

引用格式:赵桐,蒙古军. 基于土地利用变化的成都平原经济区碳储量时空演变与情景模拟[J]. 山地学报, 2023, 41(5): 648-661.

ZHAO Tong, MENG Jijun. Spatio-temporal evolution of land use and resulting change in carbon stock in Chengdu Plain Economic Zone (CPEZ), China [J]. Mountain Research, 2023, 41(5): 648-661.

基于土地利用变化的成都平原经济区 碳储量时空演变与情景模拟

赵桐^{a,b}, 蒙古军^{a,b*}

(北京大学 a. 城市与环境学院; b. 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 土地利用变化对生态系统碳储量的时空变化具有直接影响。由于以城市群为代表的快速城市化地区的主导功能并非提供固碳等生态系统服务,因而对其研究相对较少,更多关注流域、湿地、山地等重要生态保护地土地利用变化对碳储量的影响。然而,这类区域生态系统固碳具有变化过程快、变化程度强烈的特征,对碳储量具有重要影响,因而有待于进一步研究。本文利用 InVEST 模型分析成都平原经济区 2000—2020 年碳储量的时空演变,探究土地利用变化对碳储量的影响,利用 PLUS 模型预测 2030 年不同情景下土地利用变化和碳储量的时空变化。结果表明:(1) 20 年间,研究区土地利用变化显著,主要表现为建设用地翻倍增加,耕地面积大量减少。(2) 2000—2010 年碳储量小幅上升(0.18%), 2010—2020 年碳储量小幅下降(0.76%),生态系统固碳能力有所下降。其中,碳储量减少区主要位于各城市中心城区和雅安市西部的山地;碳储量减少主要源于建设用地快速扩张和耕地被大量占用;退耕还林虽增加了生态系统固碳能力,但林地开垦为耕地或转化为草地又抵消了退耕还林带来的碳储量增加。(3) 经济优先的政策情景将导致建设用地侵占林地和耕地,部分质量较差的森林向草地转化,碳储量显著下降,且下降总量是前 20 年下降总量的 1.7 倍;严格限制新增建设用地政策和生态建设工程的实施,可增强生态系统固碳能力,并助力成都平原经济区“双碳”目标的实现。本研究可为成都平原经济区自然资源管理、国土空间规划及“双碳”目标的实现提供科学依据。

关键词: 碳储量;土地利用变化;情景模拟;InVEST 模型;PLUS 模型;成都平原经济区

中图分类号: X321;F301.2

文献标志码: A

全球气候变化给人类社会可持续发展带来了挑战^[1]。陆地生态系统吸收 CO₂、调节全球碳循环,可减缓气候变暖^[2]。土地利用变化是仅次于化石燃料燃烧的全球第二大碳源^[3],对陆地生态系统碳储量及气候变化具有重要影响。研究土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响,对揭示全球气候变化机制,协调土地利用和生态保护的关系,探索碳中和实现路径具有重要意义。

学者们从全球^[4]、国家^[5]、区域^[6]、省市^[7-8]等多重尺度,开展了土地利用变化对碳储量的影响研究,但更多关注流域、湿地、山地等重要生态保护重要地^[9],较少关注城市群和都市连绵带。大城市周边地区以及多个城市组成城市群和都市连绵带,大多具有高密度集聚和高速度扩张等“城市病”^[10],其生态系统固碳具有变化过程快速、变化程度强烈的特征。在针对城市化集中地区的研究中,调整土

收稿日期(Received date): 2023-04-14;改回日期(Accepted date): 2023-10-30

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重点项目(42230506);北京大学地理科学拔尖人才培养计划项目。[Key Program of National Natural Science Foundation of China (42230506); Undergraduate Student Research Training Program of the Ministry of Education of China]

作者简介(Biography): 赵桐(2001-),男,四川江油市人,本科生。主要研究方向:国土空间规划。[ZHAO Tong (2001-), male, born in Jiangyou, Sichuan province, undergraduate, research on territorial spatial planning] E-mail: 2000013388@stu.pku.edu.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 蒙古军(1971-),男,博士,副教授,主要研究方向:土地利用变化的生态效应。[MENG Jijun (1971-), male, Ph. D., associate professor, research on ecological effects of land use change] E-mail: jijunm@pku.edu.cn

地利用实现碳减排和碳增汇是关注焦点^[7],但研究尺度多局限于单一城市市域^[11-12]。城市群和都市连绵带等区域视角下的快速城市化地区由土地利用变化引起的碳储量变化有待进一步研究。

土地利用变化对碳储量影响的研究方法较多,但均存在一定的局限。例如,采用实地土地利用清查资料,通过测算不同陆地植被和土壤碳密度进行估算的样地清查法^[13],因需要多点布测,观测成本较高;以生产单位产品所排放气体数量的平均值为标准(如 IPCC 温室气体清单)估算碳排放的排放系数法^[14],其未涉及土地利用变化过程产生影响碳循环的机理,结果的精确性不高;根据碳排放与遥感数据(如 DMSP-OLS 夜间灯光数据)之间的关联模型估算未来碳排放数量的遥感估算法^[15],受限于遥感数据无法获取更早历史时期的土地利用变化信息,估算结果精度有待提升;采用 BK 模型^[16]模拟自然生态系统碳循环过程的模型模拟法,由于需要使用的参数过多、模型算法较为复杂,其使用受到限制^[17]。

模型模拟法中的 InVEST 模型,由于操作便捷、数据易获取、分析精度高和可视化强等特点,在相关领域应用广泛^[18]。例如,运用 InVEST 模型探究碳储量变化发现,不同种类的森林在生态系统固碳中具有主导作用^[19-20]。近年来,将 InVEST 模型与不断发展完善的土地利用变化模拟模型相耦合,设定不同情景模拟土地利用变化,进而预测碳储量变化,评估生态环境保护政策的固碳效益^[21-22]等相关方法逐渐成熟。

成都平原经济区是研究快速城市化背景下土地利用和生态环境保护如何协调的典型区域。由于成都平原经济发展迅速,自然资源过度开发和生态环境保护的矛盾逐渐凸显、人地关系矛盾突出,但相关研究多集中于大气污染^[23-25]和耕地保护^[26-27]等领域,缺少对碳储量变化的关注。

本文以成都平原经济区为研究对象,耦合 InVEST 模型和 PLUS 模型,动态评估研究区 2000—2020 年碳储量的时空演变,探究土地利用变化对碳储量的影响,并在此基础上预测 2030 年不同情景下土地利用变化和碳储量的时空变化。研究成果可为成都平原经济区“双碳”目标实现和生态文明建设与可持续发展提供科学依据。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

成都平原经济区位于 $28^{\circ}28' \sim 33^{\circ}02'N$, $101^{\circ}56' \sim 106^{\circ}59'E$,包括成都市、德阳市、绵阳市、眉山市、资阳市、遂宁市、雅安市及乐山市 7 个环成都经济圈城市(图 1),是中国西部地区人口和城镇密度最大的区域之一^[28]。区域内以亚热带季风性湿润气候为主,降雨充沛,地势西高东低,平原占比相对较大,河网水渠纵横,物产丰富,具有优越的自然禀赋和较大的发展潜力。

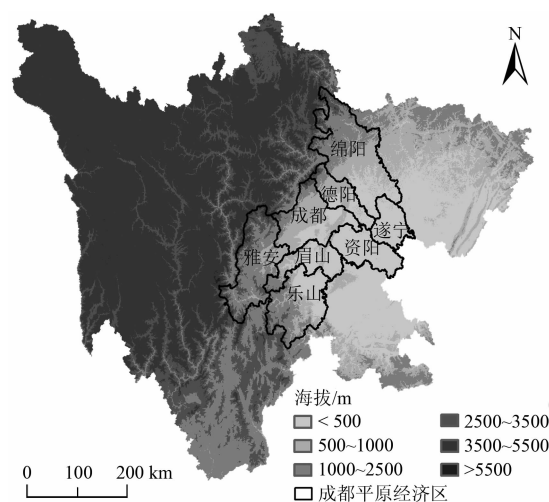


图 1 成都平原经济区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the Chengdu Plain Economic Zone

