

The Prediction study of terrestrial ecosystem carbon storage in Taizhou City based on “Three Lines One Permit” Eco-Environmental Zoning Control System

Yan Chen^{1,2} Mengxiao Lin² Chao Li¹ Yuqiu Chen²

1. Taizhou Environmental Science Design and Research Institute Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 317700, China

2. Taizhou Pollution Prevention and Control Technology Center Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 317700, China

Abstract

Taking Taizhou City as the research area, based on land use changes from 2010 to 2020, the PLUS-InVEST model was used to simulate land use and carbon storage under different scenarios in 2030, and explore the relationship between the two. The results showed that: (1) from 2010 to 2020, the construction land area in Taizhou City increased the most, by 259.97km², while the cultivated land area decreased the most, by a total of 118.99km². The carbon storage in Taizhou City was showing a downward trend, with a total reduction of 1.0582 million tons. Among them, forest land had decreased the most, followed by cultivated land. (2) The simulation results showed that the construction land area increased the most under the natural growth scenario, with a total increase of 246.59 km². The decrease in cultivated land area was the largest, with a total decrease of 112.8 km². Under the ecological environment zoning control scenario, the cultivated land area was 46.38 km² more than under the natural growth scenario. In terms of carbon storage, the natural growth scenario decreased by 1.0408 million tons, and the ecological environment zoning control scenario decreased by 460800 tons. This indicates that the “Three lines one permit” Eco-environmental zoning control system is conducive to improving the terrestrial ecosystem carbon storage, avoiding the disorderly conversion of cultivated land and forest land, and constraining the expansion of construction land.

Keywords

land use; carbon storage; scenario of ecological environment zoning control; PLUS model; InVEST model; Taizhou City

基于“三线一单”生态环境分区管控的台州市陆地生态系统碳储量预测研究

陈燕^{1,2} 林梦晓² 李超¹ 陈毓道²

1. 台州市环境科学设计研究院有限公司, 中国·浙江台州 317700

2. 台州市污染防治技术中心有限公司, 中国·浙江台州 317700

摘要

以台州市为研究区, 基于2010-2020年的土地利用变化, 采用PLUS-InVEST模型对2030年不同情景下的土地利用和碳储量进行模拟, 探讨两者间的关系。结果表明: (1) 2010-2020年, 台州市建设用地面积增加最多, 增加了259.97km², 耕地面积减少最多, 共减少118.99km²; 台州市碳储量呈下降趋势, 共减少105.82万t, 其中林地减少最多, 耕地次之。(2) 模拟结果表明, 自然增长情景下建设用地面积增加最多, 共增加246.59km²; 耕地面积减少最多, 共减少112.8km²; 生态环境分区管控情景下耕地面积较自然增长情景多46.38km²。在碳储量方面, 自然增长情景下降104.08万t, 生态环境分区管控情景下降46.08万t。这表明“三线一单”生态环境分区管控政策有利于提高陆地生态系统碳储量, 避免耕地、林地无序转换, 约束建设用地扩张。

关键词

土地利用; 碳储量; 生态环境分区管控情景; PLUS模型; InVEST模型; 台州市

1 引言

陆地生态系统碳储量是全球碳储量的重要组成部分, 其在维持全球碳循环和应对气候变化起了重要的作用^[1]。研究表明, 陆地生态系统碳储量主要受土地利用变化影响^[2]。因此, 理解土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响, 能够有效监测区域碳储量的变化情况, 对优化土地利用格局,

【基金项目】浙江省生态环境科研和成果推广项目(项目编号: 2023HT0023)。

【作者简介】陈燕(1997-), 女, 中国浙江温岭人, 硕士, 从事土地利用模拟和生态环境技术咨询研究。

实现区域可持续发展具有重要意义。

近年来,国内外学者开展了大量土地利用变化对碳储量的影响研究,相关研究主要集中在两方面,一是根据历史土地利用数据分析碳储量变化的原因,Gebeyebu 等^[1]对埃塞俄比亚西北部森林碳储量的影响因素进行研究,结果表明,农业用地的扩张和森林砍伐是导致碳储量下降的原因之一。二是结合未来土地利用模型模拟多情景土地利用变化下碳储量,常用的土地利用模拟模型包括 FLUS、CA-Markov、SD、PLUS 等。邵壮等^[4]使用 FLUS-InVEST 模型对不同情景下的北京市碳储量进行了模拟预测,结果发现绿色集约生态保护情景下碳储量较自然演变情景下有所增加。此外,在陆地生态系统碳储量估算方面,InVEST 模型模拟法因具有碳储量计算简便、碳储量结果可视化等特点,是目前研究中最常用的方法^[5]。

