

# 基于 InVEST 模型的巍山县碳储量及空间格局研究

陈克伟<sup>1</sup> 王德红<sup>2</sup>

1 昆明市规划设计研究院有限公司 2 绥江县自然资源局

DOI:10.12238/eep.v7i3.2000

**[摘要]** 基于巍山县第三次全国国土调查数据和云南省碳密度数据,利用InVEST模型得到巍山县地上生物碳、地下生物碳、土壤碳和死亡有机碳的含量,通过ArcGIS得到巍山县不同土地利用类型、碳储量及碳密度空间分布。经分析得到:巍山县碳密度低值区主要分布于坝区范围内,其次分布于巍山县西部和南部的水域用地范围内;高值区广泛分布于巍山县的林地用地范围内;中值区主要分布于巍山县草地和耕地地区。

**[关键词]** 土地利用; 碳密度; InVEST模型; ArcGIS

**中图分类号:** O571.21+1 **文献标识码:** A

## Research on Carbon Storage and Spatial Pattern of Weishan County Based on InVEST Model

Kewei Chen<sup>1</sup> Dehong Wang<sup>2</sup>

1 Kunming Planning and Design Institute Co., LTD 2 Suijiang County Natural Resources Bureau

**[Abstract]** Based on the third national land survey data of Weishan County and carbon density data of Yunnan Province, the InVEST model was used to obtain the content of aboveground biochar, underground biochar, soil carbon, and dead organic carbon in Weishan County. ArcGIS was used to obtain the spatial distribution of different land use types, carbon storage, and carbon density in Weishan County. After analysis, it was found that the low carbon density areas in Weishan County are mainly distributed within the dam area, followed by the water area land in the western and southern parts of Weishan County; High value areas are widely distributed within the forest land range of Weishan County; The median area is mainly distributed in grassland and farmland areas of Weishan County.

**[Key words]** land use; Carbon density; InVEST model; ArcGIS

陆地生态系统的碳储量在全球碳循环和气候变化中起着关键作用,对于降低大气中CO<sub>2</sub>等温室气体浓度、调节区域小气候、减缓全球气候变化以及维持生态平衡具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。土地覆被,特别是植被分布的变化能够直接影响生态系统的碳储量<sup>[3]</sup>,进而改变地球表层的能量收支和物质循环<sup>[4]</sup>。近年来,我国建设用地扩张对林地、耕地的挤占日趋严重,导致大量碳密度较高的林地、草地转化为碳密度较低的建设用地,使得陆地生态系统碳储量减少。评估生态系统碳储量及其影响因素是生态系统服务评估的重点关注方向之一<sup>[5]</sup>。2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和已成为我国重要的长期战略目标,加强陆地生态系统碳储量研究对于维持全球碳排放和碳吸收平衡方面具有重要影响<sup>[6]</sup>。要实现上述目标,需要全国各县市区的共同努力才能完成,因此对于某一县区碳储量及空间格局分布研究显得尤为重要。目前在研究土地利用覆盖变化对碳储量影响中采用的方法主要是模型模拟法,其中InVEST(integrated valuation of ecosystem services and trade-offs)模型以其成本低、评

估精度高、参数获取灵活和生态系统服务功能评估结果的可视化表达等特点被广泛使用<sup>[7-8]</sup>。

本文将巍山县第三次全国国土调查数据合并为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6个一级类,作为土地利用基础数据,利用InVEST模型分别计算不同地类碳储量,并使用ArcGIS展示其空间分布特征,以期可以为相关部门有效调整优化土地利用结构和生态保护工程的实施方向提供一定的参考,同时为改善区域生态环境提供决策依据。

### 1 研究区概况

巍山彝族回族自治县位于云南省西部,大理白族自治州南部。地处东经99° 55′~100° 25′、北纬24° 56′~25° 32′之间,东西跨经30′,南北跨纬36′。县境东与弥渡毗邻,南面与南涧、凤庆县相邻,西面与漾濞、昌宁县以漾濞江为界,北与大理市相连。地势由西北向东南倾斜和降低,西部为高山峡谷,东部为高山,中间为巍山盆地。境内漾濞江为澜沧江的主要支流,流经县境西部的江段称为黑惠江,巍山县城在南诏镇辖区内,是全县

