

大别山区生态系统碳储量时空变化特征

刘慧, 吴楠*, 陈凝

(安徽省生态环境科学研究院, 合肥 230061)

摘要 研究大别山区的土地利用类型变化同碳储量之间的时空变化关系,对区域生态系统保护及碳储功能的可持续发展具有重要意义,基于2000—2020年大别山区的土地覆盖遥感数据,从年变化率、动态度和转移矩阵三个方面分析大别山区不同生态系统类型的时空变化;运用InVEST模型,探究过去二十年间碳储量变化.结果表明:(1)2000—2020年,耕地面积的缩减幅度加大和城乡、工矿、居民用地的扩张幅度加剧,大别山区流域动态度(LC值)为0.13%;“耕地”主要转为“城乡、工矿、居民用地”.(2)2000、2010、2020年,大别山区生态系统总碳储量分别为24540.06、24504.99、24368.2万t;二十年间碳储量减少了171.86万t,后十年减少的幅度增大.(3)碳储量的变化主要是土地利用类型变化引起,碳密度高的耕地和林地转向碳密度较低的城乡、工矿、居民用地,这是总碳储量减少的主要原因.

关键词 大别山区;生态系统类型;动态度;碳储量

中图分类号 X171.1 **文献标志码** A **文章编号** 1672-4321(2025)04-0464-11

doi:10.20056/j.cnki.ZNMDZK.20240741

Spatiotemporal variation characteristics of carbon storage in Dabie Mountain Area Ecosystem

LIU Hui, WU Nan*, CHEN Ning

(Anhui Provincial Academy of Eco-Environmental Science Research, Hefei 230061, China)

Abstract Study of the spatio-temporal variation relations between the land use change and the carbon storage in Dabie Mountain Area is important for the protection of regional ecosystem and the sustainable development of carbon storage. Based on the remote sensing data of land cover in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020, the temporal and spatial changes of different ecosystem was analyzed from three aspects: annual change rate, dynamic degree, and transfer matrix. The main carbon storage changes in the past 20 years were investigated with InVEST model. The results showed that: (1) The cultivated area continued to decrease from 2000 to 2020, while the industrial and mining land for urban and rural residents increased rapidly. The ecosystem dynamic change index (LC value) of the whole Dabie Mountain Area was 0.13 percent. The cultivated land was mainly converted into the industrial and mining land for urban and rural residents. (2) The carbon storage in 2000, 2010 and 2020 in the research area was 24540.06×10^4 t, 24504.99×10^4 t, 24368.2×10^4 t respectively. Over the past two decades, the carbon storage had reduced 171.86×10^4 t, with a much higher magnitude decrease in the second decade. (3) The transformation of land use pattern was the primary cause of the variation of the carbon storage. The decrease of the carbon storage was mainly due to a shift from the high carbon-intensive cropland and forestland to the low carbon-intensive industrial and mining land in urban and rural residents.

Keywords Dabie Mountain Area; ecosystem; dynamics; carbon storage

2022年9月安徽省人民政府发布了《安徽省碳达峰实施方案》,要求加强陆地生态系统碳汇基础

收稿日期 2023-12-18

*通信作者 吴楠(1982-),男,正高级工程师,博士,研究方向:生态系统与碳循环研究,E-mail:26369778@qq.com

基金项目 安徽省国土空间规划-环境影响评价专题研究资助项目(HKY2020-10-25/4);安徽省自然科学基金资助项目(20080D173)

支撑研究.碳储量指的是某种类型生态系统中碳的数量;当碳库中的碳损失小于碳增加时,碳储量增加,此时碳库即为碳汇;对生态系统碳储量的研究将有利支持碳汇方法学的研究^[1],当前,区域生态系统碳储量的研究中,研究者主要采用的是实地调查、遥感估算和模型模拟等方法^[2],土壤调查和植被样方调查等实地调查方法由于散点状分布、采样分析时间长等因素,往往适用于局地尺度碳储量相对精准测算^[2],在大区域尺度上,陆地生态系统碳储量估算一般基于遥感和GIS技术,依据文献调研^[2-4]或实地观测^[5]以获取不同生态系统的碳密度数据,据此推估出该区域的总碳储量,并分析其历史发展趋势.相关研究表明,区域土地覆被类型的变化会引起相应的碳储量变化^[6-7],基于土地覆被类型遥感数据,采用GIS技术和InVest模型对大区域尺度上的生态系统碳储量进行时空变化定量分析,可以为通过调整土地利用类型来增加碳汇提供基础理论支撑.总体来看,对土地覆被类型遥感数据进行GIS处理来推算碳储量的方法日渐成熟,但因研究数据的获取处理与碳密度确定方法的不同,使得研究结果差异较大^[3].

安徽省大别山区多森林生态系统,拥有重要的碳储存服务功能^[8],近年来该区域大力承接长三角转移产业,在融入长三角经济圈的过程中经济与产业结构的变化较大,土地利用变化明显.安徽省大别山区内分布有国家重点生态功能区,其碳汇功能强大,对其碳储存量的研究意义重大.进入21世纪后,密集的建设活动引起的土地覆被变化带来了大量碳储量流失,而对这一地区碳储量时空变化与土地利用变化的响应问题尚无研究,本文致力于以安徽省大别山区为研究对象,基于2000年、2010年和2020年土地利用遥感数据,定量分析土地利用变化与陆地生态系统碳储量变化情况,以期为区域国土空间规划和生态系统保护提供参考.

1 研究区概况

安徽省境内大别山区涵盖六安市、安庆市2市17个县(市、区),国土面积28981.76 km²,占全省国土面积20.76%.核心部位以中山为主,呈阶梯状往外发展,大体分山地、丘陵、岗地和平原四个类型,位于北亚热带湿润季风气候区,雨量充沛,降水在区域内空间和时间上分布不均,平均降雨量为800~

1800 mm,大别山区分布有2个国家级自然保护区和5个省级自然保护区,生物多样性丰富,但大别山区腹地为山地地形,水土流失较为严重,生态系统的结构和功能、生物多样性保护都亟须加强.

