

基于 FLUS-InVEST 模型的北盘江流域碳储量变化及其对石漠化治理的响应

郑佩玺 胡俐君 张琴秀
贵州师范学院地理与资源学院
DOI:10.12238/eeep.v8i4.2639

[摘要] 科学评估石漠化治理下碳储量演变,对完善喀斯特区生态评估及推进“双碳”战略意义重大。本研究以中国西南喀斯特地区的北盘江流域为研究对象,分析了2010–2020年间石漠化和碳储量的时空变化与石漠化治理工程对区域碳储量变化的影响,并预测了北盘江流域2025年和2030年的碳储量变化趋势。结果表明:(1)北盘江流域的碳储量呈现先下降后上升的趋势。林地是流域生态系统中占比最大的碳库。(2)流域的石漠化面积总体呈现下降趋势。潜在石漠化和石漠化地区的面积分别由2010年的5361.28km²、3155.8km²减少至2020年的3142.12km²、1959.89km²。(3)石漠化治理措施改善了区域生态环境。潜在石漠化和石漠化地区的碳储量分别下降了 2.35×10^7 t和 1.39×10^7 t。(4)2025年和2030年北盘江流域的碳储量分别预计为 36.87×10^7 t和 37.13×10^7 t。

[关键词] FLUS模型; InVEST模型; 北盘江流域; 碳储量; 石漠化治理
中图分类号: TV212.3 **文献标识码:** A

Change of carbon storage and its response to rocky desertification control in Beipan River Basin Based on flus invest model

Peixi Zheng Lijun Hu Qinxu Zhang

College of Geography and Resources, Guizhou Education University

[Abstract] Scientific assessment of carbon storage evolution under rocky desertification control is of great significance to improve the ecological assessment of karst areas and promote the "two carbon" strategy. Taking the Beipan River Basin in the karst region of Southwest China as the research object, this study analyzed the spatio-temporal changes of rocky desertification and carbon storage from 2010 to 2020 and the impact of rocky desertification control projects on regional carbon storage changes, and predicted the carbon storage change trend of Beipan River Basin in 2025 and 2030. The results showed that: (1) the carbon storage in Beipan River Basin showed a trend of first decreasing and then increasing. Forest land is the largest carbon pool in the watershed ecosystem. (2) The area of rocky desertification in the basin generally shows a downward trend. The area of potential rocky desertification and rocky desertification areas decreased from 5361.28 km² and 3155.8 km² in 2010 to 3142.12 km² and 1959.89 km² in 2020, respectively. (3) Rocky desertification control measures have improved the regional ecological environment. The carbon storage of potential rocky desertification and rocky desertification areas decreased by 2.35×10^7 T and 1.39×10^7 T, respectively. (4) the carbon storage of Beipan River Basin is expected to be 36.87×10^7 T and 37.13×10^7 t in 2025 and 2030, respectively.

[Key words] FLUS model; InVEST model; Beipan River Basin; Carbon storage; rocky desertification control

引言

全球气候变暖已成为21世纪人类面临的最严峻挑战之一,而CO₂等温室气体浓度的持续升高是导致气候变化的主要原因^[1]。北盘江流域是贵州石漠化最典型的流域之一,2005年以来

流域实施了石漠化治理专项工程、退耕还林等一系列生态修复工程,作为典型的喀斯特流域,它的生态系统中的碳储量变化对区域碳汇功能及石漠化治理成效具有很强的科学研究意义^[2]。FLUS-InVEST模型的引入,为我们提供了一种全新的视角

Ecological Environment and Protection

和研究手段^[3-4]。本研究将运用FLUS模型,对北盘江流域未来土地利用的变迁趋势进行模拟与预测。同时,借助InVEST模型,从而进一步剖析石漠化治理举措在影响碳储量变动方面的具体作用与成效^[5-6]。研究结果将为北盘江流域生态系统碳汇功能提升、石漠化综合治理以及区域可持续发展提供科学依据和决策支持。