已有研究表明,优化土地利用结构和布局是提高碳储量的重要举措。“三线一单”生态环境分区管控体系是近年来提出的强化国土空间环境管控的新举措,其将环境管控单元分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元,要求优先保护单元坚持生态保护优先,重点管控单元促进城镇化发展和产业结构调整,一般管控单元加强基本农田、耕地、生态公益林保护。“三线一单”是强化国土空间环境管控的潜在驱动因素、是提升生态系统碳储量的重要依据。虽然各地已经逐渐发布“三线一单”生态环境分区管控方案,但其在优化土地利用布局,提高陆地生态系统碳储量等方面的研究还是空白,亟需开展相关研究。

因此,在该政策背景下,本研究选择城市化进程加快、土地利用结构变化较大的台州市为研究区,在历史土地利用变化基础上,采用 PLUS-InVEST 模型对 2030 年自然发展情景和生态环境分区管控情景下的土地利用和碳储量进行模拟,研究台州市“三线一单”生态环境分区管控方案对台州市土地利用变化及碳储量的影响,以期为区域生态功能提升、环境质量改善、生态系统碳储量研究和生态系统的可持续发展提供一定借鉴。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

台州市位于浙江省东南部,地理坐标范围为(120° 17' E—121° 56' E, 28° 01' N—29° 20' N)。台州市属亚热带季风气候,雨热同期,地势由西向东倾斜。近年来台州市经济发展迅速,城镇化水平不断提高,截至 2023 年末,全市城镇化率为 64.8%。受城镇化和人类活动的影响,台州市的建设用地显著增加,耕地面积大量减少,生态系统遭到一定破坏,陆地生态系统碳储量逐年减少^[6]。

2.2 数据

研究所涉及的数据包括土地利用数据、气候环境数据、

社会经济数据和“三线一单”环境管控单元分类数据(具体见表 1)。(1)土地利用数据为 2010 年、2020 年土地利用数据,空间分辨率 30m,总体精度在 82.5% 以上^[7],包括耕地、林地、建设用地等地类,来自于地球大数据科学工程数据共享服务系统(<https://data.casearth.cn/>)。(2)气候环境数据包括 DEM、坡度、坡向、土壤类型、年平均气温、年平均降水、主要河流距离。(3)社会经济数据,包括台州市人口、GDP、到城市中心以及各级道路距离等。对选用的数据进行投影变换、裁剪等 GIS 处理,确保各图层完整覆盖研究区域,且空间分辨率、行列号一致;其中空间分辨率统一为 30m,地理坐标系统一为 GCS_WGS_1984。

表 1 实验数据概况

类型	数据	数据精度	数据来源
土地利用数据	2010 年、2020 年土地利用数据	30 m	地球大数据科学工程数据共享服务系统(https://data.casearth.cn/)
气候环境数据	数字高程模型 DEM	30 m	地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)
	ASTER GDEM 30M		
	坡度	30 m	由 DEM 计算生成
	坡向	30 m	由 DEM 计算生成
	土壤类型	1 km	资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
	年平均气温	1 km	
	年平均降水	1km	
	到主要河流距离	30m	全国地理信息资源目录服务系统(https://www.webmap.cn/)
社会经济数据	人口	1 km	资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
	GDP	1 km	
	到城市中心距离	1:100 万	全国地理信息资源目录服务系统(https://www.webmap.cn/)
	到铁路距离	1:100 万	
	到高速公路距离	1:100 万	
	到城市一级道路距离	1:100 万	
	到城市二级道路距离	1:100 万	
到城市三级道路距离	1:100 万		
到城市四级道路距离	1:100 万		
未来驱动数据	“三线一单”环境管控单元分类数据	30m	—

3 研究方法

3.1 技术路线

首先,以2010、2020年两期土地利用、气候环境、社会经济等数据为基础,使用PLUS模型模拟预测自然发展情景和生态环境分区管控情景下的2030年土地利用情况;然后,结合InVEST模型计算2010年、2020年以及2030年不同情景下的台州市陆地生态系统碳储量结果;最后,分析“三线一单”生态环境分区管控体系对台州市土地利用变化和陆地生态系统碳储量的影响,并提出相关建议对策。

3.2 PLUS模型构建与验证

3.2.1 驱动因子选取

根据台州市的实际情况,参考相关研究,考虑驱动因子可获取性、时效性和显著性,从气候环境、社会经济两方面共选取16个驱动因子。其中,气候环境因子包括DEM、坡度、坡向、土壤类型等,社会经济因子包括人口、GDP、到城市中心距离、到铁路距离等。