1.2 数据来源与处理

本研究所使用的土地利用数据来自全球地理信息公共产品数据集(<http://www.globallandcover.com/>),分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。根据研究区实际情况和研究需要,将土地利用类型重新分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。行政边界、DEM、气候(包括年均温和年降水量)、人口、GDP、自然保护区和风景名胜区数据均来源于中国科学院资源环境与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。铁路、公路和水系等矢量数据来自全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn/>)。

2 研究方法

2.1 基于 InVEST 模型的碳储量评估

InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services

and Trade-offs)模型是研究生态系统服务的最常用的模型之一^[29],具有量化、动态化和空间化等优点。本文采用 InVEST 模型中的碳储存模块来评估研究区碳储量的变化。

该模块主要通过不同土地利用类型的碳库数据计算生态系统的碳储量,将生态系统碳储量分为地上、地下、土壤、死亡有机碳和采伐木材产品或相关木材产品斑块等 5 种基本碳库。由于木材产品的碳库数据难以获得,且相关研究表明木材产品碳库占碳储量比例较小^[30],因此本研究忽略木材产品碳库对碳储量的影响。模型计算公式为:

$$C_i = C_{i\text{-above}} + C_{i\text{-below}} + C_{i\text{-soil}} + C_{i\text{-dead}} \tag{1}$$

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i A_i \tag{2}$$

式中, i 为某种土地利用类型; C_i 为土地利用类型 i 的碳密度; $C_{i\text{-above}}$ 、 $C_{i\text{-below}}$ 、 $C_{i\text{-soil}}$ 和 $C_{i\text{-dead}}$ 分别为土地利用类型 i 的地上植被碳密度、地下植被碳密度、土壤碳密度和死亡有机碳密度; C_{tot} 为区域生态系统的总碳储量; A_i 为土地利用类型 i 的面积。

本研究参考成都平原及相邻地区已有研究成果^[31-34]确定土地利用类型碳密度值(表 1)。由于测算方法和具体研究区域不完全相同,不同研究成果所得碳密度值具有一定的差异性,为整体反映研究区各类土地利用碳密度值,本研究取各研究平均值作为各类土地利用类型的碳密度值。

2.2 基于 PLUS 模型的土地利用多情景模拟

PLUS(Patch-generating Land Use Simulation)模型是一种基于斑块生成土地利用变化的模拟模型,通过挖掘各类土地利用变化的诱因,模拟多类土地利用斑块的变化,量化评估规划政策实施的效

表 1 各土地利用类型碳密度值(单位:t/hm²)

Tab. 1 Carbon density of different land use types(t/hm²)

土地利用类型	地上生物碳密度 ^[31-34]	地下生物碳密度 ^[31-34]	土壤碳密度 ^[31-34]	死亡有机碳密度 ^[33-34]
耕地	30.11	102.52	116.14	0.50
林地	48.90	177.12	217.25	1.75
草地	35.22	141.79	180.15	0.50
水域	5.35	70.68	81.50	0.50
建设用地	0.83	78.78	87.03	0
未利用地	6.50	34.23	45.09	0

果^[35]。本研究设置了历史情景、经济情景和生态情景(表 2),采用 PLUS 模型模拟成都平原经济区 2030 年不同情景下土地利用格局,进而预测碳储量的变化趋势。

模型参数设置如下:

(1)土地利用变化影响因子筛选。参考已有研究^[35-37],将影响土地利用变化的影响因子分为自然环境因子、社会经济因子和限制因子三类。其中,自然环境因子包括高程、坡度、气温和降水,可通过影响土地自然生产潜力进而影响土地利用方式;社会经济因子包括距铁路、道路和水系的距离,反映了土地的区位条件,是影响土地利用的重要因素;GDP 和人口密度可作为衡量人类活动强度的重要社会经济因子;限制因子包括自然保护区和风景名胜區等,是国土空间开发和建设用地扩张的重要限制性因素。

(2)土地利用需求预测。对于历史情景,基于 Markov 模型,根据 2010—2020 年变化趋势预测 2030 年土地利用类型需求。对于生态情景,综合考

表 2 情景设定及土地利用类型需求预测

Tab. 2 Scenario setting and land use type demand forecasting

预测情景	发展情况	土地利用类型需求预测
历史情景	按照历史趋势发展。	基于 Markov 模型,根据 2010—2020 年变化趋势预测 2030 年土地利用类型需求。
经济情景	建设用地扩张速度提升,新增建设用地扩张系数高达 1.5,粮食需求增加,森林砍伐严重,森林覆盖率降低 1 个百分点。	耕地、草地向建设用地转移的概率增加 30%,林地向草地转移的概率增加 20%,林地向耕地转移的概率增加 25%。
生态情景	强化城镇开发边界底线约束,新增建设用地扩张系数控制在 1.2 以内,开展退耕还林、森林草原休养生息等工程,完成森林覆盖率增长 1 个百分点的规划指标。	耕地、草地向建设用地转移的概率降低 50%,林地向草地转移的概率减少 30%,林地向耕地转移的概率减少 40%。

考虑《四川省“十四五”规划和2035年远景目标纲要》对研究区生态保护的相关要求和《四川省国土空间生态修复规划(2021—2035年)》中对森林覆盖率、退化耕地修复面积、新增治理退化草原面积、新增生态系统固碳量等相关规划指标,以及模型调试结果,确定各类土地利用转移概率、变化幅度与正负方向,进行土地利用需求预测。对于经济情景,转移概率与变化方向与生态情景正好相反,变化幅度则适当调整。

(3) 转移成本矩阵设定。在历史情景下,将2010—2020年土地利用类型转移概率超过1%的视为可以转化,即土地利用类型转移成本设定为1,其他则为0。对于经济情景和生态情景,在历史情景

的基础上,根据其发展目标调整部分土地利用转移成本(表3)。

(4) 邻域因子参数设定。对各土地利用类型变化量进行极差标准化处理,用以表征各类土地利用类型的扩张能力,并结合各情景发展目标及模型模拟结果,进行适当调整,得出各情景下土地利用类型的邻域因子(表4)。

模型精度检验:以成都平原经济区2010年土地利用数据作为基期训练集,基于PLUS模型和13种土地利用变化的影响因子,模拟2020年土地利用空间分布格局,并用2020年实际土地利用格局对比进行模型精度检验(图2)。总体精度为90.31%,Kappa系数为0.84,表明模型参数预测值准确度较

表3 多情景下土地利用类型转移成本矩阵
Tab.3 Land use transfer cost matrix of multiple scenarios

情景类型	2020年 土地利用类型	2030年土地利用类型转移可能性					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
历史情景	耕地	1	1	0	1	1	0
	林地	1	1	1	0	0	0
	草地	1	1	1	1	1	0
	水域	1	1	1	1	1	1
	建设用地	1	0	0	0	1	0
	未利用地	1	1	1	1	0	1
经济情景	耕地	1	0	0	0	1	0
	林地	1	1	1	0	1	0
	草地	1	0	1	0	1	0
	水域	0	0	0	1	0	0
	建设用地	0	0	0	0	1	0
	未利用地	1	0	0	1	1	1
生态情景	耕地	1	1	1	0	1	0
	林地	1	1	1	0	1	0
	草地	1	1	1	1	0	0
	水域	1	1	1	0	0	0
	建设用地	1	1	1	1	1	0
	未利用地	1	1	1	1	1	1

表4 多情景下各土地利用类型邻域因子设定
Tab.4 Neighborhood factor parameters of multiple scenarios

情景类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
历史情景	0.58	0.75	0.63	0.40	1.00	0.10
经济情景	0.65	0.70	0.70	0.40	1.00	0.10
生态情景	0.45	0.75	0.50	0.20	0.80	0.10

