建省为研究区域,以村为样本,基于5县(区)253个村调研数据和森林二类清查数据,测算分析了森林碳密度时空变化情况,并实证分析了劳动力转移与森林管护水平对森林碳密度的影响规律,以期为精准提升森林碳密度和森林质量提供参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 理论框架与研究假设

森林碳储量是林业经营中一种重要生态产品,碳密度是测量储碳能力的重要指标。森林碳密度的高低主要取决于生物量、植被类型、蓄积量、立地条件、森林面积等森林质量因素<sup>[2]</sup>,同时林农的经营管护水平通过经营面积、树种选择、林业投入与采伐行为等对森林质量产生影响。就森林碳密度的提升而言,短期内改变自然条件是较难的,但改变管护水平是可能的,而劳动力投入是影响森林管护水平的关键因素。随着农村劳动力不断转移,农村农业就业劳动力数量不断下降,导致森林管护的劳动力供给不断减少;同时劳动力转移导致林农对林地的生计依赖减弱,对森林的利用和消耗减少。因此,劳动力转移对森林碳密度的影响机理可能存在以下两种情景(图1)。

情景1:劳动力转移导致的劳动力流失效应,削弱了森林管护的劳动力投入,进而影响森林质量,最终抑制森林碳密度提升。劳动力流失主要表现为,大量青壮年劳动力转出农村,农村农业就业劳动力结构呈现高龄化和妇女化的特征<sup>[6,9]</sup>;限于体力、先进技术学习和资本的获取能力,可进行有效管护的规模有限,影响森林质量提升效率,从而抑制碳密度提升。

情景2:劳动力转移可能引起农民生计依赖转移和林地依赖减弱,在削弱森林管护水平的同时也降低了森林资源利用和消耗程度,进而影响森林质量,最终抑制或促进森林碳密度的提升。一直以来,林地作为农村重要的土地类型,对于农民承担着维系生计来源的重要功能<sup>[12]</sup>。然而,随着农村劳动力的转移,非农就业与农业兼业的劳动力比重上升,农民生计来源更加多元化,导致农民对于森林的生计依赖持续减弱;再加之传统林业经营的回报周期长,使得农民在森林管护投入上的激励不足,从而影响森林质量的提升。

另一方面,林农基于成本收益的理性思考,增加森林管护劳动力投入必然伴随着森林木质或非木质利用的增加,以实现自身利益的最大化。基于目前森林产品价值实现方式,相较于森林碳储量带来的收益,森林的木质利用对于林农的效用更大,也更符合林农的经营预期。因此,森林管护劳动力投入越大可能意味着对森林资源的消耗越大,并不利于碳密度的增加。而随着农民对森林生计依赖的减弱,森林管护劳动力投入下降,对森林木质或非木质利用可能也随之减少。这种生计依赖转移带来的消耗削减对管护削弱所抑制的森林质量提升可能存在弥补作用,最终通过影响森林质量,促进或抑制森林碳密度的提升。

综合以上分析,本文提出以下研究假设:

H1:在控制其他因素的情况下,劳动力转移程度增加将抑制或促进森林碳密度的提升。

H2:在控制其他因素的情况下,森林管护水平越高森林碳密度越低。

H3:在控制其他因素的情况下,森林管护水平在劳动力转移对森林碳密度影响路径中发挥中介作用。

#### 1.1.2 碳密度测算方法

本文先采用转换因子连续函数法<sup>[20,26-28]</sup>来推算区域的森林碳储量,而后除以区域林地面积得到区域的

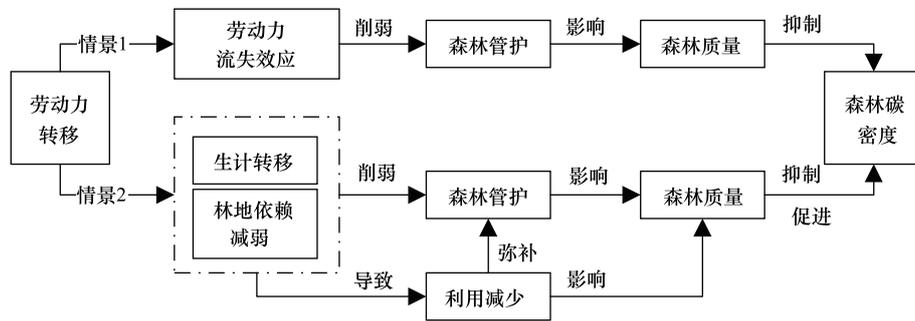


图 1 劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的影响机理

Fig.1 Influencing mechanism of labor transfer and forest management on forest carbon density