政治、经济、文化中心,也是大理州乃至云南省重要的旅游景点之一。

## 2 数据来源于研究方法

### 2.1 数据来源及处理

土地利用数据来源于2019年巍山县第三次全国国土调查,将第三次全国国土调查的56个二级类合并为6个一级类,6个一级类分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地。

云南省碳密度参照帕如克·吾斯曼江等<sup>[9]</sup>关于云南省不同土地利用类型碳密度值的研究结果。

### 2.2 研究方法及数据处理

2.2.1 碳储量计算。InVEST(The Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Tool)模型是由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发、免费开源、可用以量化多种生态系统服务的评估工具<sup>[10]</sup>。InVEST模型中的Carbon模块就是使用土地利用覆盖数据及4个碳库来估算在当前景观或一个时间段内的碳储量。InVEST碳库中4个碳库包括:地上生物碳、地下生物碳、土壤碳和死亡有机碳。碳储量计算公式为:

$$C_{totali} = \sum_{j=1}^n A_{ij} \times (C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{dj})$$

式中,  $C_{totali}$  为区域i的总碳储量(t);  $A_{ij}$  分别为区域i土地利用类型j的面积( $hm^2$ );  $C_{aj}$ 、 $C_{bj}$ 、 $C_{sj}$  和  $C_{dj}$  分别为土地利用类型j的地上生物碳密度、地下生物碳密度、土壤碳密度和死亡有机碳密度( $t/hm^2$ ); n为土地利用类型数量。

2.2.2 数据处理。将巍山县6个一级类土地利用数据栅格化为 $100m \times 100m$ 的栅格数据,利用InVEST模型将土地利用覆盖数据及云南省碳密度库,见表1,得出地上碳储量、地下碳储量、土壤碳储量、死亡有机碳储量和总碳储量栅格数据,利用ArcGIS中的以表格显示分区统计功能,把各土地利用类型碳储量分别进行统计,并进行展示。

表1 云南省不同土地利用类型碳密度值

单位: $t/hm^2$				
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	16.83	11.12	75.89	2.11
林地	30.76	18.40	100.24	2.78
草地	14.59	17.50	87.13	2.42
水域	1.62	0	64.09	1.78
建设用地	7.77	1.55	34.36	0
未利用地	10.57	2.11	34.45	0.96

## 3 结果与分析

### 3.1 巍山县土地利用类型及分析

由表2及图1可知,林地面积最大,为 $1420.84km^2$ ,约占巍山县总面积的65.13%,其中在无印乡分布最多,马鞍山乡、青华乡分布较多,南诏镇最少。其次耕地面积为 $594.10km^2$ ,约占巍山县总面积的27.23%,在五印乡、马鞍山乡分布较广。建设用地面积

为 $99.28km^2$ ,约占巍山县总面积的4.55%,在坝区范围内的大仓镇、庙街镇、紫金乡、马鞍山乡等乡镇分布较广。水域、草地面积分别为 $30.69km^2$ 、 $33.89km^2$ ,总体占比仅为2.96%,未利用地主要分布于青华乡、牛街乡、五印乡,总面积为 $2.62km^2$ ,约占巍山县总面积的0.12%。

表2 巍山县土地利用类型面积及占比

类型	面积/ $km^2$	占比/%
耕地	594.10	27.23
林地	1420.84	65.13
草地	30.69	1.41
水域	33.89	1.55
建设用地	99.28	4.55
未利用地	2.62	0.12