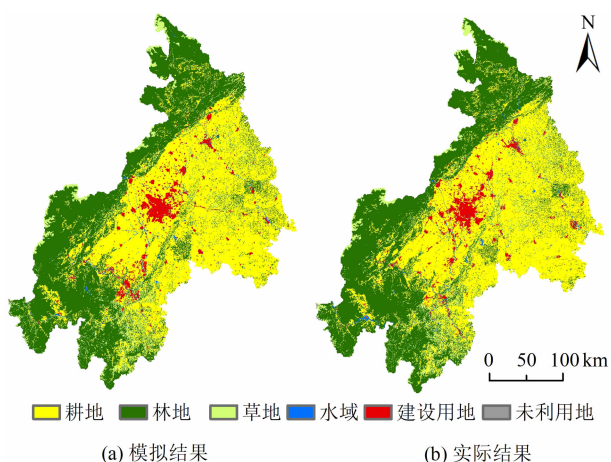


图2 2020年成都平原经济区土地利用模拟结果与实际结果
Fig. 2 Simulation results and actual results of land use in Chengdu Plain Economic Zone in 2020

高,可用于后续研究。

3 结果分析

3.1 2000—2020年土地利用变化

3.1.1 土地利用空间格局变化

2000—2020年,成都平原经济区建设用地和耕地变化最为明显,建设用地增加 2198 km²,耕地减少 2015 km²,建设用地面积增加翻倍。从空间上看,建设用地主要沿各城市主城区和重要交通干线延伸,其中成都市区建设用地呈现出依托中心城区、自内向外的圈层式扩张特征(图3)。

3.1.2 土地利用数量转移趋势

2000—2010年研究区土地利用变化区域占比为 4.79%(图4),草地是主要的转出方式,林地和耕地是主要的转入方式。2010—2020年,土地利用变化区域占比为 6.71%,与前十年相比土地利用变化更加显著。其中,耕地和建设用地总量变化最大,主要表现为耕地向建设用地转变;而林地和草地的转入和转出数量相当,总量变化相对平稳。

3.2 2000—2020年碳储量时空演变分析

3.2.1 碳储量数量变化

研究区 2000 年、2010 年和 2020 年的碳储量分别为 28.83×10^8 t、 28.88×10^8 t 和 28.66×10^8 t,呈现小幅上升后又下降趋势,总量减少 16.80×10^6 t,其中 2000—2010 年增幅为 0.18%,2010—2020 年降幅为 0.76%,反映出研究区陆地生态系统固碳能力有所下降。从各土地利用类型来看,林地和耕地的碳储量占比分别超过 50% 和 35%,是最主要的两个碳库。20 年间,林地碳储量有少量增加,但耕地碳储量明显减少,这与四川省退耕还林等生态保护政策直接相关,也与成都平原快速城镇化造成的耕地面积大量减少、集中连片程度急剧降低^[34]有关。此外,草地碳储量有所减少,建设用地、水域和未利用地的碳储量有所增加,但占比较小。

3.2.2 碳储量空间变化

研究区碳储量整体呈现西高东低的分布格局(图5)。2000—2020年,碳储量保持不变的区域占 92.26%,碳储量增加和减少区域占比分别为

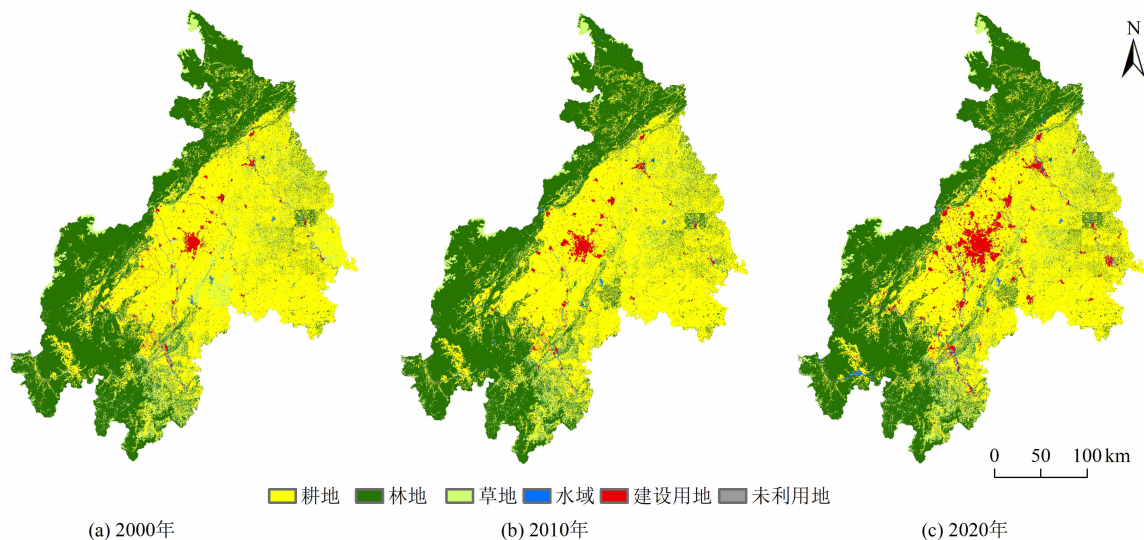


图3 2000—2020年成都平原经济区土地利用空间变化

Fig. 3 Spatial change of land use in Chengdu Plain Economic Zone from 2000 to 2020

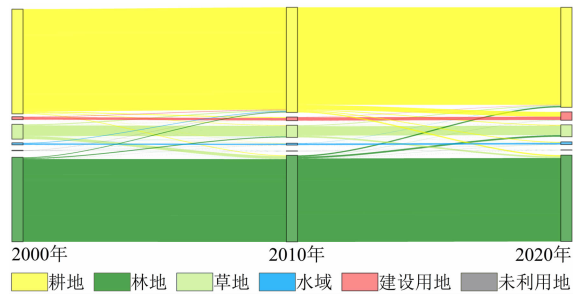


图4 2000—2020年成都平原经济区土地利用转化

Fig. 4 Land use transformation in Chengdu Plain Economic Zone from 2000 to 2020

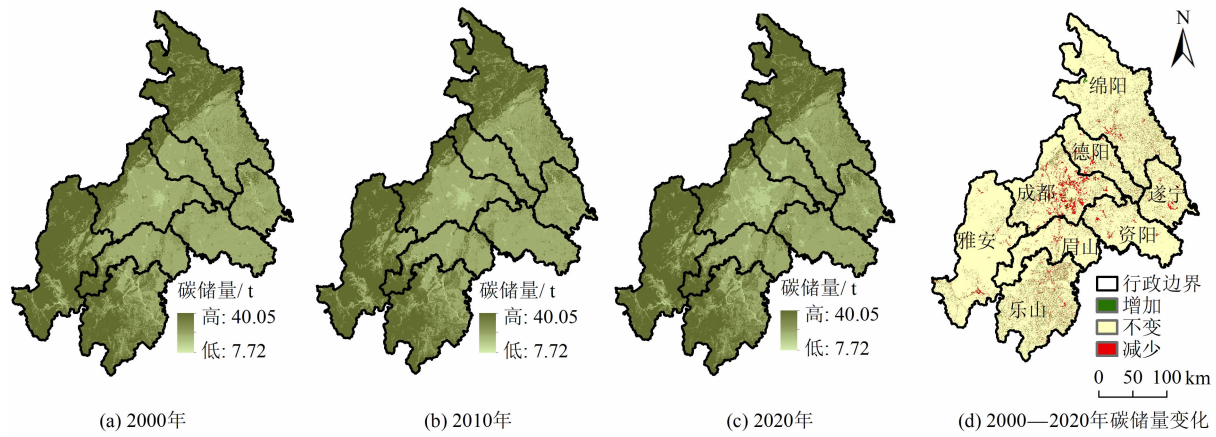


图5 2000—2020年成都平原经济区碳储量变化

Fig. 5 Carbon stock changes in Chengdu Plain Economic Zone from 2000 to 2020

表5 2000—2020年成都平原经济区碳储量转移 (10⁶t)