森林碳密度,计算公式如下:

$$C = \sum (a_i V_i + b_i A_i) \times Cc_i / S \tag{1}$$

式中,  $C$  为森林碳密度,  $V_i$  为  $i$  树种蓄积量,  $A_i$  为  $i$  树种面积,  $a_i$  和  $b_i$  为  $i$  树种系数,  $Cc_i$  为  $i$  树种的含碳率,  $S$  为林地面积。各树种的含碳率参数,具体如表 1 所示。

### 1.1.3 分析模型与变量选取

本文采用经典的多元线性回归模型进行分析,考虑要测量森林管护水平对劳动力转移与森林碳密度存在中介效应,因此构建了层次回归模型<sup>[30-31]</sup>,具体模型如下:

$$C = \alpha_0 + \beta_1 L + \sum_{i=1}^n \lambda_i CV_i + \varepsilon \tag{2}$$

$$M = \alpha_0 + \gamma L + \sum_{i=1}^n \lambda_i CV_i + \varepsilon \tag{3}$$

$$C = \alpha_0 + \beta_1' L + \beta_2 M + \sum_{i=1}^n \lambda_i CV_i + \varepsilon \tag{4}$$

式中,  $C$  为被解释变量,即碳密度;  $\alpha_0$  为常数项;  $L$  为劳动力转移比重;  $M$  为森林管护水平;  $CV_i$  为控制变量 ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $\beta_1, \beta_1', \gamma$  为待估计系数;  $\varepsilon$  为随机误差项。

模型中被解释变量为各样本村的森林碳密度,解释变量包括劳动力转移、森林管护水平以及其他控制变量,具体说明如下:(1)劳动力转移变量。劳动力转移是指农村农业生产部门的劳动力向非农生产部门转移<sup>[6]</sup>,本文中的劳动力转移指的是不在本村进行非农就业的劳动力,存在兼业的劳动力不包括在内。劳动力转移变量用村劳动力转移程度表示,即村劳动力转移数量占劳动力总数的比重。(2)森林管护水平变量。本文森林管护水平变量用村森林管护程度表示,即村有进行疏伐、施肥和控制竞争植被等森林管护行为的森林面积占村森林总面积的比重。(3)控制变量。由于村森林碳密度受到村森林自然禀赋与村社会禀赋的共同影响,在参考已有研究的基础上,本文的控制变量包括两个方面:其一,自然禀赋,森林自然禀赋作为经营条件,对林农经营管护行为起到约束作用;同时森林自然禀赋直接决定森林资源结构水平,进而影响森林质量。因此,本文选择村林地总面积(面积)、村天然林起源的森林占森林总面积比重(天然林起源)、村优势树种为杉树和松树的森林面积占森林总面积的比重(树种单一程度)和村林地平均坡度(坡度)作为森林自然禀赋类控制变量<sup>[32]</sup>。其二,社会特征,社会特征是村劳动力流动、林业经营管护和森林碳密度提升的制度背景和社会资本<sup>[6,9,12]</sup>。为此,本文选择村有采伐森林面积占森林总面积比重(采伐比重)、采伐是否限额采伐的影响(限额采伐)、村庄到所在乡镇的距离(到乡镇距离)、村私有权属森林面积占森林总面积比重(私有权属)、村从事林业生产的劳动力的平均教育年限(教育水平)、村劳动力平均年龄(年龄)作为森林社会特征类控制变量。

表 1 不同森林类型含碳率参数

Table 1 Carbon content parameters of different forest types

森林类型 Forest types	树种 Varieties of trees	<i>a</i>	<i>b</i>	含碳率 Carbon content
针叶林 Coniferous forests	杉木	0.3999	22.541	0.5201
	柳杉、油杉、铁杉	0.4158	41.3318	0.5235
	柏木	0.6129	46.1451	0.5034
	马尾松	0.5101	1.0451	0.4596
	华山松	0.5856	18.7435	0.5225
	油松	0.7554	5.0928	0.5207
	其他针叶树	0.5168	33.2378	0.4596
	樟树、楠木、楮	1.0357	8.0591	0.5000
	软阔/杨树	0.4754	30.6034	0.4956
阔叶林 Broad-leaved forests	硬阔/杂木	0.7564	8.3103	0.4834
	檫木、阔叶混	0.6255	91.0013	0.4848
	栎类	1.1453	8.5473	0.5004
	桉树	0.8873	4.5539	0.5253

数据来源于文献[29];“*a*”表示树种蓄积量的折算系数;“*b*”表示树种面积的折算系数(系数的作用在于把蓄积量和面积折算成统一标量后,再乘以含碳率进行碳汇测算)

