

# Spatial and temporal differentiation of carbon emissions and carbon balance zoning in Fujian Province based on GIS

Dacang Huang<sup>1,2</sup> Quan Chen<sup>1</sup>

1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian, 350002, China

2. Key Laboratory of Soil Ecosystem Health and Regulation of Fujian Universities, Fuzhou, Fujian, 350002, China

## Abstract

This study applied land use and energy data, using the carbon emission coefficient method, to deeply analyze the characteristics of land use carbon emissions in Fujian Province from 2000 to 2020, revealing the spatiotemporal distribution pattern of carbon emissions in Fujian Province. At the same time, detailed carbon balance zoning was carried out. The results showed that: 1) the overall spatial distribution pattern of net carbon emissions in Fujian Province showed a high coastal area and low inland area, and the net carbon emissions of land use in each county and district increased year by year; 2) The carbon management categories of most counties in Fujian Province have shifted from carbon sink functional areas to carbon sink optimization areas and low-carbon economic areas, and the overall trend shows that carbon balance is gradually tilting towards carbon emissions. In the future, we should accelerate the optimization and upgrading of industrial structure, and promote the development of the economy towards low-carbon direction.

## Keywords

Land use; Carbon emission; Carbon balance zoning

## 基于 GIS 的福建省碳排放时空分异与碳平衡分区

黄达沧<sup>1,2</sup> 陈泉<sup>1</sup>

1. 福建农林大学资源与环境学院, 中国·福建 福州 350002

2. 土壤生态系统健康与调控福建省高校重点实验室, 中国·福建 福州 350002

## 摘要

本研究应用土地利用和能源数据, 借助碳排放系数法, 深入分析了 2000-2020 年间福建省土地利用碳排放特征, 揭示了福建省碳排放的时空分布模式, 同时进行了细致的碳平衡分区, 结果表明: 福建省净碳排放变化总体呈现沿海高、内陆低的空间分布格局, 各县区的土地利用净碳排放逐年上升; 福建省大部分县域的碳管理类别从碳汇功能区转变为碳汇优化区和低碳经济区, 整体趋势显示碳平衡逐渐向碳排放倾斜。未来应加速产业结构优化和升级, 推动经济向低碳方向发展。

## 关键词

土地利用; 碳排放; 碳平衡分区

## 1 引言

在七十五届联合国大会上中国向全世界提出了应对气候变化的新目标, 承诺将全力实现“碳达峰”和“碳中和”的宏伟目标。其中, 土地利用方式的改变是碳排放的重要来源之一, 也是影响碳排放的重要因素<sup>[1]</sup>。通过使用土地利用数据对碳排放进行时空格局分析, 可以揭示土地利用变化与碳排放之间的关联, 对实现“双碳”目标至关重要。

【课题项目】福建省自然科学基金项目【2022J05037】; 福建省中青年教育科研项目(JAT210080)。

【作者简介】黄达沧(1989-), 男, 汉族, 福建省漳州人, 博士, 副教授, 时空数据分析与建模。

国内外, 土地利用碳排放研究领域已初步形成, 且在不同时空尺度均有所体现。国家尺度上, 有研究采用 PLUS 模型预测土地利用类型与植被碳密度的关系, 进而估算中国未来碳储量<sup>[2]</sup>。区域尺度上, 基于多元参数的碳排放测算模型被用于计算武汉都市圈碳源和碳汇的时空格局<sup>[3]</sup>以及估算山东省土地利用碳排放特征<sup>[4]</sup>。城市尺度上, 学者们应用多种空间分析和回归方法测算广州市土地利用碳排放特征及影响因素<sup>[5]</sup>, 预测重庆市碳排放的区域差异和动态特征<sup>[6]</sup>。

从空间尺度来看, 目前基于县域尺度的碳排放研究还比较少<sup>[7]</sup>。福建省位于中国东南沿海, 森林覆盖率达 65.95%, 为碳排放的吸收做出了显著贡献。基于此, 本研究以福建省为研究对象, 通过应用土地利用和能源数据, 借助碳排放系数法, 分析 2000 年至 2020 年间土地利用碳排放特征, 揭示碳排放时空分布模式, 并据此进行碳平衡分区。