Tab. 5 Carbon stocks transfer in Chengdu Plain Economic Zone from 2000 to 2020 (10⁶t)

2010年	2000年						总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
耕地	0	-5.78	-4.17	1.87	1.49	1.31	-5.27
林地	6.15	0	10.57	0.62	0.12	0.16	17.63
草地	2.58	-3.3	0	0.88	0.15	0.67	0.97
水域	-0.69	-0.79	-1.98	0	-0.01	0.29	-3.19
建设用地	-3.02	-0.13	-1.25	0.01	0	0.03	-4.36
未利用地	-0.06	-0.27	-0.63	-0.12	-0.01	0	-1.08
总计	4.95	-10.26	2.54	3.25	1.75	2.46	4.7

2020年	2010年						总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
耕地	0	-9.94	-3.57	0.65	0.75	0.1	-12.01
林地	10.61	0	5.66	0.29	0.06	0.04	16.67
草地	3.35	-5.87	0	0.19	0.21	0.18	-1.94
水域	-2.87	-1.08	-1.19	0	-0.01	0.26	-4.89
建设用地	-15.97	-1.14	-1.4	0.01	0	0.02	-18.47
未利用地	-0.16	-0.5	-0.72	-0.06	0	0	-1.43
总计	-5.04	-18.54	-1.21	1.09	1.02	0.61	-22.07

56.83%;造成碳储量减少的土地利用转变类型同样较为多元,其中林地转变为耕地的贡献最多,达41.55%。

2010—2020年,土地利用变化导致碳储量增加了 16.67×10^6 t,减少了 38.74×10^6 t,总量净减少 22.07×10^6 t。与前10年相比,2010—2020年造成碳储量变化的土地利用转变类型相对单一,其中碳储量增加的主要类型为耕地转变为林地,贡献达63.67%;碳储量减少的主要类型为耕地转变为建设用地,贡献达41.23%。

可以看出,20年来研究区实施退耕还林工程,耕地到林地的转变提升了生态系统固碳能力。但由于城镇化的快速发展,建设用地扩张占用大量耕地,削弱了生态系统固碳能力。同时,由于耕地“占补平衡”政策的实施,将部分生态空间如林地转变为了耕地,降低了固碳能力,导致研究区总的碳储量下降。

3.3 2030年多情景碳储量空间格局模拟

3.3.1 多情景下土地利用模拟与预测

在历史情景下,耕地、林地和草地按历史趋势分别呈现出稳定的减少态势,建设用地继续快速扩张,水域面积继续增加,未利用地变化较小(图6)。在经济情景下,建设用地快速扩张,面积增长了66.7%,其中成都市和德阳市建设用地对耕地侵占最为严重,建设用地对林地的侵占则主要发生在成

都市区两侧的龙门山和龙泉山,以及绵阳市河谷沿线,最终导致耕地和林地分别减少了 2193 km^2 和 419 km^2 ,粮食安全面临风险,森林生态系统锐减。在生态情景下,林地面积增加 422 km^2 ,建设用地增长相比经济情景放缓2/3,严控城市增长边界、退耕还林和植树造林等生态建设工程促进了森林和草原生态系统的恢复。

3.3.2 多情景下碳储量数量结构分析

与2020年相比,2030年不同情景下的碳储量总量都将发生较大变化。其中,历史情景和经济情景下碳储量减少量分别 19.20×10^6 t和 28.26×10^6 t,生态情景下碳储量增加 2.56×10^6 t。经济情景下,2020—2030年间碳储量的减少是2000—2020年下降总量的1.7倍,将对研究区陆地生态系统固碳功能造成严重损害;生态情景下,则直接扭转了碳储量下降的趋势,国土空间生态修复工程成效显著,使得研究区成为碳汇。

从土地利用类型角度看(图7b),林地碳储量的变化最为显著,相比2020年经济情景下林地碳储量减少了 18.66×10^6 t,生态情景下林地碳储量增加了 18.81×10^6 t。经济情景下,尽管建设用地碳储量增加 37.95×10^6 t,但仍然难以弥补林地碳汇功能降低所带来的碳储量下降。生态情景下,虽然耕地碳储量下降 28.52×10^6 t,但由于林地碳汇功能的大量提升,研究区仍然表现为碳汇,反映出森林碳

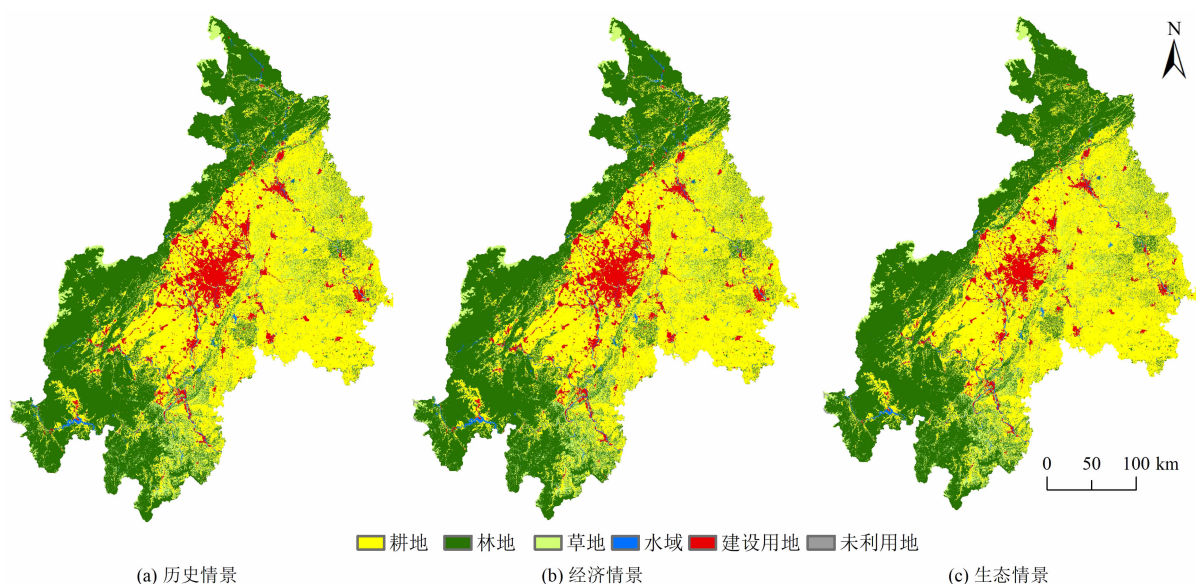


图6 2030年多情景下成都平原经济区土地利用格局模拟结果

Fig. 6 Simulation results of land use pattern in Chengdu Plain Economic Zone in 2030

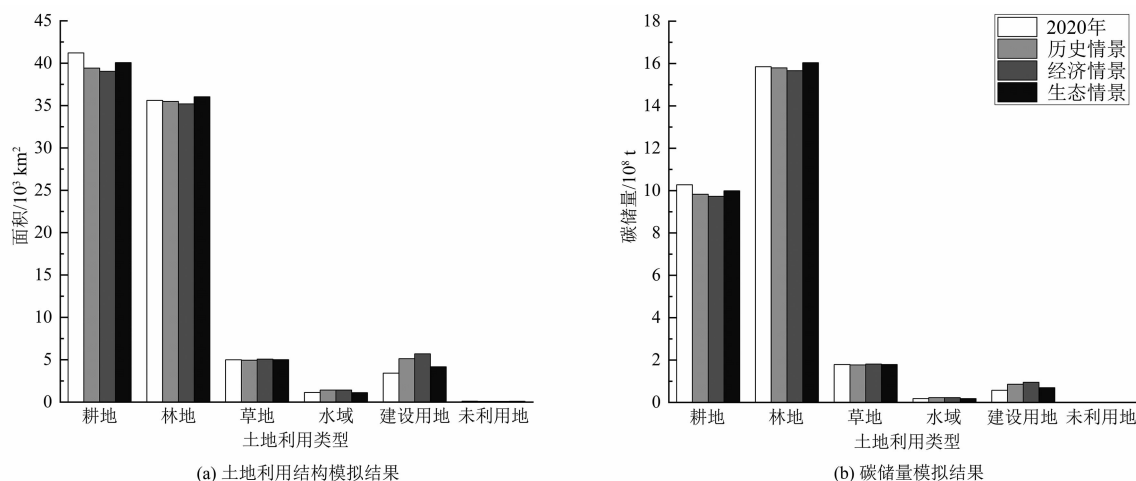


图7 2030年多情景下成都平原经济区土地利用结构与碳储量模拟结果

Fig. 7 Simulation results of land use structure and carbon stocks in Chengdu Plain Economic Zone under multiple scenarios in 2030