3.2.2 多情景设置

为研究“三线一单”生态环境分区管控政策对台州市土地利用变化的影响,本研究设置自然发展和生态环境分区管控两种土地利用模拟预测情景,模拟台州市2030年土地利用情况。

自然发展情景(Q1):不考虑政策规划、突发性自然灾害等外界因素对土地利用变化的影响,研究区未来土地利用变化趋势同2010-2020年一致,即保持各参数不变,使用Markov模型预测2030年各地类需求,进而模拟2030年台州市土地利用情况。

生态环境分区管控情景(Q2):根据台州市“三线一单”生态环境分区管控动态方案划定的环境管控单元,基于优先保护单元坚持生态保护优先、一般管控单元加强基本农田、耕地、生态公益林保护的原则^[8],将优先保护单元设置为禁止转换区域;设置耕地、林地、草地、水域向建设用地转移的概率分别降低50%、40%、20%、30%,将下降的概率分别增加到林地、耕地、草地等地类;在此基础上模拟生态环境分区管控情景下2030年台州市土地利用情况。

3.2.3 模型构建

PLUS模型是一种斑块生成土地利用变化模拟模型,由用地扩张分析策略(LEAS)和基于多类随机斑块种子的CA模型(CARS)这两个模块组成^[9]。模型的参数设置如下:

(1)随机森林参数设置。采样方式选择随机采样,决策树(Number of regression tree)的数量设为20,采样率(Sampling rate)设为0.01,特征数(mTry)为16,并行线程数为3。

(2)CARS参数设置。领域范围(Neighborhood Size)采用默认值3,斑块生成阈值(Patch generation

threshold)为0.7,扩散系数(Expansion coefficient)为0.2,随机斑块种子概率(Percentage of seeds)为0.0001。

(3)转移矩阵设置。转移矩阵用0或1来表示不同土地利用之间互相转换的可能性大小,0表示不能转换,1表示允许转换。台州市不同土地利用的转移矩阵参数如表2所示。

表2 台州市不同土地利用转移矩阵设置

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	1	1	1	1	1	1
林地	1	1	1	1	1	1
草地	1	1	1	1	1	1
水域	0	0	0	1	1	1
建设用地	1	1	1	0	1	1
未利用地	1	1	1	0	1	1

(4)邻域权重设置。邻域权重是表示不同土地利用类型转换的能力,取值范围为0~1,值越大,表示转换能力越强,根据用地类型扩张面积占比确定邻域权重^[10],计算得耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地的邻域权重分别为0.458、0.382、0.006、0.167、1、0。

3.2.4 模型验证

以2010年土地利用为基础,用PLUS模型模拟2020年土地利用情况,并与2020年真实土地利用进行对比,结果显示总体精度为94.39%,Kappa系数为0.89,因此,构建的PLUS模型模拟精度较高,模拟结果可信,可用于2030年土地利用模拟。

3.3 基于InVEST模型的碳储量评估

InVEST模型将陆地生态系统碳储量划分成4个碳库(地上碳库、地下碳库、土壤碳库、死亡有机碳库),主要计算原理是:将某一地类的碳密度视为常量,用不同土地利用类型的碳密度乘以对应的面积来计算区域碳储量。具体计算方式如下^[11]:

$$C_i = C_{i-above} + C_{i-below} + C_{i-soil} + C_{i-dead} \quad (1)$$

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n A_i C_i \quad (2)$$

式中,i为某种土地利用类型;C_i为第i类土地利用类型碳储量(t);C_{i-above}、C_{i-below}、C_{i-soil}、C_{i-dead}分别为第i类土地利用类型地上碳密度(t/hm²)、地下碳密度(t/hm²)、土壤碳密度(t/hm²)、死亡有机碳密度(t/hm²);为生态系统碳总量(t);A_i为第i类土地利用类型的面积(hm²);n为土地利用类型数量,在本研究中为6。

在相同气候条件下,同一土地利用类型的碳密度相似,所以,碳密度数据的选取参考已有研究,优先选择同一气候区、临近研究区的碳密度^[12],并求均值,台州市不同土地利用类型的碳密度如表3所示。

表3 台州市不同土地利用类型碳密度 (t/hm²)

土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	死亡有机碳密度
耕地	18.9	12.5	85.5	2.4
林地	36.3	7.3	125.8	3.4
草地	17.4	20.8	112.2	2.9
水域	0.0	0.0	81.1	0.0
建设用地	16.2	3.2	73.0	0.0
未利用地	24.3	4.9	74.6	2.2