## 1.2 数据来源与数据基本情况

本研究数据来源于福建省 1999 年与 2009 年林业二类清查数据,由于调查每十年一次,目前可获取的历史数据仅为这两期;与此同时,本世纪初是农村劳动力转移的活跃期<sup>[6-9]</sup>,选择这两期清查数据具有较强的代表性。该数据按县市统计地类、树种、森林面积、林权分布等基本信息。考虑到样本的代表性,因此从南到北分布抽取了 5 个林业重点县(区)的 253 个样本村数据。并于 2016—2018 年间通过 5 个县(区)的 253 个样本村的村委展开问卷调查;其中,永春县 50 个村、尤溪县 50 个村、延平区 43 个村、顺昌县 72 个村、梅列区 38 个村。样本分布如图 2 所示。

样本村数据基本情况如表 2 所示。数据表明样本村的森林碳密度达到了 26.771,但标准差较大即样本村之间的差异较大;平均劳动力转移比重达到了 0.522,说明外出工作的劳动力较多;有管护的森林面积比重均值为 0.156,说明森林管护比例不大。从控制变量来看,样本村采伐比重不高,均值为 0.196,其中有接近一半的样本村认为采伐行为受到限额采伐制度影响。受到新一轮集体林权制度改革影响,样本村私有权属林占比均值达到了 0.703,处于一个较高的水平;而从事林业生产的劳动力平均年龄均值为 45.526,这是由于样本中包括了 125 个 1999 年样本,而 1999 年的年龄均值较低,导致总体均值不高。在森林自然条件方面,天然林起源比重均值仅为 0.302,杉树和松树林面积占比均值为 0.573,说明目前样本村森林以人工林为主,并且树种单一化程度较高。

## 2 实证结果与分析

### 2.1 森林碳密度变动情况

根据转换因子连续函数法对样本村森林碳密度进行测算。结果如图 3 所示。从整体上看,5 县(区)森林

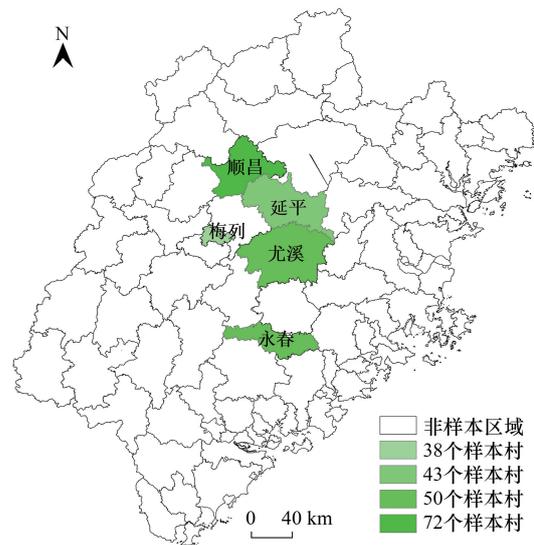


图 2 样本区域分布图

Fig.2 Sample area distribution map

碳密度呈现由南向北递增的趋势,说明越接近发达沿海地区,森林碳密度越低,具体表现为顺昌县>梅列区>延平区>尤溪县>永春县;其中碳密度最高的梅列区达到了  $35.2\text{t}/\text{hm}^2$ ,最低的永春县仅  $17.3\text{t}/\text{hm}^2$ 。其主要原因除了受到自然禀赋的影响之外,还可能受到区域森林管护、森林采伐以及林权归属等社会因素的影响。

表 2 模型变量定义与描述性统计

Table 2 Model variable definitions and sample descriptive statistics

变量 Variables	变量解释 Variables interpretation	均值 Mean	标准差 Standard deviation	作用预测 Action prediction
因变量 Dependent variable	碳密度( $y$ )	26.117	8.989	
自变量 Independent variables	劳动力转移( $x_1$ )	0.522	0.186	+/-
	管护水平( $x_2$ )	0.156	0.158	+
控制变量 Control variables	采伐比重( $x_3$ )	0.196	0.189	-
	限额采伐( $x_4$ )	0.486	0.501	+
	到乡镇距离( $x_5$ )	7.737	6.712	+
	私有权属( $x_6$ )	0.703	5.641	-
	教育水平( $x_7$ )	7.810	1.865	+/-
	年龄( $x_8$ )	45.526	6.659	-
	面积( $x_9$ )	808.780	653.407	+
	天然林起源( $x_{10}$ )	0.302	0.223	+
	树种单一程度( $x_{11}$ )	0.573	0.213	-
	坡度( $x_{12}$ )	27.397	5.494	-