汇能力以及森林生态系统修复的重要性。值得注意的是,三种情景下耕地碳储量均有减少,除了严保耕地红线和实施耕地总量动态平衡政策外,未来可考虑通过施用有机肥^[38]、秸秆还田和保护性耕作^[39]等方式减少土壤有机碳损失,增强耕地土壤固碳能力。

3.3.3 多情景下碳储量空间格局分析

通过 ArcGIS 栅格计算器,将 2030 年各情景下碳储量图和 2020 年碳储量图相减得出成都平原经济区碳储量空间变化(图 8)。三种情景下,碳储量不变区域占比均超过 95%,碳储量增加面积都较少,尤其是经济情景下碳储量增加面积最少。经济情景和生态情景下,碳储量减少面积分别为 2782.17 km² 和 748.39 km²。

从空间分布来看,(1)历史情景下,碳储量变化区分布与 2000—2020 年类似,碳储量增加区域主要集中在绵阳市西北部山区和成都市西部的龙门山,碳储量减少区域主要集中在成都和德阳中心城区外围,雅安市北部山区部分森林集中向草地转变,造成了碳储量减少区聚集,另外雅安和乐山两市在四川盆地与横断山区交界处分布有大量碳储量增加和减少的交错区。(2)经济情景下,由于建设用地大规模扩张,碳储量沿各市中心城区外围及区域性交通设施分别呈现团块状和条带状减少趋势。值得注意的是,成都和德阳两市交界处碳储量减少空间集中明显,反映出成都都市圈城镇空间的连绵发展态

势^[40]对生态系统固碳能力的潜在威胁。此外,成都平原两侧的龙门山脉和龙泉山脉也出现了集中连片的碳储量减少区,绵阳、雅安和乐山市的山区沿河谷和主要交通线路出现明显的条带状碳储量减少区。(3)生态情景下,除成都市外,碳储量增加区分布相对均匀,但绵阳市南部和乐山市南部的碳储量增加较为明显,相比经济情景,可有效避免碳储量减少的趋势。

4 讨论

4.1 政策建议

本研究在对成都平原经济区土地利用变化对碳储量动态评估的基础上,通过不同情景下土地利用变化对碳储量的模拟分析,提出以下具体政策建议。

(1) 优先划定生态保护红线,巩固碳储量高值区生态系统服务能力。绵阳西北部山区大量林地转为草地,部分城镇开发建设直接或间接占用林地和草地,较大程度地破坏了碳储量高值区生态系统服务能力。因此,从空间上看,需要识别固碳等生态系统服务高值区,划定生态保护红线,提高生态系统服务能力;从土地利用类型看,林地是碳储量高值区,可通过优化林龄和树种结构^[41]、森林抚育与合理间伐^[42]等可持续经营提高森林生态系统固碳能力。

(2) 限制城市无序蔓延,确定城镇开发边界,提高土地节约集约利用水平。建设用地快速扩张是导致研究区碳储量下降的主要因素,为提高生态系统

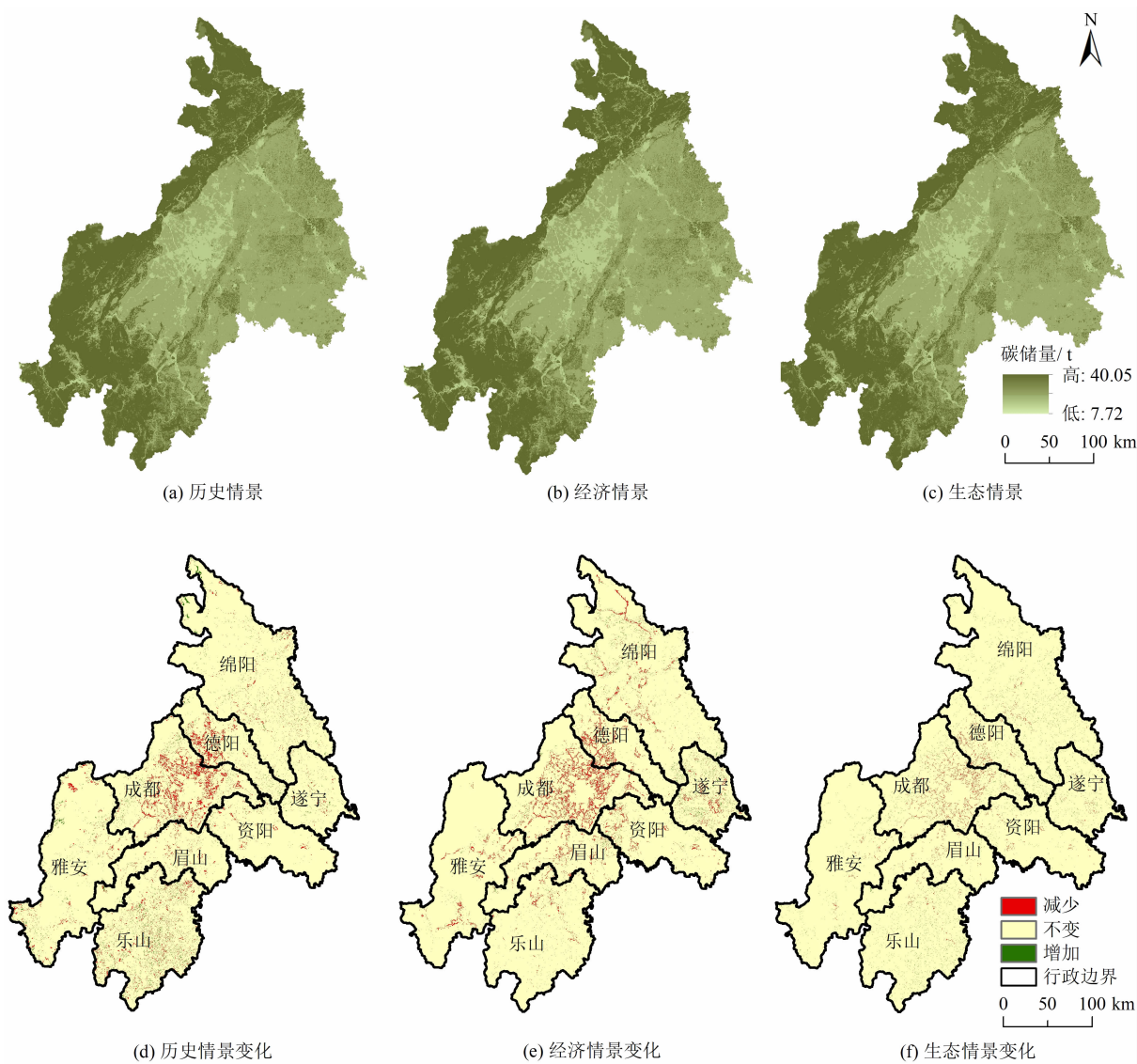


图 8 2030 年不同情景下成都平原经济区碳储量空间分布与变化
Fig. 8 Spatial distribution and change of carbon stocks in Chengdu Plain Economic Zone under different scenarios in 2030