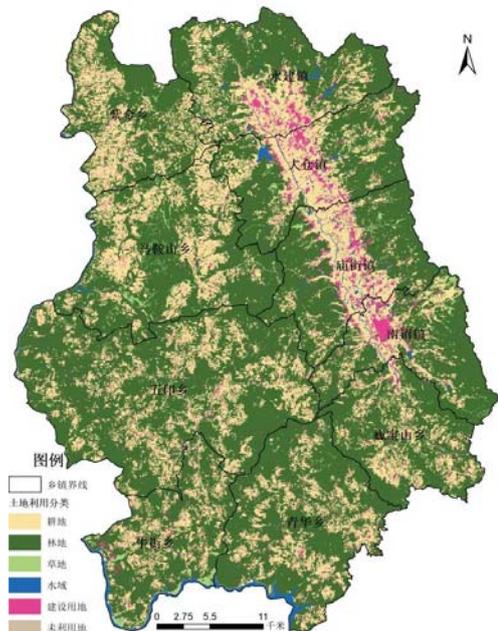


图1 土地利用类型分布图

### 3.2 巍山县生态系统固碳能力分析

3.2.1 碳储量和碳密度分析。经过对不同土地利用类型碳储量和碳密度对比分析,可以得出,巍山县2019年总碳储量为 $2626.48 \times 10^4 t$ ,其中地上碳储量为 $496.76 \times 10^4 t$ ,地下碳储量为 $302.85 \times 10^4 t$ ,土壤碳储量为 $1778.31 \times 10^4 t$ ,死亡有机碳储量为 $48.56 \times 10^4 t$ 。说明巍山县生态系统具有较好的碳吸收能力。

由表3巍山县各土地利用类型碳储量及碳密度可以看出,林地碳密度最高,为 $135.46t/hm^2$ ;草地和耕地的碳密度值中等,分别为 $122.48t/hm^2$ 和 $101.65t/hm^2$ ;水域、建设用地、未利用地较低,分别为 $66.94t/hm^2$ 、 $36.60t/hm^2$ 、 $49.27t/hm^2$ 。林地的碳储量最大,达到 $1924.71 \times 10^4 t$ ,占总碳储量的73.28%。可见在巍山县生态系统中,林地碳储量在各种土地利用中占比最大,在生态系统碳储量蓄积中具有重要地位。其次耕地碳储量为 $603.87 \times 10^4 t$ ,占巍山县总碳储量的22.99%,因此在生态系统固碳中也起着重要作用。

表3 巍山县土地利用类型碳储量和碳密度

类型	地上 /10 <sup>4</sup> t	地下 /10 <sup>4</sup> t	土壤 /10 <sup>4</sup> t	死亡有机 物/10 <sup>4</sup> t	总碳储量 /10 <sup>4</sup> t	碳密度 /(t/hm <sup>2</sup> )
耕地	95.92	63.38	432.54	12.03	603.87	101.65
林地	389.04	232.72	1267.80	35.16	1924.71	135.46
草地	4.51	5.41	26.92	0.75	37.59	122.48
水域	0.54	0.00	21.54	0.60	22.68	66.94
建设用地	6.46	1.29	28.58	0.00	36.33	36.60
未利用地	0.28	0.06	0.92	0.03	1.29	49.27

3.2.2 碳储量和碳密度空间变化分析。从图2碳密度分级示意图可以发现,巍山县碳密度低值区( $\leq 100\text{t}/\text{hm}^2$ )主要分布在巍山县坝区范围内,该地区城镇化程度高,因此建设用地集中分布,地上生物量小,碳汇能力较弱,因此导致该地区碳密度值低;其次西部和南部的漾濞江和黑惠江区域以及其他零星分布的未利用地、建设用地范围内,这部分土层较薄,固碳能力较弱,因此碳密度较低。

高值区( $>150\text{t}/\text{hm}^2$ )分别较广,主要分布于林地资源丰富、森林覆盖率高、生物量大的地区,这些地区也是巍山县最为活跃的生态系统,因此为碳密度高值区。

中值区( $100\text{--}150\text{t}/\text{hm}^2$ )主要分布于巍山县耕地和草地地区。巍山县耕地面积大分布广,且生物量大,植物光合作用能力强,生态系统较为活跃,该生态系统固碳能力较强,因此碳密度中等偏高。