4 结果与分析

4.1 土地利用时空变化特征

2010-2020年,台州市土地利用类型发生了较大的变化,主要表现为建设用地、草地、未利用地的面积增加,耕地、林地、水域的面积减少。其中,建设用地面积、草地、未利用地的面积分别增加259.97km²、1.68km²和0.01km²;耕地、林地、水域的面积分别减少118.99km²、99.19km²和43.47km²(见表4)。综上,2010-2020年间,台州市建设用地面积增加最多,耕地面积减少最多,主要原因是台州市经济社会快速发展,城市化进程加快,大量人口涌入,导致城区周边的大量耕地转换成建设用地,部分林地受人类活动影响转换成建设用地。

对比2030年台州市不同土地利用模拟预测情景下各土地利用情况(见表4)发现,两种情景下台州市的主要土地利用类型以耕地、林地和建设用地为主,同先年份一致。在两种情景下,水域、草地、未利用地面积相近,变化明显的主要是耕地、林地和建设用地;从空间上看,两种情景下的建设用地增加主要集中在台州市东南部。在自然发展情景下,同2020年相比,建设用地面积增加幅度最大,共增加246.59km²;耕地面积减少幅度最大,共减少112.8km²;变化趋势同2010-2020年一致。在生态环境分区管控情景下,同2020年相比,耕地面积下降了66.62km²,建设用地面积增加了140.83km²。同自然增长情景相比,生态环境分区管控情景下的耕地得到了一定的保护,耕地面积的减少缓慢,多了46.38km²,建设用地的增加幅度也有所减缓,减少了105.76km²,建设用地的扩张得到了一定的遏制。

表4 台州市2010-2030年不同土地利用类型面积(km²)

土地利用类型	2010年	2020年	2030年自然发展情景	2030年生态环境分区管控情景
耕地	2530.85	2411.86	2299.06	2345.44
林地	5945.67	5846.48	5748.33	5804.72
草地	7.58	9.26	10.84	11.57
水域	389.38	345.90	308.66	310.92
建设用地	814.07	1074.04	1320.63	1214.87
未利用地	0.04	0.05	0.06	0.07

4.2 碳储量时空变化特征

基于InVEST模型计算台州市2010年、2020年、

2030年自然自然发展情景、2030年生态环境分区管控情景下的碳储量,碳储量分别为14373.07万t、14267.25万t、14163.17万t和14221.17万t(见表5)。

2010-2020年,台州市陆地生态系统碳储量呈下降趋势,共减少105.82万t,其中林地碳储量减少最多,耕地次之,分别减少171.41万t和141.96万t;建设用地碳储量增加最多,增加240.22万t。从土地利用变化来看,2010-2020年,台州市大量建设用地侵占耕地、林地等地类,加之其碳密度远低于耕地和林地,故台州市整体碳储量呈下降趋势。从空间上看,2010-2020年台州市陆地生态系统碳储量整体空间分布无较大差异,碳储量高值主要集中在西部山区林地即东部的耕地区域。碳储量减少的区域主要为耕地、林地转为建设用地的区域,主要集中在台州市区,温岭、玉环一片,呈零星状分布。

不同土地利用模拟预测情景下,台州市碳储量总量和空间分布不同(见表5)。在数量上,同2020年碳储量相比,自然发展情景和生态环境分区管控情景下的碳储量均呈现下降趋势,分别减少104.08万和46.08万t;其中自然发展情景碳储量下降最多,主要由耕地和林地面积减少引起,其趋势与2010-2020年的一致;生态环境分区管控情景碳储量也有所下降,但是其比自然发展情景下降的少,少58万t,主要原因是该情景采取了生态环境分区管控措施,减缓耕地、林地的面积的减少以及建设用地的增加。

表5 台州市2010-2030年不同土地利用类型碳储量(单位:万t)

土地利用类型	2010年	2020年	2030年自然发展情景	2030年生态环境分区管控情景
耕地	3019.31	2877.35	2742.78	2798.11
林地	10274.12	10102.71	9933.11	10030.55
草地	11.62	14.19	16.62	17.74
水域	315.78	280.53	250.32	252.15
建设用地	752.20	992.42	1220.27	1122.54
未利用地	0.04	0.05	0.06	0.07
碳储量总量	14373.07	14267.25	14163.17	14221.17

5 讨论

从预测结果来看,在“三线一单”生态环境分区管控政策下,台州市整体碳储量趋势较自然发展情景有所好转。究其原因,主要是生态环境分区管控情景将优先保护单元设置为约束区,遏制了碳密度较高的林地和耕地的转换,保护了碳库,同时限制了建设用地这一碳密度较低的地类无序扩张。这一结果说明“三线一单”生态环境分区管控政策的实施对于生态环境是十分必要的,其可限制碳密度较高地类转为碳密度较低地类,并制约碳密度较低地类的无序转换,能够在整体上提高区域生态系统碳储量。因此,台州市应落实好“三线一单”生态环境分区管控政策,做到优先保护单元