1 研究区概况

北盘江属于珠江流域西江水系的一级支流,流域(24° 50′ ~26° 49′ N, 103° 45′ ~106° 20′ E),面积26626km²,其中,贵州省内流域面积最大,占比约78%。流域地处云贵高原向广西丘陵过渡地带,地质构造以喀斯特地貌为主导。植被以喀斯特适应性灌木和次生林为主,原生常绿阔叶林零星分布,常见云南松、柏木及火棘等石生植物,流域因其石漠化程度高,生态系统脆弱,成为贵州最典型石漠化流域之一^[1]。

2 数据来源与方法

本研究的LUCC数据来自武汉大学杨杰教授和黄昕教授团队发布的全国土地覆盖数据集。并运用以下方法进行分析:

(1)InVEST模型:InVEST模型旨在综合评估生态系统服务和权衡关系,帮助决策者理解和量化生态系统对人类福祉的贡献,并已成为全球范围内广泛应用的重要工具之一。

表1 北盘江流域碳密度表(单位:(t/hm²))

LULC_name	C_above	C_below	C_dead	C_soil
耕地	0	0	0	104.2
林地	50.61	12.13	0	112.06
灌木	15.01	9.41	0	89.93
草地	0.95	9	0	119.61
水体	0	0	0	0
建设用地	0	0	0	0
未利用地	0	0	0	0

(2)FLUS模型:模型能够在多种情景下预测土地利用类别,将自然和社会影响因素按比例量化,其主要由三部分组成。其中领域权重因子设置如下:

表2 领域权重因子

土地利用类型	耕地	林地	草地	灌木	水体	建设用地	未利用地
领域权重	0.3	0.9	0.5	0.9	0.8	1	0.8

(3)石漠化提取与分级:在喀斯特地区,石灰岩大量分布,植被稀疏不足以锁住土壤时,流水的冲刷会导致水土流失和岩石裸露,从而造成石漠化的扩张。因此本研究的石漠化提取由基岩裸露率(FR)、土壤裸露率(NDSI)、植被覆盖度(FVC)三个指标构成,通过对比实际的2020年土地利用数据和模拟得到的2020年数据,得到kappa系数为0.83,大于0.75,模拟精度较高,模型适用性较强。

3 结果与分析

3.1 北盘江流域碳储量时空变化

截止2020年,北盘江流域的土地利用类型以林地为主,占流域总面积为49%,其次为耕地,占流域总面积为40%,其他各土地

利用类型面积占比均小于5%。在2010年至2020年间,林地面积增加最多,共增加了796.94km²,林地的扩张主要来源于耕地、草地和灌木的转换,其中耕地向林地的转出面积最大,草地和灌木也有部分面积转入林地。耕地面积虽然仍占据较大比例,但净变化量相对较小,仅增加29.94km²^[1]。

表3 北盘江流域2010年-2020年土地利用转移矩阵(单位:km²)

土地利用类型		2010 年							
		耕地	林地	灌木	草地	水体	建设用地	未利用地	总计
2020 年	耕地	8891.88	873.98	348.51	530.14	2.75	0.06	0.00	10647.32
	林地	1194.90	11258.84	363.09	326.09	0.30	0.00	0.00	13143.21
	灌木	206.96	180.09	1038.62	95.81	0.00	0.00	0.00	1521.49
	草地	259.79	32.32	40.48	731.31	1.48	0.00	0.00	1065.37
	水体	18.75	0.29	0.04	3.55	83.72	0.65	0.00	107.00
	建设用地	44.96	0.76	0.05	5.30	0.10	90.22	0.00	141.39
	未利用地	0.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.18
	总计	10617.37	12346.28	1790.79	1692.23	88.33	90.93	0.01	26625.95

利用InVEST模型对2010-2020年间北盘江流域碳储量进行评估,北盘江流域在2010年、2015年、2020年的碳储量分别达到36.88×10⁷t、36.65×10⁷t、37.18×10⁷t。林地为北盘江流域最大的碳源,所对应碳储量为22.97×10⁷t,其次为耕地、灌木、草地,所对应碳储量分别为11.09×10⁷t、1.74×10⁷t、1.38×10⁷t。