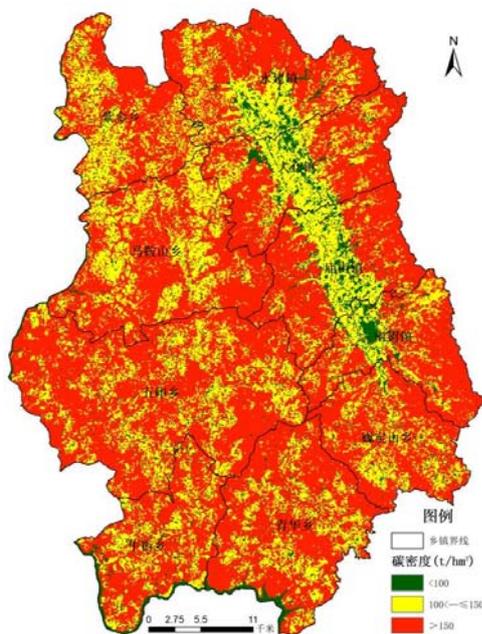


图2 碳密度分级图

#### 4 结论

本研究基于2019年第三次全国国土调查数据和云南省不同土地利用类型碳密度值数据,利用InVEST模型计算得到巍山县不同土地利用类型的碳储量,并利用ArcGIS软件对碳密度空间分布进行统计、分析、展示,从而对巍山县生态系统固碳能力进

行评估,得出如下结论。

(1)巍山县土地利用以林地为主;其次为耕地;草地、水域、建设用地、未利用地较小。(2)巍山县林地碳密度最高,高达 $135.46\text{t}/\text{hm}^2$ ,碳储量为 $1924.71\text{t}$ ,占总碳储量的 $73.28\%$ ,可见林地在巍山县生态系统碳储量中占有绝对优势,是生态系统中碳储量蓄积的主力。(3)巍山县碳密度低值区主要分布于坝区范围内及西部和南部的水域用地范围内;高值区广泛分布于巍山县的林地用地范围内;中值区主要分布于巍山县草地和耕地地区。

#### [参考文献]

- [1]Piao S L,Fang J Y,Ciais P,et al.The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J].Nature,2009,458(7241):1009.
- [2]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.
- [3]PONG R ATZ J,R EICK C,R ADDATZ T,et al.A R econstruction of Global Agricultural Areas and Land Cover for the Last Millennium[J].Global Biogeochemical Cycles,2008,22(3):2007gb003153.DOI:10.1029/2007gb003153.
- [4]PONG R ATZ J,R EICK C,R ADDATZ T,et al.A R econstruction of Global Agricultural Areas and Land Cover for the Last Millennium[J].Global Biogeochemical Cycles,2008,22(3):2007.
- [5]雷军成,刘纪新,雍凡,等.基于CLUE-S和InVEST模型的五马河流域生态系统服务多情景评估[J].生态与农村环境学报,2017,33(12):1084—1093.
- [6]杨元合.中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献[J].中国科学:生命科学,2022,52(4):534—574.
- [7]Zhao M M,He Z B,Du J,et al. Assessing the effects of ecological engineering on carbon storage by linking the CA-Markov and InVEST models[J].Ecological Indicators,2019,98:29—38.
- [8]He C Y,Zhang D,Huang Q X,et al. Assessing the potential impacts of urban expansion on regional carbon storage by linking the LUSD-urban and InVEST models[J].Environmental Modelling & Software,2016,75,44—58.
- [9]帕茹克·吾斯曼江.基于InVEST与CA-Markov模型的昆明市碳储量时空演变与预测[J].环境科学:2024.1(45)287—299.
- [10]POLASKY S,NELSON E,PENNINGTON D,et al.The impact of land use change on ecosystem services,biodiversity and returns to landowners:A case study in the State of Minnesota[J].Environmental and resource economics,2011,48(2):219—242.

#### 作者简介:

陈克伟(1982--),男,汉族,河北定州市人,硕士研究生,研究方向:测绘和地理信息技术研究。

#### 通讯作者:

王德红(1987--),男,汉族,云南彝良县人,本科,工程师,研究方向:测绘地理信息技术。