2020年安徽省大别山区常住人口856.21万人,人口密度295人·km⁻²;占安徽省国土面积的20.8%,人口占全省的14.02%,而经济总量仅占全省的10.7%,在省内仍属于欠发达地区,经济总量不大、人均水平偏低,发展不平衡不充分;产业结构层次偏低,工业支撑带动能力还不够强^[9].

2 数据和方法

2.1 数据来源

本研究选取了2000年、2010年和2020年三个时间节点的安徽省大别山区土地覆被遥感数据.这些数据源自中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)的中国土地覆被现状遥感监测数据库,该数据以美国陆地卫星Landsat遥感影像数据作为主信息源,采用人工目视解译方法获得,其空间分辨率为30 m,地理坐标系为GCS_Krasovsky_1940,投影坐标系采用Albers正轴等面积割圆锥投影.

安徽大别山区生态系统净初级生产力(NPP)栅格数据是基于光能利用率模型GLO_PEM计算获取的,栅格值为单位面积年生产力,单位为kg C·m⁻²,数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.Resdc.cn>),空间分辨率为500 m×500 m.

在安徽大别山区,涉及的土地覆被类型包括6个一级类别及18个二级类别,具体分类情况见表1.

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统动态度

对大别山区生态系统变化特征进行动态度分析,其中生态系统类型年面积变化率 K 用式(1)计算^[6-7,9-11]:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (1)$$

式中: U_a 与 U_b 分别代表特定一类生态系统在研究开始阶段和结束阶段的土地覆被面积; T 为研究时长,单位设定为年.

综合生态系统动态度LC用式(2)计算^[12-13]:

$$LC = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right| \times \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (2)$$

表1 安徽省大别山区土地覆被类型和编码

Tab. 1 Land cover classification system and encoding of the Dabie Mountain Area in Anhui Province

土地覆被一级类型编号及名称	土地覆被二级类型编号及名称
1 耕地	11 水田;12 旱地
2 林地	21 有林地;22 灌木林;23 疏林地;24 其他林地
3 草地	31 高覆盖度草地;32 中覆盖度草地;33 低覆盖度草地
4 水域	41 河渠;42 湖泊;43 水库坑塘;46 滩地
5 城乡、工矿、居民用地	51 城镇用地;52 农村居民点;53 其他建设用地
6 未利用土地	65 裸土地;66 裸岩石质地

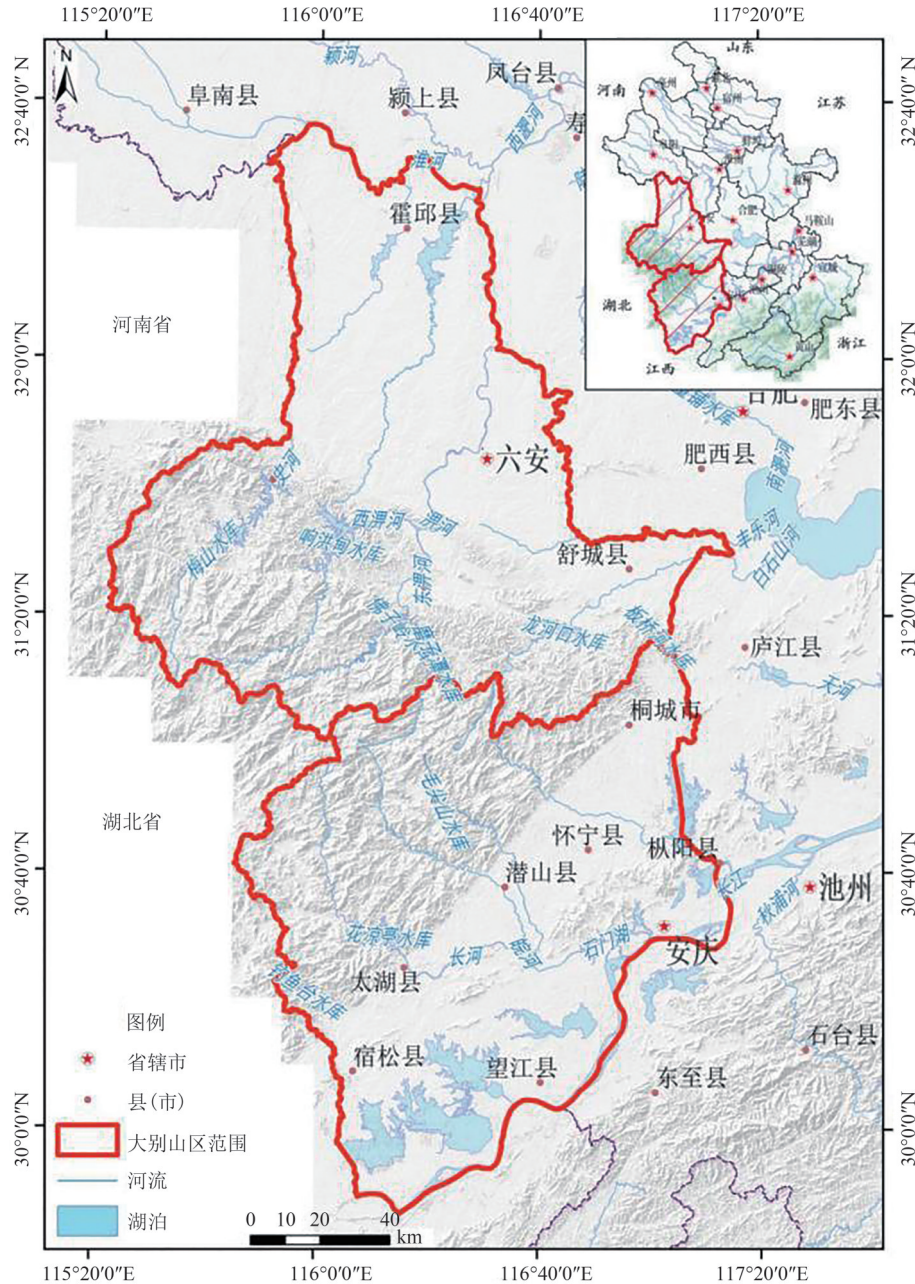


图1 安徽省大别山区区位图

Fig. 1 Schematic diagram of location of the Dabie Mountain Area in Anhui Province

式中： LU_i 表示第*i*类生态系统在研究起始阶段的面积；而 $\Delta LU_{i,j}$ 则指第*i*类生态系统在研究期间转变为第*j*类生态系统的面积变化的绝对值；*T*为研究时

长，单位为年。

2.2.2 土地利用转移矩阵

通过应用 ArcGIS 软件，本文对安徽省大别山区

2000—2010年间和2010—2020年间的生态系统类型栅格数据执行了Combine运算.基于此,构建了大别山区生态系统面积变化的转移矩阵,进而对该区域生态系统的格局变化进行了详细的叠加分析.定量研究不同土地利用类型之间时空转化,可以更好地反映生态系统变化的结构特征和相互间的转移^[14].