从分样本来看,在 1999 年和 2009 年 5 县(区)森林碳密度皆呈现由南向北递增的趋势。1999 年排序为顺昌县>延平区>梅列区>尤溪县>永春县,其中碳密度最高的顺昌县为  $29.2\text{t}/\text{hm}^2$ ,最低的永春县为  $14.7\text{t}/\text{hm}^2$ ; 2009 年排序为梅列区>顺昌县>延平区>尤溪县>永春县,其中碳密度最高的梅列区为  $35.2\text{t}/\text{hm}^2$ ,最低的永春县为  $19.6\text{t}/\text{hm}^2$ 。从 1999 年到 2009 年十年间的变动来看,5 县(区)森林碳密度都有了显著的提升,提升率由南向北递减,排序为:梅列区>永春县>尤溪县>延平区>顺昌县,其中碳密度最高的梅列区为 0.35,最低的顺昌县仅为 0.09。由此可知,靠近南部的县域森林碳密度提升速度要高于靠近北部的县域,同时森林碳密度较低的县域在森林碳密度提升效率和潜力上要高于森林碳密度较高的县域。

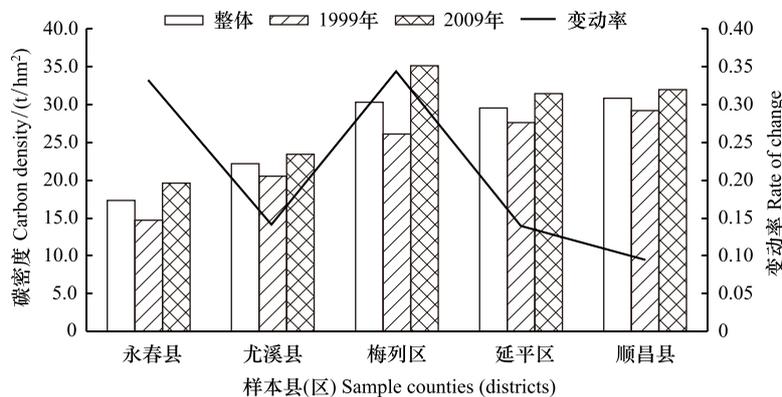


图 3 1999—2009 年碳密度变动情况

Fig.3 Variation of carbon density in the sample area from 1999 to 2009

## 2.2 劳动力转移与森林管护水平对森林碳密度的影响

运用 Stata 16.0 软件分析了劳动力转移和森林管护水平对森林碳密度的影响。在检验森林管护水平的中

介效应上,选择了层次回归模型。首先,以森林碳密度为被解释变量,分别放入劳动力转移变量与森林管护水平变量,并控制其他相关变量后得到模型 1 和模型 2,用于探讨二者对森林碳密度的直接影响。其次,将森林管护水平变量设为被解释变量,劳动力转移作为解释变量,放入模型并控制其他相关变量后得到模型 3。最后,以森林碳密度为被解释变量,将所有解释变量都放入模型后得到模型 4,用于检验森林管护水平对劳动力转移与森林碳密度关系的中介效应。估计结果如表 3 所示。

### 2.2.1 劳动力转移对森林碳密度的影响

在模型 1 中,村劳动力转移对村森林碳密度产生了负向影响,且在 1%水平上显著;模型 4 中引入森林管护变量后,村劳动力转移对村森林碳密度依然存在稳健负向影响。这说明村劳动力转移比重越大,不仅没有削减森林碳密度,反而提升了森林碳密度。原因在于,其一,劳动力转移比重增加从客观上的确减少了进行森林碳密度提升的劳动力投入,但是从调研中可以发现,劳动力转移通常是从农业部门转移到非农业部门,劳动力转移后非农就业收入远大于原来的农业收入。农民生计来源的多元化致使对于林业的生计依赖逐渐减弱,进而使得森林资源的生物量提升,促进森林碳密度的提高。其二,受到森林生长规律影响,营林初期即树木处于幼龄期时需要的劳动力投入较大,到中龄林后劳动力投入将减少,而中龄林与成熟林的固碳能力要高于幼龄林,因此在劳动力减少的情况下,对森林碳密度影响较小。因此理论分析中,情景 2 的影响路径机理可能更加符合实际中劳动力转移对森林碳密度的响应关系。