为方便研究,将碳储量分成三个等级:低碳储量、中碳储量、高碳储量。北盘江流域以中碳储量地区为主,占流域总面积的49.7%,其次为高碳储量地区,占流域总面积的49.3%。其中中碳储量地区向高碳储量地区转移量最大,达1975.31km²,而高碳储量地区向中碳储量地区转移了1169.25km²,低碳储量地区变化相对较小,仅6.57km²转入中碳储量地区。

时间上,2010-2020年,北盘江流域的碳储量呈先下降再增长的趋势,2010年-2015年因耕地的扩张,导致林地、灌木、草地等土地利用类型均有不同程度的降低,碳储量减少了0.23×10⁷t,2015年-2020年因退耕还林等政策的影响,林地面积出现一定程度的增加,耕地、灌木、草地等土地利用类型占比降低,碳储量增加了0.53×10⁷t。

空间上,北盘江流域的碳储量集中在上游与下游地区,中游地区碳储量较少,总体呈现出破碎分布的特征。从县域分布上看,2020年碳储量占比最大的区县为上游的宣威市,达到6.6×10⁷t,其次为盘州市与水城区,碳储量分别达到3.86×10⁷t与3.67×10⁷t;在下游地区,镇宁县、望谟县、兴仁县、贞丰县等仅次于上游的宣威市、盘州市、水城区,碳储量分别达到了2.37×10⁷t、2.27×10⁷t、2.07×10⁷t、1.97×10⁷t;位于中游地区的晴隆县、六枝特区、普安县等碳储量均低于上下游富集地区,分别达到1.72×10⁷t、1.56×10⁷t、1.11×10⁷t。

3.2 北盘江流域石漠化时空变化

由图2可知,非喀斯特区域面积最大,达10471.39km²,占流域总面积的49.7%,无石漠化地区减少,有54.11km²转向潜在石漠化地区。潜在石漠化地区减少最多,其中1455.77km²转向轻度

石漠化地区,轻度石漠化地区变化较小,仅减少3.34km²。中度石漠化地区向轻度石漠化地区转移79.68km²,重度石漠化地区大幅减少,主要向轻度石漠化地区和中度石漠化地区转移。

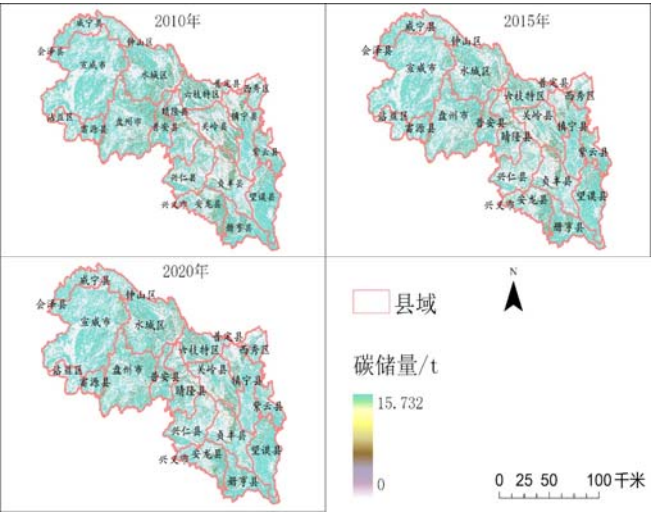


图1 北盘江流域2010年-2020年碳储量分布图

表4 北盘江流域2010年-2020年石漠化面积(单位: km²)

年份 等级	2010 年	2015 年	2020 年
无石漠化	7771.96	9805.26	10896.88
潜在石漠化	5361.28	3463.29	3142.12
轻度石漠化	1987.8	2019.89	1309.86
中度石漠化	807.34	531.41	545.18
重度石漠化	226.18	217.07	104.85

2010年-2020年间,无石漠化地区是北盘江流域石漠化地区中面积最大的地区,受到生态保护和石漠化治理等政策的影响,其面积由2010年的7771.96km²增长到2020年的10896.88km²。相应的,石漠化地区的面积也在逐年减少,由2010年的8382.6km²减少到2020年的5102.01km²,显示出石漠化治理的成效得到进展,且石漠化地区主要集中在北盘江中游地区。