2.2.3 碳储量计算

碳储量的主要决定因素包括植被地上和地下生物量中的有机碳、凋落物中的有机碳以及土壤中的有机碳储量这4个方面^[15].InVEST模型将生态系统的碳储量划分为4个基本的碳库:(1)地上碳库,主要指地表植被中的碳;(2)地下碳库,主要指植物根系中的碳;(3)土壤碳库,主要指土壤中的有机碳;(4)死亡有机碳,主要指死亡植被及枯枝落叶中的有机碳^[16].其模型的计算公式如下:

$$C_i = C_{i,above} + C_{i,below} + C_{i,soil} + C_{i,dead}, \quad (3)$$

$$C_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n C_i \times S_i, \quad (4)$$

式中: i 表示第 i 种土地覆被类型; C_i 表示土地覆被类型 i 的土壤及生物量总碳密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $C_{i,above}$ 表示土地覆被类型 i 的地上生物量碳密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $C_{i,below}$ 表示土地覆被类型 i 的地下生物量碳密度^[16], $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $C_{i,soil}$ 表示土地覆被类型 i 的0~30 cm深土壤中有机的碳密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $C_{i,dead}$ 表示土地覆被类型 i 的枯落物中有机质的碳密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; $C_{\text{总}}$ 表示总碳储量, kg ; S_i 表示土地覆被类型 i 的总面积, m^2 ; n 表示土地覆被类型的数量,本例中取值为6.

本文将NPP(净初级生产力)数据应用于2020年

的土地利用类型上,进行分区统计,得出各土地利用类型平均单位面积的NPP量(单位为 $\text{kg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$).在杜卫^[16]、汤萃文^[17]等对国内不同区域生物量估算的相关研究^[17-18]基础上,依据NPP数据反演,建立地上生物量与NPP的数学模型,并据此设定了各类土地覆被的地上生物量碳密度值.根据相关研究^[18],地下生物量的计算基于地上生物量的一定比例进行反演,结合《IPCC国家温室气体清单指南》^[19]农业、土地利用变化与林业章节,确定了部分土地覆被类型地上和地下生物量之间的比例,如农田为0.10,林地为0.36,草地为2.53,灌丛为0.17^[2].

根据程先富^[15]等对安徽省土壤有机碳密度的空间分布的研究成果,土壤有机碳密度与海拔高度间存在显著的相关性,其中表层(0~20 cm)土壤与海拔高度之间呈现三级多项式关系($y = -0.0015x^3 + 0.0309x^2 - 0.0696x + 5.3197, R^2=0.8112$),相关系数在0.9以上^[2].基于安徽省的DEM(数字高程模型)模拟得出0~20 cm土壤层的碳密度,并在2020年土地覆被类型上进行分区统计.结合程先富等人的研究成果,对不同土地利用方式下的土壤碳密度值进行适当修正.土壤有机碳密度的计算依据多项式和DEM数据,并结合土地覆盖类型图进行统计.湿地部分的特殊处理中,0~30 cm土壤层的碳密度参考林凡等人的研究成果进行设定^[20].

至于枯落物有机质的碳密度数据,则是通过查阅相关文献获得^[21-24].优先选择位于安徽省的研究数据,对于省内缺少的数据,尽可能采用安徽省邻近地区的文献数据进行补充.通过上述方法建立安徽省大别山区不同土地覆被类型碳密度数据库(表2).

表2 安徽省大别山区碳密度表

Tab. 2 Carbon density of the Dabie Mountain Area in Anhui Province

土地覆被类型 编号及名称	地上生物量 $C_{i,above}$	地下生物量 $C_{i,below}$	土壤有机质 $C_{i,soil}$	枯落物有机质 $C_{i,dead}$	总碳密度 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
1 耕地	0.75	0.07	3.99	0.00	4.81
2 林地	4.19	1.51	7.67	0.38	13.75
3 草地	0.13	0.33	7.77	0.02	8.25
4 水域	0.74	2.43	5.17	0.12	8.46
5 城乡、工矿、居民用地	0.76	0.45	1.81	0.00	3.02
6 未利用土地	0.91	0.15	0.97	0.00	2.03

3 结果分析

3.1 流域生态系统格局变化特征

3.1.1 土地覆被分布及变化情况

2000—2020年,大别山区的土地覆被类型以

耕地、林地和草地为主,3类合计占区域土地总面积的75%以上,其分布与变化情况参见图2.耕地在密集分布于大别山区的北部和东南部,其中湖泊和滩地散布其中;林地主要集中分布于大别山区的中西部和安庆市的宜秀区和怀宁县的部分区域;