生态保护优先,提升省级以上森林公园、湿地等重要生态系统固碳能力,强化固碳增汇措施;一般管控单元加强基本农田、耕地、生态公益林保护,助力双碳目标的实现。

6 结论

以台州市为研究区,在2010-2020年的历史土地利用变化基础上,采用PLUS-InVEST模型模拟分析不同情景下2030年土地利用和碳储量变化情况,并分析两者之间的关系。主要结论如下:

(1) 2010-2020年,台州市土地利用变化主要表现为建设用地面积增加最多,共增加259.97km²,耕地面积减少最多,共减少118.99km²,主要原因是台州市城市化进程加快,大量人口涌入,导致城区周边的大量耕地转换成建设用地,以及林地受人类活动影响转换为建设用地。2010-2020年,台州市陆地生态系统碳储量呈下降趋势,共减少105.82万t,其中林地碳储量减少最多,耕地次之。碳储量减少的区域主要集中在台州市区,温岭、玉环一片,呈零星状分布。

(2) 通过对比2030年不同情景下台州市土地利用变化和碳储量变化情况可知:自然增长情景下建设用地面积增加幅度最大,共增加246.59km²;耕地面积减少幅度最大,共减少112.8km²;生态环境分区管控情景下耕地面积得到了保护,较自然增长情景多46.38km²,同时建设用地的扩张得到了一定的遏制。在碳储量方面,自然发展情景和生态环境分区管控情景下的碳储量均呈现下降趋势,分别减少104.08万t和46.08万t。其中自然发展情景碳储量下降最多,主要由耕地和林地面积减少引起;生态环境分区管控情景碳储量也有所下降,但是比自然发展情景多58万t。因此,实施“三线一单”生态环境分区管控政策有利于提高陆地生态系统碳储量,避免耕地、林地无序转换,约束建设用地扩张,助力双碳目标的实现。

研究仍存在不足之处,目前研究中的使用的碳密度是参考相近研究区选择的固定值,实际情况中碳密度受多个因素影响,如温度、降水等,因此在今后研究中可通过实地采样来提高碳密度的准确性。

参考文献

[1] Jiao Y, Wang Y, Tu C, et al. Spatiotemporal Evolution and Future

of Carbon Storage in Resource-Based Chinese Province: A Case Study from Shanxi Using PLUS-InVEST Model Prediction[J]. Sustainability (2071-1050), 2024, 16(11).

- [2] Baumann M, Gasparri I, Piquer-Rodríguez, María, et al. Carbon emissions from agricultural expansion and intensification in the Chaco[J]. Global Change Biology, 2016.
- [3] Gebeyehu G, Soromessa T, Bekele T, et al. Carbon stocks and factors affecting their storage in dry Afromontane forests of Awi Zone, northwestern Ethiopia[J]. Journal of Ecology and Environment, 2019, 43(1).
- [4] 邵壮, 陈然, 赵晶, 等. 基于FLUS与InVEST模型的北京市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 生态学报, 2022, 42(23): 9456-69.
- [5] Zhang K, Wang Y, Mantimin A, et al. Simulation and Attribution Analysis of Spatial-Temporal Variation in Carbon Storage in the Northern Slope Economic Belt of Tianshan Mountains, China [J]. Land, 2024, 13(5): 608.
- [6] 孙健, 於静, 莫晨剑, 等. 2000—2020年台州市陆地生态系统碳储量对土地利用变化的响应研究[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(03): 185-7.
- [7] 范津津. 城市降雨和土地利用景观格局变化对地表径流的影响研究[D], 2022.
- [8] 台州市生态环境局. 台州市生态环境局关于印发台州市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知[EB/OL]. (2020-07-15)[2024-06-12]. https://sthjj.zjtz.gov.cn/art/2020/7/15/art_1229214281_1145570.html.
- [9] Liang X, Guan Q, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 85: 101569.
- [10] 莫金宵. 碳中和背景下基于固碳效应评价及预测的滇中城市群土地利用对策研究[D], 2023.
- [11] 石晶, 石培基, 王梓洋, 等. 基于PLUS-InVEST模型的酒泉市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 环境科学: 1-18.
- [12] 丁岳, 王柳柱, 桂峰, 等. 基于InVEST模型和PLUS模型的环杭州湾生态系统碳储量[J]. 环境科学, 2023, 44(06): 3343-52.