固碳能力,需要尽快确定城镇开发边界,提高城镇建设用地节约集约利用水平,严格控制新增建设用地,尽量减少建设用地对耕地、林地、草地等碳储量更高的土地利用类型的侵占。

(3) 推进山水林田湖草系统治理,处理好生态系统服务权衡协同关系。生态系统服务之间关系错综复杂,固碳只是生态系统服务的功能之一,需要从社会-生态系统的角度出发,考虑固碳和其他生态系统服务的权衡协同关系,推动碳储量增加和生态系统整体优化。从生态系统服务的关系看,需要处理好产水量等与固碳之间的权衡关系^[43];从生态修复工程的实施看,需要评估退耕还林还草等对固碳及

相关生态系统服务之间权衡协同关系的影响^[44]。同时,也要从区域的角度出发,充分考虑研究区与周边市县的关系,带动并实现省域范围内的固碳功能以及整个生态系统服务能力的提升。

4.2 局限性

研究区碳储量评估准确性受限于 InVEST 模型本身及相关参数的设定。首先,对于模型本身而言,碳储量模块只考虑不同土地利用类型的碳密度变化,忽视了相同土地利用类型内部碳密度的空间异质性^[45],以及不同年份之间的时间异质性,导致估算结果不能反映如气候变化或森林质量提升对生态系统碳储量的影响。其次,由于木材产品的碳库数

据难以获取,且成都平原相邻地区相关研究^[31]表明其对整个碳储量影响较小,本研究未考虑此部分碳库。最后,InVEST模型的碳储量模块计算结果的可靠性很大程度上取决于各土地利用类型碳密度的准确性,由于现实条件有限,只能参考相近地区的已有研究成果,未能实地测量予以检验和校准。在后续的研究中,需加强对不同土地利用类型碳密度的野外连续监测,尤其是要关注植被的种类、年龄和结构对固碳功能影响,提高模型预测的精度。

5 结论

本文通过对成都平原经济区 2000—2030 年土地利用变化、碳储量空间格局变化与预测的分析,探讨了土地利用变化对碳储量的影响,主要结论如下。

(1)2000—2020 年,成都平原经济区土地利用格局发生显著变化,集中体现在建设用地激增,20 年间建设用地面积几乎翻倍;耕地面积大量减少。土地利用转移变化剧烈,耕地是主要的转出者,建设用地是主要的转入者,林地转出和转入都较多,但总量较平稳。

(2)2000—2020 年,成都平原经济区碳储量呈现小幅上升后又下降趋势,总量减少 16.80×10^6 t,陆地生态系统固碳能力有所下降。20 年间碳储量减少区主要分布于各城市的主城区和雅安市西部的山区。碳储量减少主要源于建设用地快速扩张,耕地大量占用。退耕还林增加了生态系统固碳能力,但林地被开垦为耕地或转化为草地又抵消了退耕还林带来的碳储量增加。

(3)情景模拟显示,2030 年成都平原经济区土地利用变化差异明显,对碳储量变化产生显著影响。历史情景下,碳储量下降 19.20×10^6 t,下降区域空间分布与 2000—2020 年相似。经济情景下,碳储量下降 28.26×10^6 t,下降总量是前 20 年下降总量的 1.7 倍,下降区域沿各市中心城区外围、区域性交通设施分别呈现团块状和条带状分布趋势,森林向草地转化和建设用地侵占林地和耕地,是碳储量下降的主要原因。生态情景下,碳储量增加 2.56×10^6 t,增加区域空间呈现相对均匀分布的特征,但绵阳市南部和乐山市南部的碳储量增加较为明显,退耕还林等生态建设工程是碳储量增加的主要原因。

(4)经济优先的政策将导致研究区生态系统固

碳功能严重受损,并面临巨大的气候变化压力。建设用地增量严格限制政策和退耕还林、生态修复等生态建设工程的实施,可增强生态系统固碳能力并使得研究区成为碳汇,助力成都平原经济区“双碳”目标的实现。

致谢

感谢华东师范大学地理科学学院朱利凯研究员对本文提出宝贵意见。

参考文献(References)

- [1] United Nations General Assembly. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development [R]. New York: United Nations, 2015: 1–9.
- [2] 方精云, 于贵瑞, 任小波, 等. 中国陆地生态系统固碳效应——中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之生态系统固碳任务群研究进展[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(6): 848–857. [FANG Jingyun, YU Guirui, REN Xiaobo, et al. Carbon sequestration in China's terrestrial ecosystems under climate change—progress on ecosystem carbon sequestration from the CAS strategic priority research program [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2015, 30(6): 848–857] DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.06.019
- [3] 马晓哲, 王铮. 土地利用变化对区域碳源汇的影响研究进展[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5898–5907. [MA Xiaozhe, WANG Zheng. Progress in the study on the impact of land-use change on regional carbon sources and sinks [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(17): 5898–5907] DOI: 10.5846/stxb201312112932
- [4] TIAN Shiqi, WANG Shijie, BAI Xiaoyong, et al. Global patterns and changes of carbon emissions from land use during 1992–2015 [J]. Environmental Science and Ecotechnology, 2021, 7: 100108. DOI: 10.1016/j.es.2021.100108
- [5] WANG Shaojian, GAO Chuang, HUANG Yongyuan, et al. Spatiotemporal evolution of urban carbon emission performance in China and prediction of future trends [J]. Journal of Geographical Science. 2020, 30(5): 757–774. DOI: 10.1007/s11442-020-1754-3
- [6] HINGE G, SURAMPALLI R Y, GOYAL M K. Regional carbon fluxes from land-use conversion and land-use management in northeast India [J]. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 2018, 22: 4018016. DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000404
- [7] 孙方虎, 方凤满, 洪炜林, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的安徽省碳储量演化分析与预测[J]. 水土保持学报, 2023, 37(1): 151–158. [SUN Fanghu, FANG Fengman, HONG Weilin, et al. Evolution analysis and prediction of carbon storage in Anhui