研究成果将为碳排放决策提供重要参考，促进区域可持续发展。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

本研究使用的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心，包括耕地、城镇建设用地、森林、草原、水体以及闲置土地的具体分类。此外，化石能源、电力消耗数据主要来自于《福建省能源统计年鉴》，地区生产总值数据来源于《福建统计年鉴》、《中国县域统计年鉴》。

### 2.2 土地利用碳排放测算

本研究借鉴了前人的研究方法，将建设用地和耕地这两个二氧化碳主要排放类型设置为碳源，剩下的林地、草地、水域和未利用地定位为重要的碳吸收区域。在计算碳排放中，采用碳排放系数法对非建设用地进行计算，以确保准确估算非活动碳排放量<sup>[8]</sup>，而在估算建设用地的碳排放时，本研究参考魏燕茹等使用的方法<sup>[9]</sup>，采用化石能源消耗、电力消耗等因子计算得到各区县建设用地碳排放量。土地利用碳排放估算模型的公式为：

$$C_t = C_m + C_n = \sum_{i=1}^5 A_i \alpha_i + C_n \quad (1)$$

式中： $C_t$ 为各县的土地利用的 $CO_2$ 净排放量， $C_m$ 为耕地、林地、草地、水域和未利用地的 $CO_2$ 排放量， $C_n$ 为各县的建筑用地能源消耗的 $CO_2$ 排放量； $A_i$ 为第*i*类土地利用类型用地面积， $\alpha_i$ 为第*i*类土地碳吸收、碳排放系数。根据冶建明等的研究<sup>[10]</sup>，本研究设置耕地、林地、草地、水域以及未利用地的碳排放系数分别为 0.495、-0.635、-0.39、-0.248、-0.005tC/( $h\ m^2 \cdot a$ )。

### 2.3 碳排放经济承载力和生态承载力

经济承载力系数（ECC）是用来评估区域间在经济效益方面对碳排放差异的量化指标，它揭示了不同区域在碳生产力方面的相对强弱。计算方法如下：

$$ECC = \frac{G_i / C_i}{G / C} \quad (2)$$

式中： $G_i$ 和 $C_i$ 代表各县生产总值和碳排放量，而 $G$ 与 $C$ 则代表全省总生产和总排放；当ECC指数大于1时，说明能源效率和碳效益较高。

碳生态承载力系数（ESC）是指某一地区碳吸收量占整个区域的比例与该地区碳排放量占整个区域比例之间的比值，体现区域碳汇能力的强弱。计算方法如下：

$$ESC = \frac{C_j / C_j}{C_i / C} \quad (3)$$

式中： $C_j$ 代表某一县市的碳吸收量， $C_i$ 代表其碳排放量， $C_j$ 和 $C$ 则分别指代福建省的总碳吸收量和总碳排放量。当ESC指数大于1时，意味着碳生态承载力系数较高。

### 2.4 碳平衡分区方法

根据福建省各县市的生态承载力系数、经济承载力系数以及净碳排放量等关键指标的综合评估，可将这些地区划分为不同的碳管理类别，包括碳汇功能区（ $ECC < 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C > 0$ ）、碳中和区（ $ECC > 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C < 0$ ）、低碳经济区（ $ECC > 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C > 0$ ）、高碳控制区（ $ECC < 1$ ,  $ESC < 1$ ,  $C > 0$ ）和高碳优化区（ $ECC > 1$ ,  $ESC < 1$ ,  $C < 0$ ）。在碳汇功能区域，碳排放经济效益较低，而生态系统的承载能力较强。碳汇优化区域具有较好的生态承载力 and 较低的碳排放经济效益，但其碳吸收量仍未能完全补偿碳排放。碳中和区域实现了碳排放与碳吸收之间的平衡。

> 1,  $C < 0$ )、碳汇优化区（ $ECC < 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C > 0$ ）、碳中和区（ $ECC > 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C < 0$ ）、低碳经济区（ $ECC > 1$ ,  $ESC > 1$ ,  $C > 0$ ）、高碳控制区（ $ECC < 1$ ,  $ESC < 1$ ,  $C > 0$ ）和高碳优化区（ $ECC > 1$ ,  $ESC < 1$ ,  $C < 0$ ）。在碳汇功能区域，碳排放经济效益较低，而生态系统的承载能力较强。碳汇优化区域具有较好的生态承载力 and 较低的碳排放经济效益，但其碳吸收量仍未能完全补偿碳排放。碳中和区域实现了碳排放与碳吸收之间的平衡。