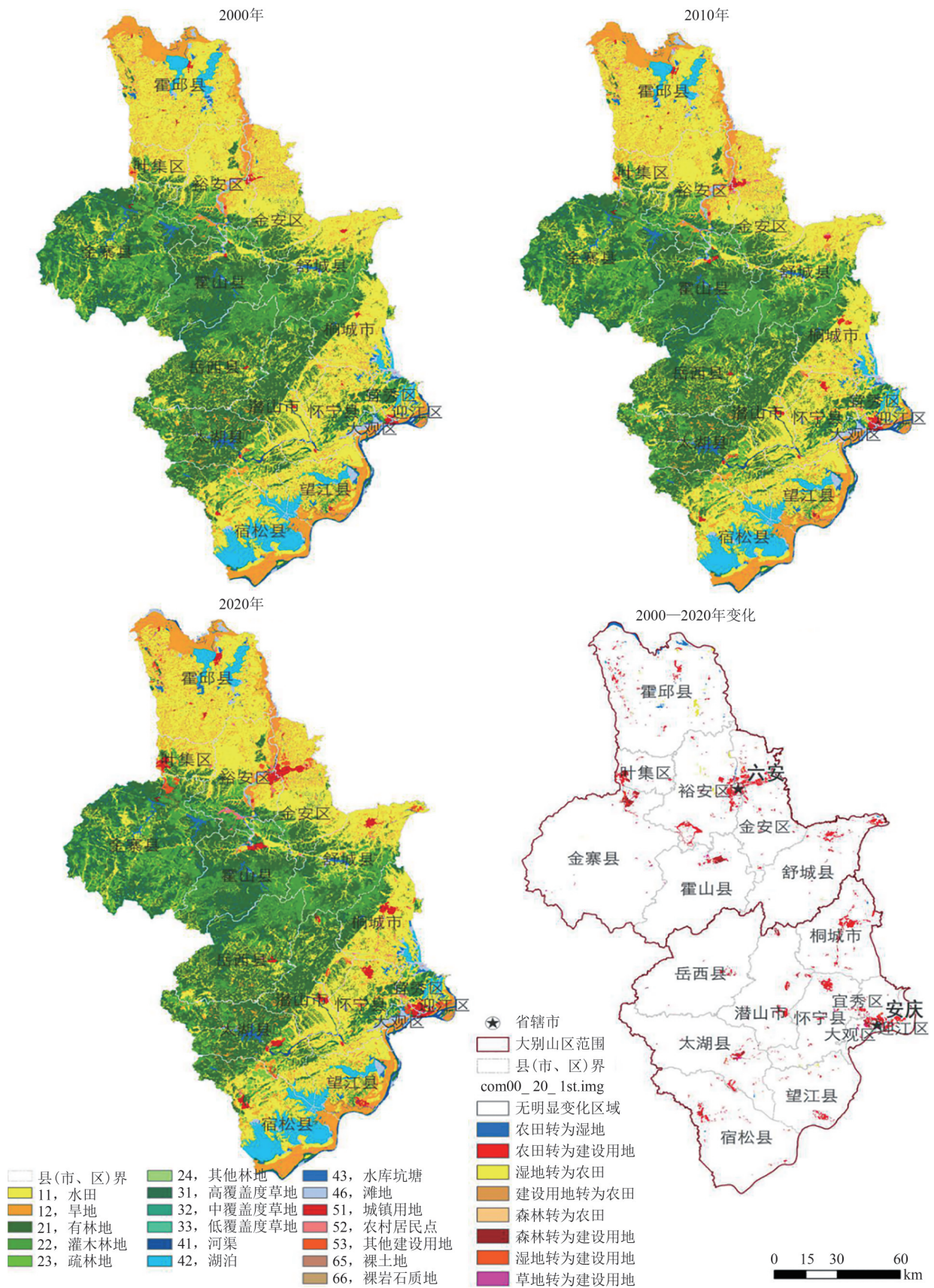


图2 2000—2020年大别山区土地利用类型分布及相互转化

Fig. 2 Distribution and interconversion of different land use type in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

草地主要分布于大别山区的在南部、东南部和北部;水域中的湖泊分布于大别山区的南部与北部,在研究区域内,其他水体类型广泛分布于整个区域,而城镇、工业和矿区、居民用地主要集中在六安和安庆的城区以及区域内的各县(市)城区.特别是六安和安庆的市辖区,在过去二十年间持续经历了区域扩张,其余区域的规模也呈现了不同程度的

增长.

土地覆被面积变化趋势以耕地减少与城乡、工矿、居民用地增加为主;水域、未利用土地小幅增加,而林地、草地小幅减少.其中,草地大类下的“中覆盖度草地”和“低覆盖度草地”和未利用土地大类下的“裸岩石质地”无变化.其面积变化的幅度和年变化率情况见表3.

表3 2000—2020年大别山区各土地覆被面积变化情况

Tab. 3 Area and changes of different land cover types in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

类型		2000年		2010年		2020年		面积变化率/%		
土地覆被一级类型编号及名称	土地覆被二级类型编号及名称	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	2000—2010年	2010—2020年	2000—2020年
1 耕地	11 水田	10884.95	37.56	10793.63	37.24	10517.60	36.29	-0.84	-2.56	-0.17
	12 旱地	1750.15	6.04	1708.22	5.90	1627.33	5.62	-2.4	-4.74	-0.35
	合计	12635.10	43.60	12501.85	43.14	12144.93	41.91	-1.05	-2.85	-0.19
2 林地	21 有林地	6469.21	22.32	6462.58	22.30	6421.27	22.16	-0.10	-0.64	-0.04
	22 灌木林	3630.37	12.53	3625.12	12.51	3607.45	12.45	-0.14	-0.49	-0.03
	23 疏林地	75.35	0.26	75.70	0.26	70.09	0.24	0.46	-7.41	-0.35
	24 其它林地	22.49	0.08	21.36	0.07	18.85	0.07	-5.02	-11.75	-0.81
	合计	10197.42	35.19	10184.76	35.14	10117.66	34.91	-0.12	-0.66	-0.04
3 草地	31 高覆盖度草地	2725.56	9.410	2724.49	9.400	2717.69	9.38	-0.04	-0.25	-0.01
	32 中覆盖度草地	0.20	0.001	0.19	0.001	0.20	0.001	-5.00	5.26	0.00
	33 低覆盖度草地	1.51	0.005	1.51	0.005	1.51	0.005	0.00	0.00	0.00
	合计	2727.27	9.410	2726.19	9.410	2719.40	9.38	-0.04	-0.25	-0.01
4 水域	41 河渠	257.82	0.89	259.53	0.90	265.02	0.92	0.66	2.12	0.14
	42 湖泊	1039.73	3.59	1038.38	3.58	1038.25	3.58	-0.13	-0.01	-0.01
	43 水库坑塘	396.30	1.37	396.15	1.37	392.19	1.35	-0.04	-1.00	-0.05
	46 滩地	432.95	1.49	437.55	1.51	441.90	1.53	1.06	0.99	0.10
	合计	2126.80	7.34	2131.61	7.36	2137.36	7.38	0.23	0.27	0.02
5 城乡、工矿、居民用地	51 城镇用地	94.27	0.33	157.49	0.54	360.59	1.24	67.06	128.96	14.13
	52 农村居民点	1187.87	4.10	1248.78	4.31	1307.34	4.51	5.13	4.69	0.50
	53 其它建设用地	10.48	0.04	28.54	0.10	190.29	0.66	172.33	566.75	85.79
	合计	1292.62	4.46	1434.81	4.95	1858.22	6.41	11.00	29.51	2.19
6 未利用土地	65 裸土地	0.00	0.000	0.00	0.000	1.64	0.006	—	—	—
	66 裸岩石质地	1.27	0.004	1.26	0.004	1.27	0.004	-0.79	0.79	0.00
	合计	1.27	0.004	1.26	0.004	2.91	0.010	-0.79	130.95	6.46
合计		28980.48	100%	28980.48	100%	28980.48	100%			