### 2.2.2 森林管护水平对森林碳密度的影响

在模型 2 中,村森林管护水平对村森林碳密度产生了负向影响,且在 1%水平上显著;模型 4 中引入劳动力转移变量后,村森林管护水平对村森林碳密度依然存在稳健负向影响,与假说 H2 相同。这说明村森林管护面积比重越大森林碳密度越低。究其原因主要有两个方面:其一,基于理论分析部分情景 2 的影响路径梳理可知,森林管护水平越高,那么劳动力投入就越多,而劳动力对于森林的经济获利需求就越高。在现有的森林利用方式和林农理性的效用选择下,森林管护往往不以提升固碳等生态服务水平为目的,而是以木质或非木质利用为目的,这导致了森林生态结构单一和森林资源过度消耗等问题,进而使得生物量下降,抑制森林碳密度提升。其二,同样是受到森林在不同生长时期中管护需求不同和固碳能力差异的影响。往往管护的森林面积的需求越大,说明中、幼林的比重越大;受到中、幼林固碳能力较低的影响,则表现出随着森林管护比重增加森林碳密度却随之下降的响应关系。

### 2.2.3 森林管护对劳动力转移与森林碳密度的中介效应

在模型 3 中,劳动力转移对森林管护存在负向显著关系,显著水平为 1%,且在模型 4 中,劳动力转移与森林管护对森林碳密度分别呈正向和负向显著关系,显著水平分别为 5%和 1%;说明森林管护对劳动力转移与森林碳密度之间的关系起到中介作用,这与假说 H3 相符。进一步证明了劳动力转移程度与森林管护水平相关联对森林碳密度产生影响,其影响路径并非通过森林管护水平下降而导致森林碳密度的下降,而是通过减少管护进而削减对森林资源的消耗,最终促进森林碳密度的提升。

### 2.2.4 控制变量对森林碳密度的影响

从控制变量的影响来看,采伐比重对森林碳密度提升呈显著正向影响,说明采伐比重与森林碳密度提升并非对立的关系,在合理的采伐规划的情况下,有利于森林碳密度的提升,因此实现森林经济效益和生态效益双赢是可能的。其原因在于,适当采伐可以给未伐林木的生长提供更大的生长空间与养分,更有利于蓄积量增加。由上文的碳储量测算方法可知,蓄积量是碳储量提升的关键,当采伐削减的蓄积量小于森林增加的蓄积量时,采伐以促进森林碳密度提升<sup>[33]</sup>;已有研究也表明,间伐可使林地光能利用率提高 60%,且林下更新会弥补移出木带走的碳储量<sup>[34]</sup>。在劳动力特征变量中,劳动力平均年龄对森林碳密度呈显著正向影响,并从模型 3 中可以看出,劳动力平均年龄与森林管护水平呈显著负向影响。这说明村内从事林业生产的劳动力平均年龄越高森林管护水平就越低,则森林碳密度就越高。究其原因,一方面受到体力影响对森林管护和获取资源能力减弱,另一方面劳动力年龄越大其家庭主要经济责任将转向非农就业的下一代,因此对森林生计依赖

将减弱,最终促进森林碳密度提升。在森林自然禀赋特征变量中,天然林起源对森林碳密度呈显著正向影响,由于天然林树种更丰富,更加接近自然森林生态特征,因此更有利于发挥森林固碳功能。同时,森林树种单一程度对森林碳密度提升呈显著负向影响,进一步证明了森林树种越丰富越有利于整体碳密度提升,也表明了树种单一的商品林在碳密度提升方面具有较大的潜力。