- province based on PLUS and InVEST model [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2023, **37**(1): 151 – 158] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2023.01.021
- [8] HE Chunyang, ZHANG Da, HUANG Qingxu, et al. Assessing the potential impacts of urban expansion on regional carbon storage by linking the LUSD-urban and InVEST models [J]. *Environmental Modelling and Software*, 2016, **75**: 44 – 58. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.09.015
- [9] 张斌, 李璐, 夏秋月, 等. “三线”约束下土地利用变化及其对碳储量的影响——以武汉城市圈为例[J]. *生态学报*, 2022, **42**(6): 2265 – 2280. [ZHANG Bin, LI Lu, XIA Qiuyue, et al. Land use change and its impact on carbon storage under the constraints of “three lines”: A case study of Wuhan city circle [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(6): 2265 – 2280] DOI: 10.5846/stxb202101070075
- [10] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. *地理学报*, 2016, **71**(4): 531 – 550. [FANG Chuanglin, ZHOU Chenghu, GU Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, **71**(4): 531 – 550] DOI: 10.11821/dlxb201604001
- [11] 朱志强, 马晓双, 胡洪. 基于耦合 FLUS-InVEST 模型的广州市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. *水土保持通报*, 2021, **41**(2): 222 – 229 + 239. [ZHU Zhiqiang, MA Xiaoshuang, HU Hong. Spatio-temporal evolution and prediction of ecosystem carbon stocks in Guangzhou city by coupling FLUS-InVEST models [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, **41**(2): 222 – 229 + 239] DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.030
- [12] JIANG Lei, LI Chongyang, SONG Bo, et al. Impacts of land use/cover changes on carbon storage in Beijing 1990 – 2010 [J]. *International Journal of Environmental Studies*, 2015, **72**(6): 972 – 982. DOI: 10.1080/00207233.2015.1054140
- [13] HUTYRA L R, YOON B, HEPINSTALL-CYMERMAN J, et al. Carbon consequences of land cover change and expansion of urban lands: A case study in the Seattle metropolitan region [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, **103**(1): 83 – 93. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.06.004
- [14] IPCC/UNEP/OECD/IEA. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [R]. Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Program, Organization for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency, 1997.
- [15] SHI Kaifang, CHEN Yun, YU Bailang, et al. Modeling spatiotemporal CO₂ (carbon dioxide) emission dynamics in China from DMSP-OLS nighttime stable light data using panel data analysis [J]. *Applied Energy*, 2016, **168**: 523 – 533. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.11.055
- [16] HOUGHTON R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850 – 2000 [J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 2003, **55**(2): 378 – 390. DOI: 10.3402/tellusb.v55i2.16764
- [17] 杨绪红, 金晓斌, 刘晶, 等. 土地利用碳排放核算系统设计与实现[J]. *测绘通报*, 2019(4): 54 – 59. [YANG Xuhong, JIN Xiaobin, LIU Jing, et al. Design and implementation of system estimating carbon emission induced by land use/cover change [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(4): 54 – 59] DOI: 10.13474/j.cnki.11 – 2246.2019.0112
- [18] 刘洋, 张军, 周冬梅, 等. 基于 InVEST 模型的疏勒河流域碳储量时空变化研究[J]. *生态学报*, 2021, **41**(10): 4052 – 4065. [LIU Yang, ZHANG Jun, ZHOU Dongmei, et al. Temporal and spatial variation of carbon storage in the Shule River Basin based on InVEST model [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(10): 4052 – 4065] DOI: 10.5846/stxb201911152452
- [19] NOGUEIRA E M, YANAI A M, DE VASCONCELOS S S, et al. Carbon stocks and losses to deforestation in protected areas in Brazilian Amazonia [J]. *Regional Environmental Change*, 2018, **18**: 261 – 270. DOI: 10.1007/s10113 – 017 – 1198 – 1
- [20] IMRAN M, DIN N. Geospatially mapping carbon stock for mountainous forest classes using InVEST model and Sentinel-2 data: A case of Bagrote valley in the Karakoram range [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, **14**(9): 756. DOI: 10.1007/s12517 – 021 – 07023 – 4
- [21] 张平平, 李艳红, 殷浩然, 等. 中国南北过渡带生态系统碳储量时空变化及动态模拟[J]. *自然资源学报*, 2022, **37**(5): 1183 – 1197. [ZHANG Pingping, LI Yanhong, YIN Haoran, et al. Spatio-temporal variation and dynamic simulation of ecosystem carbon storage in the north-south transitional zone of China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, **37**(5): 1183 – 1197] DOI: 10.31497/zrzyxb.20220506
- [22] 赫晓慧, 徐雅婷, 范学峰, 等. 中原城市群区域碳储量的时空变化和预测研究[J]. *中国环境科学*, 2022, **42**(6): 2965 – 2976. [HE Xiaohui, XU Yating, FAN Xuefeng, et al. Temporal and spatial variation and prediction of regional carbon storage in Zhongyuan Urban Agglomeration [J]. *China Environmental Science*, 2022, **42**(6): 2965 – 2976] DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000 – 6923.20220209.002
- [23] 李双志, 张小玲, 樊晋, 等. 成都平原经济区冬季细颗粒物的区域输送及潜在来源研究[J]. *环境污染与防治*, 2023, **45**(6): 817 – 821. [LI Shuangzhi, ZHANG Xiaoling, FAN Jin, et al. Regional transport and potential sources of fine particulate matter in the Chengdu Plain Economic Zone in winter [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2023, **45**(6): 817 – 821] DOI: 10.15985/j.cnki.1001 – 3865.2023.06.012.
- [24] 刘燕, 叶晴琳. 动机与能力: 成都平原经济区大气污染协同治理的政策研究[J]. *公共管理与政策评论*, 2022, **11**(6): 49 – 58. [LIU Yan, YE Qinglin. Motivation and capability: A policy

- study on coordinated air pollution control in Chengdu Plain Economic Zone [J]. *Public Administration and Policy Review*, 2022, **11**(6): 49–58]
- [25] YANG Ye, LAN Haifeng, LI Jing. Spatial econometric analysis of the impact of socioeconomic factors on PM_{2.5} concentration in China's inland cities: A case study from Chengdu Plain Economic Zone [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, **17**(1): 74. DOI: 10.3390/ijerph17010074
- [26] 石师, 金晓斌, 王世磊, 等. 高自然价值耕地内涵解析、特征识别与分类管控——以成都平原经济区为例[J]. *自然资源学报*, 2023, **38**(11): 2856–2871. [SHI Shi, JIN Xiaobin, WANG Shi-lei, et al. Connotation analysis, feature identification, and classification control of High Nature Value cultivated land: Take Chengdu Plain Economic Zone as an example [J], *Journal of Natural Resources*, 2023, **38**(11): 2856–2871] DOI: 10.31497/zrzyxb.20231111.
- [27] 马伟龙, 任平, 曾雨晴. 成都平原经济区耕地生态系统涵养水源价值时空演变特征[J]. *中国土地科学*, 2015, **29**(10): 85–94. [MA Weilong, REN Ping, ZENG Yuqing. The characteristics for the spatial-temporal evolution of water conservation value in farmland ecosystem in Chengdu Plain Economic Zone [J]. *China Land Sciences*, 2015, **29**(10): 85–94] DOI: 10.11994/zgtdkx.2015.10.012
- [28] 锁利铭, 张朱峰. 科技创新、府际协议与合作区地方政府间合作——基于成都平原经济区的案例研究[J]. *上海交通大学学报(哲学社会科学版)*, 2016, **24**(4): 61–71. [SUO Liming, ZHANG Zhufeng. Science and technology innovation, inter-local agreements and collaboration among local governments in cooperation zone: A case study of Chengdu Plain Economic Zone [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Philosophy and Social Sciences)*, 2016, **24**(4): 61–71] DOI: 10.13806/j.cnki.issn1008–7095.2016.04.006
- [29] 李瑾璞, 夏少霞, 于秀波, 等. 基于 InVEST 模型的河北省陆地生态系统碳储量研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, **36**(7): 854–861. [LI Jinpu, XIA Shaoxia, YU Xiubo, et al. Evaluation of carbon storage on terrestrial ecosystem in Hebei province based on InVEST model [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, **36**(7): 854–861] DOI: 10.19741/j.issn.1673–4831.2019.0918
- [30] 向书江, 张骞, 王丹, 等. 近 20 年重庆市主城区碳储量对土地利用/覆被变化的响应及脆弱性分析[J]. *自然资源学报*, 2022, **37**(5): 1198–1213. [XIANG Shujiang, ZHANG Qian, WANG Dan, et al. Response and vulnerability analysis of carbon storage to LUCC in the main urban area of Chongqing during 2000–2020 [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, **37**(5): 1198–1213] DOI: 10.31497/zrzyxb.20220507
- [31] 张优. 基于 LUCC 的成都平原地区碳排放效应研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2018: 1–92. [ZHANG You. Study on carbon emission effect Chengdu Plain area based on LUCC [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2018: 1–92]
- [32] 陈朝亮, 张文君, 武锋强, 等. 县域土地利用变化对碳储量影响分析——以四川省梓潼县为例[J]. *西南科技大学学报*, 2018, **33**(2): 27–32. [CHEN Chaoliang, ZHANG Wenjun, WU Fengqiang, et al. Analysis of influence of land use change on carbon stock in county area—take Zitong county of Sichuan province as example [J]. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 2018, **33**(2): 27–32]
- [33] 伍丹, 朱康文, 张晟, 等. 基于 PLUS 模型和 InVEST 模型的成渝经济区碳储量演化分析[J]. *三峡生态环境监测*, 2022, **7**(2): 85–96. [WU Dan, ZHU Kangwen, ZHANG Sheng, et al. Evolution analysis of carbon stock in Chengdu-Chongqing Economic Zone based on PLUS model and InVEST model [J]. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 2022, **7**(2): 85–96] DOI: 10.19478/j.cnki.2096–2347.2022.02.10
- [34] 庄子薛, 谢梦晴, 张文萍, 等. 基于 FLUS-InVEST 模型的碳储量时空变迁及多情景模拟预测——以成德眉资地区为例[J]. *风景园林*, 2022, **29**(5): 38–44. [ZHUANG Zixue, XIE Mengqing, ZHANG Wenping, et al. Temporal and spatial changes and multi-scenario simulation prediction of carbon storage based on FLUS-InVEST model: A case study of Chengdu-Deyang-Meishan-Ziyang area [J]. *Landscape Architecture*, 2022, **29**(5): 38–44] DOI: 10.14085/j.fjyl.2022.05.0038.07
- [35] 胡丰, 张艳, 郭宇, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测[J]. *干旱区地理*, 2022, **45**(4): 1125–1136. [HU Feng, ZHANG Yan, GUO Yu, et al. Spatial and temporal changes in land use and habitat quality in the Weihe River Basin based on the PLUS and InVEST models and predictions [J]. *Arid Land Geography*, 2022, **45**(4): 1125–1136] DOI: 10.12118/j.issn.1000–6060.2021.510
- [36] 王保盛, 廖江福, 祝薇, 等. 基于历史情景的 FLUS 模型邻域权重设置——以闽三角城市群 2030 年土地利用模拟为例[J]. *生态学报*, 2019, **39**(12): 4284–4298. [WANG Baosheng, LIAO Jiangfu, ZHU Wei, et al. The weight of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the Golden Triangle of southern Fujian in 2030 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(12): 4284–4298] DOI: 10.5846/stxb201808021649
- [37] 王旭, 马博文, 李丹, 等. 基于 FLUS 模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J]. *自然资源学报*, 2020, **35**(1): 230–242. [WANG Xu, MA Bowen, LI Dan, et al. Multi-scenario simulation and prediction of ecological space in Hubei province based on FLUS model [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, **35**(1): 230–242] DOI: 10.31497/zrzyxb.20200119
- [38] 任凤玲. 不同施肥下我国典型农田土壤有机碳固定特征及驱动因素[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021: 1–158. [REN Fengling. Soil carbon sequestration and its driving factors under different fertilization in arable land of China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021: 1–158]