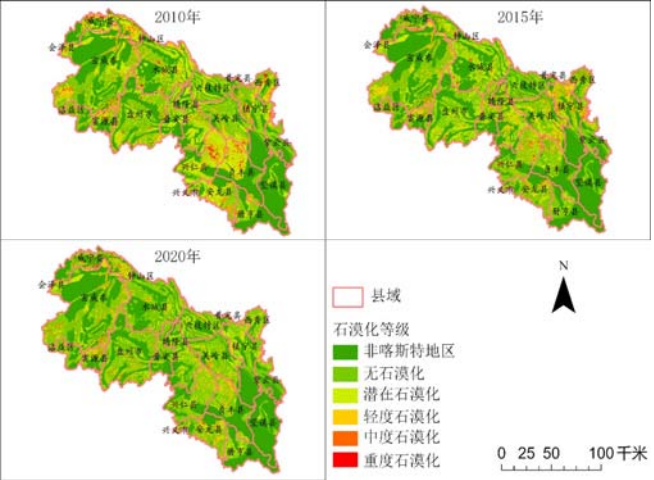


图2 北盘江流域2010年-2020年石漠化分布图

3.3 石漠化治理工程对北盘江流域碳储量变化的影响

时间上,无石漠化地区的碳储量由2010年的14.84×10⁷t增长到了2020年的15.23×10⁷t,潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化地区的碳储量也出现不同程度的下降,分别由6.6×10⁷t、2.66×10⁷t、1.18×10⁷t降低到了4.25×10⁷t、1.73×10⁷t、0.72×10⁷t,与这些地区的面积变化趋势一致。重度石漠化地区的碳储量在2015年出现上升,在2020年又降低到与2010年相同水平。

因为北盘江流域石漠化面积逐年减少,植被覆盖程度和土壤保持等进一步上升,生态环境变好,北盘江流域石漠化等级减弱地区的碳增加量达到了1.29×10⁷t,碳储量贡献度为21.68%,展现出北盘江流域的植被恢复与生长持续进行,固碳能力不断提升。而因为北盘江流域石漠化治理工程的推进,石漠化地区面积减少,导致石漠化加剧地区的碳增加量为0.16×10⁷t,碳储量贡献度为2.69%,从侧面展现石漠化地区的生态环境正在向好转变,石漠化程度较高地区的石漠化水平降低。

表5 北盘江流域2010年-2020年石漠化等级变化对应碳储量增加量(单位: 10⁷t)

变化	石漠化减弱	石漠化稳定	石漠化加剧
碳增加量	1.29	4.5	0.16

3.4 北盘江流域2025-2030年碳储量变化趋势

由图3可知,2025年和2030年的碳储量分别为36.87×10⁷t和37.13×10⁷t。其中林地仍为北盘江流域生态系统中占比最大的碳库,其次分别为耕地、灌木和草地。相比于2020年,2025年的碳储量减少了0.31×10⁷t,主要由耕地扩张导致林地面积占比减少导致。2030年碳储量则因林地占比扩大,耕地、灌木、草地的面积减少,因此碳储量又进一步增加至37.13×10⁷t,对比2025年增加了0.26×10⁷t。