从十年变化幅度趋势来看,2000—2010年耕地中的水田、旱地面积降幅分别为-0.84%、-2.4%,而2010—2020年水田和旱地的降幅分别为-2.56%、-4.74%,耕地在后十年间降幅增大且达到第一个十年面积降幅的2倍以上.2000—2010年林地中有木林、灌木林、疏林地、其他林地面积降幅分别为-0.1%、-0.14%、0.46%、-5.02%,而2010—2020年有木林、灌木林、疏林地、其他林地降幅分别为-0.64%、-0.49%、-7.41%、-11.75%,林地在后十年间降幅明

显进一步扩大.草地中的低覆盖度草地面积在二十年间无变化,高覆盖度草地的下降幅度后十年明显快于前十年.水域中滩地面积在二十年间持稳定状态,河渠面积的增幅从前十年0.66%扩大到后十年2.12%,湖泊面积降幅在后十年呈减小趋势,水库坑塘面积在后十年呈扩大趋势.城乡、工矿、居民用地面积整体在二十年间呈增加趋势,其中城镇用地面积后十年的增幅是前十年的近2倍,其它建设用地面积后十年的增幅是前十年的3倍多,农村居民点

面积的增幅呈稳定略有下降的状态.未利用土地中裸岩石质地面积呈基本稳定,裸土地在前十年几乎不存在于大别山区,这一土地利用类型在后十年中出现,其面积超过了裸岩石质地这一土地利用类型.

根据年面积变化率(K 值)的分析,2000—2020年,建设用地大类中的“其他建设用地”和“城镇用地”变化最为显著,其 K 值分别达到85.79%和14.13%.特别值得指出的是,2010—2020年,这两类土地利用类型的 K 值是2000—2010年的两倍以上.在耕地大类中,“水田”的年变化率(K 值)虽然仅为-0.17%,但考虑到其庞大的面积基数(占全流域总面积的1/3以上),“水田”的净减少量仍然相当可观.尽管“旱地”“疏林地”“其他林地”和“农村居民点”等类别的年变化率幅度较大,但由于它们的面积基数较小,因此对整个流域生态系统格局的影响相对较小(详见表3).“中覆盖度草地”“低覆盖度草地”“裸岩石质地”

的二十年间几无变化,其年面积变化率(K 值)为0.

3.1.2 生态系统类型之间的相互转化

2000—2020年,大别山区整体生态系统的综合动态度(LC值)为0.127%(见表4).在各类生态系统中,表现出较高综合动态度(LC值)的主要是“其他建设用地”和“城镇用地”,分别达到45.24%、7.09%;而“中覆盖度草地”、“低覆盖度草地”、“裸岩石质地”的综合生态系统动态度(LC值)均为0,无转入和转出.各类型面积转出绝对量最大的是耕地(以转出为主),其转出贡献率共计达73.84%;其次是林地大类下的“有林地”和城乡、工矿、居民用地大类下的“农村居民点”,转出贡献率分别为6.68%、5.12%.各类型面积转入绝对量最大的是城乡、工矿、居民用地(以转入为主),转入贡献率共计达83%;其次是耕地大类下的“水田”和水域大类下的“滩地”,转入贡献率分别为5.14%、4.78%.

表4 2000—2020年大别山区各生态系统类型转入转出贡献率及动态度

Tab. 4 Contribution rate of transfer out/in and dynamic degree of different ecosystem types in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

类型		转出面积/km ²	转入面积/km ²	净变化面积/km ²	转出贡献率/%	转入贡献率/%	动态度/%
土地覆被一级类型 编号及名称	土地覆被二级类型 编号及名称						
1 耕地	11 水田	405.07	37.72	367.35	55.24	5.14	0.10
	12 旱地	136.42	13.60	122.82	18.60	1.85	0.21
2 林地	21 有林地	49.00	1.06	47.94	6.68	0.14	0.02
	22 灌木林	23.61	0.69	22.92	3.22	0.09	0.02
	23 疏林地	5.29	0.03	5.26	0.72	0.00	0.18
	24 其它林地	4.06	0.42	3.64	0.55	0.06	0.50
3 草地	31 高覆盖度草地	10.18	2.31	7.87	1.39	0.32	0.01
	32 中覆盖度草地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	33 低覆盖度草地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 水域	41 河渠	2.06	9.26	7.20	0.28	1.26	0.11
	42 湖泊	1.51	0.03	1.48	0.21	0.00	0.00
	43 水库坑塘	26.98	22.87	4.11	3.68	3.12	0.31
	46 滩地	26.11	35.06	8.95	3.56	4.78	0.35
5 城乡、工矿、居民用地	51 城镇用地	0.58	266.90	266.32	0.08	36.40	7.09
	52 农村居民点	37.53	157.00	119.47	5.12	21.41	0.41
	53 其它建设用地	4.91	184.72	179.81	0.67	25.19	45.24
6 未利用土地	65 裸土地	0.00	1.64	1.64	0.00	0.22	—
	66 裸岩石质地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合计		733.31	733.31	—	100	100	0.13