表 3 模型估计结果

Table 3 Model estimation results

变量名称 Variables name	模型 1 Model (1)	模型 2 Model (2)	模型 3 Model (3)	模型 4 Model (4)
	碳密度 Carbon density	碳密度 Carbon density	森林管护 Forest management	碳密度 Carbon density
劳动力转移 Labor transfer( $x_1$ )	15.247 *** (3.158)		-0.159 *** (0.035)	9.815 ** (3.042)
管护水平 The management level( $x_2$ )		-38.947 *** (5.203)		-34.190 *** (5.313)
采伐比重 Percentage of logging( $x_3$ )	11.386 *** (2.700)	7.218 ** (2.633)	-0.123 *** (0.030)	7.182 ** (2.583)
限额采伐 Forest limit harvest( $x_4$ )	0.373 (0.984)	0.348 (0.926)	0.006 (0.011)	0.568 (0.911)
到乡镇距离 Distance to town( $x_5$ )	-0.068 (0.076)	0.003 (0.071)	0.001 (0.001)	-0.027 (0.071)
私有权属 Private ownership( $x_6$ )	-0.117 (0.088)	-0.045 (0.084)	0.002 * (0.001)	-0.049 (0.082)
教育水平 Educational level( $x_7$ )	-0.346 (0.322)	0.144 (0.273)	0.002 (0.004)	-0.281 (0.298)
年龄 Age of labor force( $x_8$ )	0.300 *** (0.085)	0.288 *** (0.078)	-0.002 * (0.001)	0.231 ** (0.079)
面积 Forest area( $x_9$ )	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.001)
天然林起源 Origin of natural forest( $x_{10}$ )	6.636 * (3.073)	16.054 *** (4.433)	0.624 *** (0.034)	14.707 *** (4.369)
树种单一程度 Tree species( $x_{11}$ )	-7.880 * (3.113)	-13.579 ** (4.400)	-0.606 *** (0.035)	-12.855 ** (4.322)
坡度 Forest land slope( $x_{12}$ )	-0.099 (0.094)	-0.056 (0.087)	0.000 (0.001)	-0.098 (0.087)
_cons	8.274 (4.896)	14.695 ** (4.764)	0.236 *** (0.055)	16.349 *** (4.702)
<i>N</i>	253	253	253	253
<i>R</i> -squared	0.314	0.389	0.721	0.415
Adj <i>R</i> -squared	0.282	0.361	0.709	0.385

\*、\*\*和\*\*\*分别表示在10%、5%和1%水平上显示;“*N*”表示样本数量;“*R*-squared”表示拟合度;“Adj *R*-Square”依据样本数量和自由度调整后的拟合度

### 2.3 稳健性检验

考虑到样本涉及1999年与2009年两期样本,且各样本村林地规模差异大,为了检验实证结果的稳健性,本文按照样本时间(1999年和2009年)和样本林地规模(面积 $>700\text{hm}^2$ 和面积 $<700\text{hm}^2$ )进行了分样本回归,结果如表4所示。从表中可知,劳动力转移与森林管护水平对森林碳密度的影响回归结果比较稳健。

## 3 结论与讨论

本文基于福建5个重点林业县(区)1999年与2009年的林业二类清查数据和村调查数据,评价了样本区

域森林碳密度变化情况,检验了劳动力转移和森林管护水平与森林碳密度之间的响应关系。主要研究结论如下:

表 4 稳健性检验结果  
Table 4 Robustness test results

变量名称 Variables name	样本时间 Sample time				样本林地规模 Sample woodland size			
	1999 年		2009 年		面积>700hm <sup>2</sup>		面积<700hm <sup>2</sup>	
	森林管护	碳密度	森林管护	碳密度	森林管护	碳密度	森林管护	碳密度
劳动力转移 Labor transfer( $x_1$ )	-0.246*** (0.068)	18.788** (5.904)	-0.087* (0.049)	12.036** (3.907)	-0.115** (0.039)	8.300* (3.948)	-0.193*** (0.051)	11.754** (4.458)
管护水平 The management level( $x_2$ )		-33.614*** (5.203)		-37.342*** (7.353)		-24.735* (9.748)		-36.932*** (7.258)
控制变量 Control variables	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
N	125	125	128	128	112	112	141	141
R-squared	0.716	0.403	0.765	0.527	0.571	0.378	0.784	0.487
Adj R-squared	0.688	0.340	0.743	0.478	0.524	0.303	0.766	0.439

(1)空间上,森林碳密度呈南至北递增,并表现出显著差异;时间上,1999—2009年森林碳密度普遍增加,提升率呈由南至北递减,同样表现出显著差异。表明森林碳密度提升受自然禀赋和社会特征影响而存在差异,其中永春县和尤溪县的森林碳密度提升潜力较大。原因在于南部县(区)人口密度较大,森林的人为干扰强度高,从而表现出较低的森林碳密度。可见在南方集体林区,森林的近自然管护方式有利于森林碳密度提升。

(2)劳动力转移对森林碳密度具有显著促进作用,而森林管护水平对森林碳密度具有显著削弱作用,并且对劳动力转移与森林碳密度之间的关系有显著中介效应。说明劳动力转移通过森林管护水平对森林碳密度产生影响的响应路径成立,其中森林管护水平主要通过农民对森林的生计依赖发挥作用,这一结论在进行稳健性检验后依然成立。由此可见,目前的森林管护较少以森林碳密度增加为目标,造成了越管护森林碳密度越低的情况。虽然农村劳动力的转移通过退出管护增加了森林碳密度,但若不转变森林经营管理目标,将可能导致森林碳密度提升的不可持续问题。