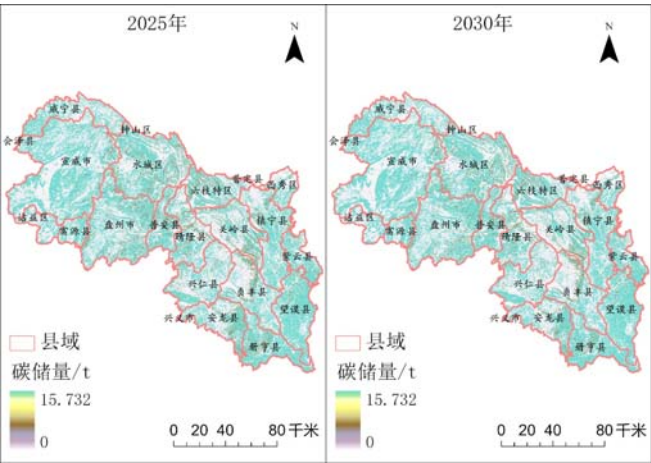


图3 北盘江流域2025年-2030年碳储量预测图

从县域分布上看,2030年碳储量占比最大的区县为上游的宣威市,达到6.55×10⁷t,其次为盘州市与水城区,碳储量分别达到3.86×10⁷t与3.68×10⁷t;在下游地区,镇宁县、望谟县、兴

仁县、贞丰县等仅次于上游的宣威市、盘州市、水城区,碳储量分别达到了 $2.37\times 10^7\text{t}$ 、 $2.31\times 10^7\text{t}$ 、 $2.05\times 10^7\text{t}$ 、 $1.95\times 10^7\text{t}$;位于中游地区的晴隆县、六枝特区、普安县等碳储量均低于上下游富集地区,分别达到 $1.71\times 10^7\text{t}$ 、 $1.56\times 10^7\text{t}$ 、 $1.12\times 10^7\text{t}$ 。

4 结论

(1)2020年北盘江流域碳储量达到 $37.18\times 10^7\text{t}$,林地为 $22.97\times 10^7\text{t}$,占比达到62%,是占比最大的地类。从土地利用类型的变化对碳储量的影响来看,草地、灌木的面积减少分别导致了 $0.81\times 10^7\text{t}$ 和 $0.31\times 10^7\text{t}$ 的碳储量损失,林地、耕地的面积增加分别导致了 $1.39\times 10^7\text{t}$ 和 $0.03\times 10^7\text{t}$ 的碳储量增加,草地和灌木转变为林地和耕地是北盘江流域碳储量增加的关键因素。

(2)2020年北盘江流域石漠化面积为 5102.01km^2 ,面积占比为19%。潜在石漠化和石漠化地区的面积也在减少,分别由2010年的 5361.28km^2 和 3155.8km^2 减少到2020年的 3142.12km^2 和 1959.89km^2 。

(3)2010–2020年间,石漠化等级减弱地区的碳增加量达到了 $1.29\times 10^7\text{t}$,石漠化加剧地区的碳增加量为 $0.16\times 10^7\text{t}$,石漠化治理工程增加了北盘江流域的碳储量。碳储量增加的地区为无石漠化地区,碳储量减少最多的地区依次为潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化地区。

(4)预测2025年和2030年的碳储量分别为 $36.87\times 10^7\text{t}$ 和 $37.13\times 10^7\text{t}$ 。其中林地仍为北盘江流域生态系统中占比最大的碳库,其次分别为耕地、灌木和草地,各区县碳储量与2020年相差较小。

[基金项目]

2024贵州师范学院大学生创新创业训练计划项目(国家级)“基于FLUS–InVEST模型的北盘江流域碳储量变化及其对石漠化治理的响应”(S2024142230459)。

[参考文献]

[1]王世杰.喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题[J].矿物岩石地球化学通报,2003,(02):120–126.

[2]SiskaPP,GoovaertsP,HungIK.Evaluatingsusceptibilityof karst dolines (sinkholes)for collapse in Sango,Tennessee, USA [J].Progress in physical geography,2016,40(4):579–597.

[3]刘晓娟,黎夏,梁迅,等.基于FLUS–InVEST模型的中国未来土地利用变化及其对碳储量影响的模拟[J].热带地理,2019,39(03):397–409.

[4]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(02):85–96.

[5]唐志明,刘炳响,屈宇.河北太行山区典型水土保持林乔木层生物量及碳储量研究[J].林业资源管理,2020,(01):102–107+135.

[6]李茂娟,李天奇,朱文博,等.基于InVEST模型的太行山区生态系统碳储量多维变化研究[J].河南大学学报(自然科学版),2021,51(06):631–642+684.

作者简介:

郑佩玺(2002–),男,布依族,贵州黔南人,本科,从事石漠化治理与可持续发展研究。