本文构建了2000—2020年大别山区各种土地利用类型的面积转移矩阵(见表5),结果显示:大多数一级生态系统类型的90%以上面积保持未发生转化,表现出相对的稳定性.其中,2010—2020年耕地转为“城乡、工矿、居民用地”的比例较2000—

2010年明显增大;与其他土地利用类型直接的转入、转出基本持平.需要注意的是,大别山区城镇化推进速度在后十年显著加快,“城乡、工矿、居民用地”后十年的转入量远高于前十年,约为前十年转入量的3倍;因转出量小,转入量大,表现为正的净

增加;其大量侵占“耕地”,继而侵占大别山区的“林地”和“草地”。“林地”、“水域”、“草地”在二十年间转出/入总体基本持平。“未利用土地”土地利用面积占

大别山区的比例很低,转出/入的微小变化在遥感影像中显示不够明显,但 2010—2020 年转入量增加了一倍多。

表 5 2000—2020 年大别山区生态系统面积变化转移矩阵
Tab. 5 Transfer matrix of ecosystem area change in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

		2010 年					
土地利用类型		1 耕地	2 林地	3 草地	4 水域	5 城乡、工矿、居民用地	6 未利用土地
2000 年	1 耕地	12233.64	123.19	13.94	47.90	216.43	
	2 林地	127.56	10005.84	48.13	6.37	9.49	0.03
	3 草地	14.72	46.78	2660.22	3.44	2.09	0.02
	4 水域	40.46	6.36	3.30	2072.51	4.17	
	5 城乡、工矿、居民用地	85.47	2.53	0.60	1.39	1202.63	
	6 未利用土地		0.06				1.21
2020 年	1 耕地	11886.67	120.80	13.67	31.95	91.84	
	2 林地	124.57	9937.17	47.39	5.81	2.69	0.03
	3 草地	14.74	46.83	2653.64	3.46	0.71	0.02
	4 水域	50.59	6.48	2.70	2074.45	3.14	
	5 城乡、工矿、居民用地	425.13	72.31	8.62	15.88	1336.28	
	6 未利用土地	0.15	1.17	0.17	0.06	0.15	1.21

3.2 碳储量的时空变化分析

大别山地区林地、耕地、水域、草地和城乡、工矿、居民用地等多种土地利用类型,使得大别山区碳储量的分布存在明显的时空不一致性。

本文测算出了不同时间的大别山区生态系统碳储量值,从碳储量变化的情况来看,后十年的变化相较前十年明显变大;由表 6 可见:2000 年大别山区生态系统总碳储量为 24540.06 万 t,2010 年大别山区生态系统总碳储量为 24504.99 万 t,2020 年大别山区生态系统总碳储量为 24368.2 万 t;大别山区生态系统中林地碳储量最高、耕地次之,两者碳储量之和占比在二十年间均超过 81%。总体来看,2000—2020 年大别山区生态系统的碳储量总体上成减少趋势,减少了 171.86 万 t;整个生态系统碳储量的减

少主要是由于林地和耕地的碳储量减少。后十年碳储量减少量达到了百万级,减少量远超前十年,占到了二十年间碳储量减少量的近 8 成。从各土地利用类型看,2010—2020 年的碳储量变化率均高于 2000—2010 年间的碳储量变化率。草地和水域的土地利用面积在 2000—2020 年总体处于稳定状态,两者在二十年间的碳储量也基本处于稳定的状态。而城乡、工矿、居民用地的碳储量增加量在 2000—2010 年占到整个生态系统碳储量增加量的 91% 以上,在 2010—2020 年该土地利用类型的碳储量增加量占到了整个生态系统碳储量增加量的 96% 以上。未利用土地碳储量在 2010—2020 年间变化率很大,但其碳储总量很小,其变化对区域生态系统碳储总量的变化影响可不考虑。

表 6 2000—2020 年大别山区不同土地利用类型碳储量及变化
Tab. 6 Carbon storage and change of different land types in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

土地利用类型	碳储量/万 t						碳储量变化率/%		
	2000 年	占比/%	2010 年	占比/%	2020 年	占比/%	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
1 耕地	6077.54	24.77	6013.60	24.54	5841.77	23.97	-1.05	-2.86	-3.88
2 林地	14021.96	57.14	14004.77	57.15	13912.29	57.09	-0.12	-0.66	-0.78
3 草地	2250.28	9.17	2249.58	9.18	2243.79	9.21	-0.03	-0.26	-0.29
4 水域	1799.65	7.33	1803.46	7.36	1808.58	7.42	0.21	0.28	0.50
5 城乡、工矿、居民用地	390.37	1.59	433.32	1.77	561.19	2.30	11.00	29.51	43.76
6 未利用土地	0.26	0.00	0.26	0.00	0.59	0.00	-0.79	130.95	129.13
合计	24540.06	100.00	24504.99	100.00	24368.21	100.00	-0.14	-0.56	-0.70

由图 3 可知,在空间分布上,大别山区生态系统碳储量均呈现出中西部山区地形高、南北部碳储量

低。碳储量增加的区域主要分布在大别山区的北部,而减少的区域零星分布于东部、南部与北部。大

别山区的中西部碳储量总体处于稳定状态,与该区域中西部广泛分布山区林地生态系统整体稳定基本无变化的情况一致.从图2—3可以看出,大别山区碳储量增加的区域位于霍邱县的中部和最北边,减少的原因是因为农田转为湿地,这与霍邱县为保

护湿地采取的退耕还湿政策密切相关^[25-26].图3显示:大别山区碳储量减少的区域分散集中于各县区的城市建成区,安庆与六安市区碳储量减少量高于各县建成区;金寨县、霍山县和岳西县这三个大别山区腹地县域碳储量变化总体稳定,有细微减少.