(3)劳动力特征、采伐方式及森林自然禀赋也在一定程度上影响森林碳密度。劳动力年龄增长对森林碳密度提升有促进作用,科学合理的采伐有利于森林碳密度的提升,保护天然林起源和降低树种单一程度有助于森林碳密度的提升。说明减少对森林的人为干预并不是人类干预的全面退出,仍需要通过合理的采伐、保护天然林和丰富人工林树种等方式来优化森林生境条件<sup>[35]</sup>,增加森林生物量,进而提升森林碳密度。

基于以上结论,得出以下政策启示:

(1)依据森林碳密度的区域差异,瞄准农村人口密度较大和森林碳密度提升潜力较高地区<sup>[30]</sup>,通过适当的限制人为活动对森林的干扰,精准提升森林碳密度。

(2)在农村劳动力转移较少地区,要丰富林农生计来源,鼓励富余林业劳动力转移;或转变林业经营目标,引导林农选择有利于碳密度提升的森林经营管护方式,促进森林固碳潜力的充分发挥。在农村劳动力转移较多地区,应保持林农木质利用处于合理水平,并探索森林碳汇资源的价值实现机制,在提升森林碳密度兼顾林农收益。

(3)在成熟林和过熟林较集中地区,可以通过科学的采伐规划,在保证碳汇总量的前提下,对成熟林和过熟林进行采伐;在幼龄林集中地区,重点挖掘林龄较小的人工林潜力,通过施肥和适当控制竞争植被等方式促进林木生长,以提升森林碳密度。同时要重点保护天然林起源林,通过封山育林和套种等方式丰富人工林树种和生物量,进而提升森林碳密度。

#### 参考文献(References):

- [1] Yin Y H, Ma D Y, Wu S H. Climate change risk to forests in China associated with warming. *Scientific Reports*, 2018, 8: 493.