## 3 结果分析

### 3.1 福建省土地利用碳排放时空演变分析

根据福建省 2000—2020 年土地利用现状数据，对每个区县分别统计碳排放量和碳吸收量，再计算得到净碳排放量。从 2000 年到 2020 年，福建省碳排放空间格局呈现沿海大于内陆的空间格局（图 1），且随着时间的推移，福建省各县区的土地利用类型的碳排放持续增加。碳吸收量的空间格局则呈现出内陆大于沿海的特征。这可能是因为福建省地形总体以山地丘陵为主，内陆大部分为森林所覆盖，而林地的碳吸收占比为碳汇的 80% 以上。福建省净碳排放变化总体呈现东部高、西部低的空间分布格局（图 2），与碳排放分布格局相似，各县区的土地利用净碳排放逐年上升。

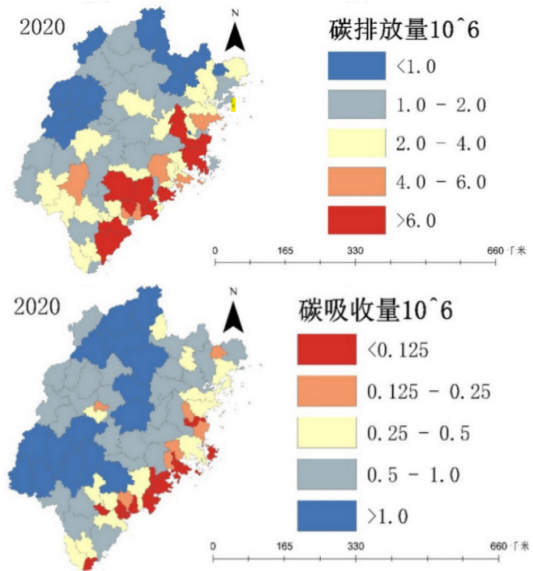


图 1 2020 年土地利用碳排放量和碳吸收量

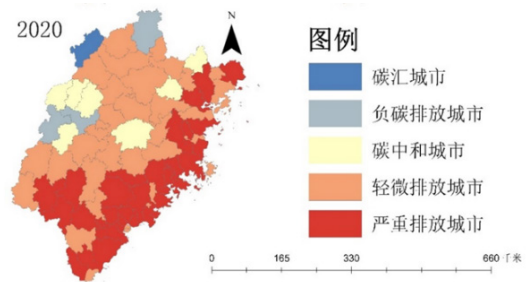


图 2 2020 年土地利用净碳排放量

### 3.2 碳排放生态承载力与经济承载力

福建省内各县域在碳排放生态承载力系数上存在显著的空间差异,整体表现为西高东低的趋势。在福建省的沿海地带,生态承载力相对较低,福建省沿海地区城镇化水平较高,在碳汇方面的潜力较小,面临着较高的碳排放强度问题。另一方面,山区县在2000-2020年生态承载力持续上升,表明山区生态环境得到改善,生态系统更稳定健康,即人类活动对环境的影响逐渐减小,生态系统的自我修复能力增强。

2000年,福建省各县的碳排放经济承载力系数在沿海地区的整体系数较高,表明这些地区的经济发展和碳排放能够达到比较好的平衡。但随着时间的推移,到了2015-2020年期间,福建省东部经济发展迅速,福建省碳排放经济承载力开始呈现内陆高沿海低的特征,表明沿海碳排放量已经逐年增高,能源效率和碳效益较低。

### 3.3 碳平衡分区

图3展示了福建省2000年至2020年间的碳平衡分区,从图中可以看到福建省大部分县域的碳管理类别从碳汇功能区转变为碳汇优化区和低碳经济区,整体趋势显示碳平衡逐渐向碳排放倾斜。这一变化反映了城市化过程中,经济发展带来的承载力增强与生态系统衰退之间的矛盾,引发了碳循环的失衡和区域差异的扩大。