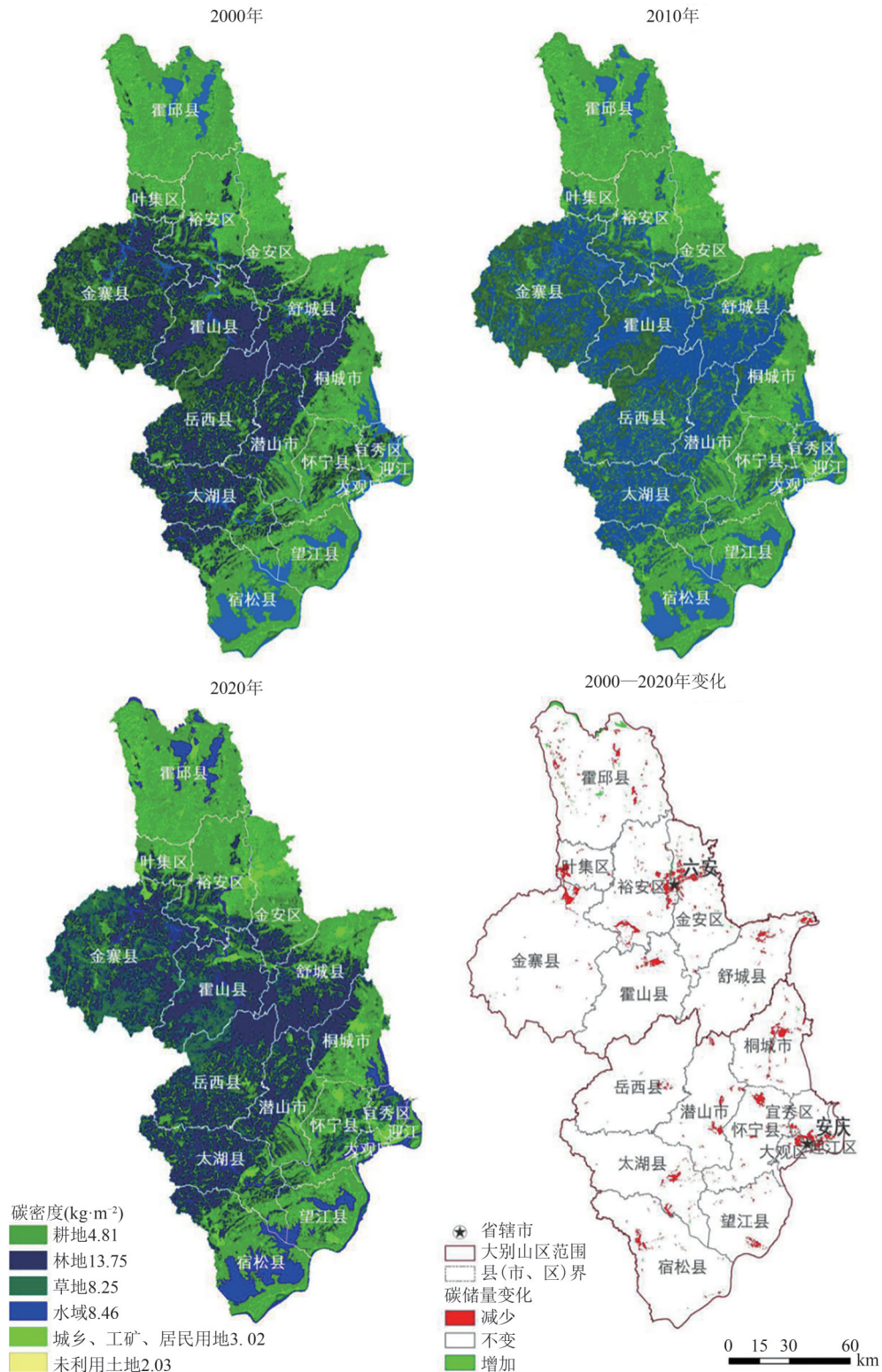


图3 2000—2020年大别山区碳储量空间分布及变化图

Fig. 3 Distribution and change of the carbon storage in Dabie Mountain Area from 2000 to 2020

结合图2,可以清晰看出安徽省大别山区的碳储量减少的原因主要是各县区城镇建成区各土地利用类型转化为建设用地类型。

4 结论和讨论

4.1 结论

(1)大别山区生态系统类型总体以耕地、林地和草地为主。20年间,最为显著的变化是耕地面积大幅缩减,同时城乡、工矿、居民用地大幅扩张;2010—2020年相较2000—2010年,土地利用类型面积变化的幅度显著增大。二十年间未利用土地中裸岩石质地面积呈基本稳定,裸土地在2010—2020年才开始出现,其面积超过了裸岩石质地。2000—2020年,“其他建设用地”和“城镇用地”面积年变化率(K 值)分别为85.79%和14.13%,2010—2020年此两类土地利用类型的 K 值是2000—2010年的2倍以上。“中覆盖度草地”、“低覆盖度草地”、“裸岩石质地”的二十年间几无变化,其 K 值为0。“其他建设用地”和“城镇用地”综合生态系统动态度(LC值)分别达到45.24%和7.09%,大别山地区生态系统LC值为0.13%。

(2)2000—2020年,转出绝对量最大的生态系统类型是耕地大类下的“水田”、“旱地”(以转出为主),转出贡献率共计达73.84%;转入绝对量较大的是城乡、工矿、居民用地大类下各小类(以转入为主),转入贡献率共计达83%。2000—2020年大别山区生态系统面积变化转移矩阵显示“耕地”、林地、“城乡、工矿、居民用地”变化明显,其中2010—2020年相较2000—2010年变化趋势更大,“未利用土地”土地利用面积占大别山区的比例很低,转出/入的微小变化在遥感影像中显示不够明显,但2010—2020年转入量增加了一倍多。

(3)从碳密度来看(表2),大别山区碳密度大小排序为:林地>水域>草地>耕地>城乡、工矿、居民用地>未利用土地。从土地利用类型来看(表6),大别山区碳库以林地为主,碳储量约占区域总碳储量的57.09%,其次是耕地(23.97%)、草地(9.21%)、水域(7.42%)和城乡、工矿、居民用地(2.3%)。未利用地固碳能力很差且其面积积极小,碳密度又小,其对区域碳储量的影响可以忽略。二十年间,各生态系统碳储量比例总体上未发生较大变化,但比例变化趋势各有不同。