- [ 2 ] Avitabile V, Camia A. An assessment of forest biomass maps in Europe using harmonized national statistics and inventory plots. *Forest Ecology and Management*, 2018, 409: 489-498.
- [ 3 ] 王艳丽, 字洪标, 程瑞希, 唐立涛, 所尔阿芝, 罗雪萍, 李洁, 王长庭. 青海省森林土壤有机碳氮储量及其垂直分布特征. *生态学报*, 2019, 39(11): 4096-4105.
- [ 4 ] Austin K G, Baker J S, Sohngen B L, Wade C M, Daigneault A, Ohrel S B, Ragnauth S, Bean A. The economic costs of planting, preserving, and managing the world's forests to mitigate climate change. *Nature Communications*, 2020, 11: 5946.
- [ 5 ] Quisumbing A, McNiven S. Moving forward, looking back: the impact of migration and remittances on assets, consumption, and credit constraints in the rural Philippines. *The Journal of Development Studies*, 2010, 46(1): 91-113.
- [ 6 ] 韩雅清, 林丽梅, 魏远竹, 苏时鹏, 许佳贤. 劳动力转移、合作经营与林业生产效率研究. *资源科学*, 2018, 40(4): 838-850.
- [ 7 ] 李旻, 赵连阁. 农业劳动力“老龄化”现象及其对农业生产的影响——基于辽宁省的实证分析. *农业经济问题*, 2009, 30(10): 12-18, 110.
- [ 8 ] 李旻, 赵连阁. 农业劳动力“女性化”现象及其对农业生产的影响——基于辽宁省的实证分析. *中国农村经济*, 2009(5): 61-69.
- [ 9 ] 廖文梅, 孔凡斌, 林颖. 劳动力转移程度对农户林地投入产出水平的影响——基于江西省 1178 户农户数据的实证分析. *林业科学*, 2015, 51(12): 87-95.
- [ 10 ] 普冀喆, 郑风田. 初始禀赋、土地依赖与农户土地转出行为分析——基于 23 省 5165 个农户样本的实证分析. *华中科技大学学报: 社会科学版*, 2016, 30(1): 42-50.
- [ 11 ] 王常伟, 顾海英. 城镇住房、农地依赖与农户承包权退出. *管理世界*, 2016(9): 55-69, 187.
- [ 12 ] 邱怡慧, 王璞, 苏时鹏. 林地生计依赖性测算及其与农户林地流转意愿关联性研究. *资源开发与市场*, 2018, 34(8): 1054-1059.
- [ 13 ] Schroeder P. Can intensive management increase carbon storage in forests? *Environmental Management*, 1991, 15(4): 475-481.
- [ 14 ] 杨晓菲, 鲁绍伟, 饶良懿, 耿绍波, 曹晚霞, 高东. 中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展. *西北林学院学报*, 2011, 26(3): 73-78.
- [ 15 ] 方运霆, 莫江明, 彭少麟, 李德军. 森林演替在南亚热带森林生态系统碳吸存中的作用. *生态学报*, 2003, 23(9): 1685-1694.
- [ 16 ] 胡芳, 杜虎, 曾馥平, 宋同清, 彭晚霞, 兰斯安, 张芳. 广西不同林龄喀斯特森林生态系统碳储量及其分配格局. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 721-729.
- [ 17 ] 方晰, 田大伦, 项文化, 闫文德, 康文星. 杉木人工林林地土壤 CO<sub>2</sub> 释放量及其影响因子的研究. *林业科学*, 2005, 41(2): 1-7.
- [ 18 ] 李园园, 王蕾, 刘琪璟, 周华. 新疆喀纳斯自然保护区森林碳储量及碳密度变化. *干旱区研究*, 2019, 36(5): 1136-1145.
- [ 19 ] 廖明蓉, 邵景安, 郭跃, 黄志霖, 吴朝平. 重大森林恢复计划下的碳增汇效应——基于石柱县两次森林资源二类清查的分析. *生态学报*, 2014, 34(16): 4707-4719.
- [ 20 ] 马学威, 熊康宁, 张俞, 赖佳丽, 张仕豪, 李传泽. 森林生态系统碳储量研究进展与展望. *西北林学院学报*, 2019, 34(5): 62-72.
- [ 21 ] 刘颖, 王艳芳, 悦飞雪, 李冬, 赵威. 基于森林清查资料的河南省森林植被碳储量动态变化. *生态学报*, 2019, 39(3): 864-873.
- [ 22 ] 燕腾, 彭一航, 王效科, 苏凯文, 陈路红, 郑伟, 巩合德. 西南 5 省市区森林植被碳储量及碳密度估算. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 39-43.
- [ 23 ] McEwan R W, Lin Y C, Sun I F, Hsieh C F, Su S H, Chang L W, Song G Z M, Wang H H, Hwang J L, Lin K C, Yang K C, Chiang J M. Topographic and biotic regulation of aboveground carbon storage in subtropical broad-leaved forests of Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(9): 1817-1825.
- [ 24 ] 罗磊, 王蕾, 刘平, 侯晓臣, 高亚琪. 阿尔泰山落叶松林碳储量与生产力时空特征及其气候成因分析. *生态学报*, 2019, 39(22): 8575-8584.
- [ 25 ] 戴巍, 赵科理, 高智群, 刘康华, 张峰, 傅伟军. 典型亚热带森林生态系统碳密度及储量空间变异特征. *生态学报*, 2017, 37(22): 7528-7538.
- [ 26 ] 郑德祥, 廖晓丽, 李成伟, 叶倩玲, 陈平留. 福建省森林碳储量估算与动态变化分析. *江西农业大学学报*, 2013, 35(1): 112-116.
- [ 27 ] Brown S L, Schroeder P E. Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern us forests. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 968-980.
- [ 28 ] 张春华, 王莉媛, 宋茜薇, 陈晓凤, 高慧, 王希群. 1973—2013 年黑龙江省森林碳储量及其动态变化. *中国环境科学*, 2018, 38(12): 4678-4686.
- [ 29 ] 李海葵, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估. 中国林业出版社, 2010.
- [ 30 ] 耿晔强, 都帅帅. 制度环境、技术创新与企业加成率——基于动态竞争视角的微观研究. *经济问题*, 2020(10): 62-71.
- [ 31 ] 张颖熙, 夏杰长. 健康预期寿命提高如何促进经济增长? ——基于跨国宏观数据的实证研究. *管理世界*, 2020, 36(10): 41-53, 214.
- [ 32 ] 薛彩霞, 姚顺波, 于金娜. 基于结构方程模型的农户经营非木质林产品行为的影响因素分析——以四川省雅安市农户为例. *林业科学*, 2013, 49(12): 136-146.
- [ 33 ] 齐麟, 于大炮, 周旺明, 周莉, 赵福安, 王长海, 代力民. 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响. *生态学报*, 2013, 33(10): 3065-3073.
- [ 34 ] Chiang J M, McEwan R W, Yaussy D A, Brown K J. The effects of prescribed fire and silvicultural thinning on the aboveground carbon stocks and net primary production of overstory trees in an oak-hickory ecosystem in southern Ohio. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(5/6): 1584-1594.
- [ 35 ] 余文梦, 苏时鹏, 沈大军. 福建集体林权制度改革对生态公益林水源涵养能力变化的影响——基于 723 个村的实证研究. *生态学报*, 2021, 41(4): 1362-1372.