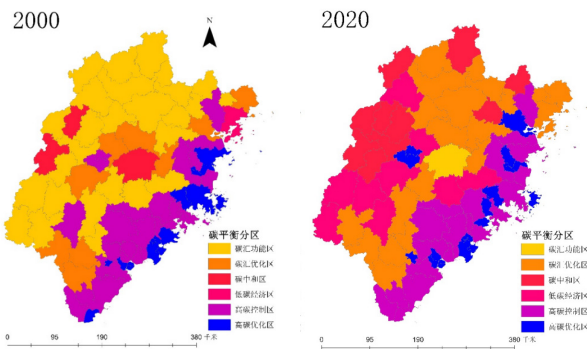


图3 福建省2000年与2020年碳平衡分区

## 4 讨论

土地利用方式的改变是碳排放的重要来源之一,也是影响碳排放的重要因素。通过分析土地利用对碳排放的影响,揭示土地利用变化与碳排放之间的关联,对全球环境保护和碳中和具有重要的现实意义。本研究以福建省为研究对象,通过借助碳排放系数法,深入分析了2000年至2020年间福建省土地利用碳排放特征,揭示福建省碳排放时空分布模式,并据此进行碳平衡分区。

福建省碳排放空间格局呈现出沿海大于内陆的空间格

局,且随着时间的推移,各县区的土地利用类型的碳排放持续增加。相反,碳吸收量空间格局则表现为内陆大于沿海的特征,内陆高覆盖率的森林起到了碳汇的作用。净碳排放的空间分布与碳排放分布格局相似,总体呈现沿海高、内陆低的趋势。福建省各县在碳排放、经济承载力与生态承载力系数上的空间分布差异,揭示了该省不同地区在经济发展与环境保护之间寻求平衡的现状。为了实现长期的可持续发展,需要通过科学的规划和有效的管理,确保在推动经济增长和保护生态环境之间找到恰当的平衡点。

从碳平衡分区来看,福建省大部分县域的碳管理类别从碳汇功能区转变为碳汇优化区和低碳经济区,整体趋势显示碳平衡逐渐向碳排放倾斜。沿海地区的高碳优化区正逐步转变为高碳控制区,这一变化反映了福建省从侧重于生态系统碳汇功能的优化,转向更加注重控制和减少碳排放的策略。未来在高碳控制区,应采用先进技术和设备以减少碳排放和提高效率,加速产业结构优化和升级,推动经济向低碳方向发展。

### 参考文献

- [1] 李旭辉,王经纬,吴权,等.“双碳”目标下中国五大重点区域工业绿色发展水平差异及成因识别[J].经济地理,2024,43(8):103-112.
- [2] Zhang D, Zhao Y, Wu J. Assessment of carbon balance attribution and carbon storage potential in China's terrestrial ecosystem[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2023, 189: 106748.
- [3] 邓颖颖,李红波.武汉城市圈土地利用碳排放时空演变及驱动因素[J].水土保持研究,2024(1):345-353.
- [4] 孙彩凤,姜巍,高卫东.山东省土地利用碳排放变化的时空特征及影响因素分析[J].环境科学,2025,46(01):30-40.
- [5] 魏俊超,梅志雄,马君杰,等.广州市土地利用碳排放时空演变及影响因素[J].水土保持研究,2024,31(04):298-307.
- [6] 黄怀玉,唐园清,龚直文,等.基于STIRPAT-GWR模型的重庆市土地利用碳排放动态演进及影响因素[J].环境工程技术学报,2024,14(04):1195-1205.
- [7] Chen J, Gao M, Cheng S, et al. County-level CO<sub>2</sub> emissions and sequestration in China during 1997-2017[J]. Scientific Data, 2020, 7: 391.
- [8] 杜官印.建设用地对碳排放的影响关系研究[J].中国土地科学,2010,24(05):32-36.
- [9] 魏燕茹,陈松林.福建省土地利用碳排放空间关联性与碳平衡分区[J].生态学报,2021,41(14):5814-5824.
- [10] 冶建明,翟梦瑶,陈志新,等.新疆北部城市碳排放时空分异与碳平衡分区[J].上海国土资源,2024,45(01):93-101.