- [39] 方华军, 杨学明, 张晓平. 东北黑土有机碳储量及其对大气 CO₂ 的贡献[J]. 水土保持学报, 2003, **17**(3): 9 – 12 + 20. [FANG Huajun, YANG Xueming, ZHANG Xiaoping. Organic carbon stock of black soils in northeast China and its contribution to atmospheric CO₂ [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, **17**(3): 9 – 12 + 20] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2003.03.003
- [40] 朱直君, 彭耕, 熊琳, 等. 成都都市圈空间协同策略探讨[J]. 规划师, 2020, **36**(19): 79 – 83. [ZHU Zhijun, PENG Geng, XIONG Lin, et al. Coordinated spatial development strategies of Chengdu metropolitan area [J]. Planners, 2020, **36**(19): 79 – 83]
- [41] 邹文涛, 何友均, 叶兵, 等. 基于 InVEST 模型的钱江源国家公园生态系统碳储量研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, **41**(3): 120 – 128. [ZOU Wentao, HE Youjun, YE Bing, et al. Study on carbon storage of ecosystem in Qianjiangyuan national park based on InVEST model [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2021, **41**(3): 120 – 128] DOI: 10.14067/j.cnki.1673 – 923x.2021.03.013
- [42] 张颖, 李晓格, 温亚利. 碳达峰碳中和背景下中国森林碳汇潜力分析研究[J]. 北京林业大学学报, 2022, **44**(1): 38 – 47. [ZHANG Ying, LI Xiaoge, WEN Yali. Forest carbon sequestration potential in China under the background of carbon emission peak and carbon neutralization [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, **44**(1): 38 – 47] DOI: 10.12171/j.1000 – 1522.20210143
- [43] 张碧天, 闵庆文, 焦雯珺, 等. 生态系统服务权衡研究进展[J]. 生态学报, 2021, **41**(14): 5517 – 5532. [ZHANG Bitian, MIN Qingwen, JIAO Wenjun, et al. Research progress and perspective on ecosystem services trade-offs [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(14): 5517 – 5532] DOI: 10.5846/stxb202008182151
- [44] 黄麟, 祝萍, 曹巍. 中国退耕还林还草对生态系统服务权衡与协同的影响[J]. 生态学报, 2021, **41**(3): 1178 – 1188. [HUANG Lin, ZHU Ping, CAO Wei. The impacts of the Grain for Green Project on the trade-off and synergy relationships among multiple ecosystem services in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(3): 1178 – 1188] DOI: 10.5846/stxb202001200156
- [45] 侯建坤, 陈建军, 张凯琪, 等. 基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应[J]. 环境科学, 2022, **43**(11): 5253 – 5262. [HOU Jiankun, CHEN Jianjun, ZHANG Kaiqi, et al. Temporal and spatial variation characteristics of carbon storage in the source region of the Yellow River based on InVEST and GeoSoS-FLUS models and its response to different future scenarios [J]. Environmental Science, 2022, **43**(11): 5253 – 5262] DOI: 10.13227/j.hjxk.202201267

Spatio-Temporal Evolution of Land Use and Resulting Change in Carbon Stock in Chengdu Plain Economic Zone (CPEZ), China

ZHAO Tong^{a,b}, MENG Jijun^{a,b*}

(*a. College of Urban and Environmental Sciences;*

b. Laboratory for Earth Surface Processes (MOE), Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Land use change has a direct impact on spatio-temporal changes in ecosystem carbon stocks (ECS). Since the dominant function of rapidly urbanizing regions represented by urban agglomerations is not the provision of ecosystem services such as carbon sequestration, relatively few studies of related had been carried out on them, with more attention being paid to the impact of land-use changes in important ecological reserves such as watersheds, wetlands and mountains on carbon stocks. However, carbon sequestration in ecosystems in such urbanizing regions is characterized by rapid and strong processes of change, with important implications for carbon stocks, and thus requires further study.

In this study, it analyzed the spatio-temporal changes in carbon stocks in Chengdu Plain Economic Zone (CPEZ) from 2000 to 2020 using InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) model, and examined how land use changes influenced these carbon stock changes. Then it predicted the spatio-temporal

changes of land use with resulting changes in carbon stocks under different economic and ecological scenarios in 2030 using a PLUS model.

It found that (1) There were a remarkable changes in land use in CPEZ, manifested by a nearly twofold increase in construction land and a substantial decrease in cropland from 2000 to 2020. (2) Carbon stocks increased slightly (0.18%), then followed by a decline (0.76%), with a net loss of 16.80×10^6 t from 2000 to 2020. This indicated that the Zone shifted from a carbon sink to a carbon source, and the carbon sequestration capacity declined. Spatially, the decrease in carbon stocks occurred mainly in the urban areas of CPEZ and the mountainous areas in the west of Ya'an city, which was mainly due to the rapid expansion of construction land and the large occupation of cultivated land. Although great efforts in afforestation and reforestation positively increased the carbon sequestration capacity of ecosystems, the reclamation of woodland for cultivated land or conversion to grassland unavoidably offset the increase. (3) Supposing a policy scenario of economy priority in CPEZ, it will lead to the encroachment of construction land into forested and cultivated land, the conversion of some of the poorer quality forests into grasslands, and a significant decline in carbon stocks, with the total decline being 1.7 times that of the total decline in the previous 20 years. The implementation of a policy of strictly restriction to the increase in construction land and ecological restoration by protection projects will enhance the capacity of the ecosystem to sequester carbon and help realize "Carbon Peak and Neutrality" target of the Chengdu Plain Economic Zone.

This study can provide a scientific basis for natural resource management, territorial spatial planning and the realization of "Carbon Peak and Neutrality" target in the Chengdu Plain Economic Zone.

Key words: carbon stock; land use change; scenario simulation; InVEST model; PLUS model; Chengdu Plain Economic Zone, China

(责任编辑 李嵘)