2000年、2010年、2020年大别山区生态系统总碳储量分别为24540.06、24504.99、24368.2万t;二十年间大别山区生态系统碳储量减少了171.86万t。从土地利用类型面积变化的角度来看,2000—2020年耕地和林地面积减少最为明显,分别净减少490.17、79.76 km²,而城乡、工矿、居民用地增加了565.6 km²;大别山区的生态系统类型显著发生变化。碳密度高的耕地与林地生态系统转变为碳密度较低的城乡、工矿、居民用地生态系统,大别山生态系统总碳储量减少也就成为必然,生态系统的变化与总碳储量的变化之间密切相关。

4.2 讨论

本文基于大别山区2000—2020的遥感数据,采用GIS技术对各生态系统变化情况进行定量分析,探讨了各类型之间相互转化情况与规律;需要指出的是,不论是年变化率 K 值还是综合动态度LC值,其大小都不足以说明生态系统变化情况;即便 K 值和LC值很小,从变化数量足够大时,其对整个流域的生态系统格局影响还是很大的;反之亦然。

本文中为计算碳储量,进行碳密度参数设置采用文献研究的方法,然而不同生态系统下垫面的碳密度差异很大,缺乏对样地的长期监测数据作为支撑的估算,其精度和准确度有待进一步提高。

大别山区最主要的碳库是林地,约占区域总碳储量的57.09%。碳密度较低的土地利用类型正向演变为碳密度较高的土地利用类型(耕地、草地和水域转为林地,耕地和草地转为水域,耕地转为草地)是碳储量增加的主要原因。生态系统逆向演变,即碳密度较高的土地利用类型转化为碳密度较低的,是碳储量减少的主要原因。由于相对高密度固碳的林地、草地和耕地转成了低密度固碳的城乡、工矿、居民用地,伴随碳排放,给大别山区的生态系统碳存储功能带来负面影响。

未来大别山区在发展实现双碳目标的过程中,应严格落实耕地和林地等生态系统的保护政策,有效控制城镇空间的无序扩张,保护修复碳密度较高的自然生态空间。同时,也要加强土地利用变化的动态监测与监管,引导土地利用开发方式向更加低碳的模式转变;减少和杜绝不合理的土地利用方式,实现生态环境保护与土地利用开发的良性发展。

参 考 文 献

- [1] 邓喆,丁文广,蒲晓婷,等.基于InVEST模型的祁连山国家公园碳储量时空分布研究[J].水土保持通报,

- 2022, 42(3): 324-334, 396.
- [2] 吴楠, 陈凝, 程鹏, 等. 安徽省陆地生态系统碳储量变化对未来土地覆被情景的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(2): 415-426.
- [3] 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.
- [4] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 基于InVEST和CA-Markov模型的黄河流域碳储量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6): 1018-1029.
- [5] 刘冠, 李国庆, 李洁, 等. 基于InVEST模型的1999—2016年麻塔流域碳储量变化及空间格局研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 267-274.
- [6] 李若玮, 叶冲冲, 王毅, 等. 基于InVEST模型的青藏高原碳储量估算及其驱动力分析[J]. 草地学报, 2021, 29(S01): 43-51.
- [7] 李姣, 汪杰, 李朗, 等. 洞庭湖生态经济区土地利用变化对碳储量的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(6): 1156-1165.
- [8] 安徽省人民政府办公厅. 安徽大别山革命老区“十四五”振兴发展规划[EB/OL]. (2022-02-24)[2023-12-18]. <https://www.ah.gov.cn/public/1681/554101851.html>.
- [9] 张钰莹, 孙美莹, 杨荣金, 等. 西南地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(1): 207-214.
- [10] 朱成琦. 皖西大别山区典型森林群落结构与碳储量研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [11] 祁雪姣, 马莲, 李健明, 等. 黄河源区1990—2020年土地利用变化分析[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2023, 42(5): 585-591.
- [12] 甄艳, 吴宗攀, 尹志恒, 等. 四川省若尔盖县土地利用时空变化研究[J]. 生态科学, 2022, 41(2): 41-49.
- [13] 张永民, 赵士洞. 科尔沁沙地及其周围地区土地利用的时空动态变化研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 429-435.
- [14] 吴晓蕾, 唐志尧, 崔海亭, 等. 北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 239-251.
- [15] 程先富, 谢勇. 基于GIS的安徽省土壤有机碳密度的空间分布特征[J]. 地理科学, 2009, 29(4): 540-544.
- [16] 杜卫. 中国森林生物量时空变化及其对气候变化响应[D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
- [17] 汤萃文, 陈银萍, 陶玲, 等. 森林生物量和净生长量测算方法综述[J]. 干旱区研究, 2010, 27(6): 939-946.
- [18] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [19] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [EB/OL]. [2022-03-09]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/index.html>.
- [20] 林凡, 李典友, 潘根兴, 等. 皖江自然湿地土壤碳密度及其开垦为农田后的变化[J]. 湿地科学, 2008, 6(2): 192-197.
- [21] 许雯. 江淮丘陵区马尾松林碳密度和碳储量研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [22] 魏文俊, 王兵, 白秀兰. 杉木人工林碳密度特征与分配规律研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(1): 73-80.
- [23] 胡青, 汪思龙, 陈龙池, 等. 湖北省主要森林类型生态系统生物量与碳密度比较[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1626-1632.
- [24] 戴巍. 浙江省森林生态系统碳密度及储量空间变异特征研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018.
- [25] 霍邱县林业发展中心. 霍邱县林业局2017年度脱贫攻坚工作计划[EB/OL]. (2017-04-06)[2023-8-29]. <https://www.huoqiu.gov.cn/public/6600501/13303421.html>.
- [26] 安徽日报. 安徽: 保护修复湿地生态 建设绿色江淮美好家园[EB/OL]. (2017-11-07)[2023-8-29]. http://www.xinhuanet.com/politics/2017-11/07/c_1121917103.htm.

(责编&校对 刘钊)