

基于碳达峰碳中和的贵州省土地利用 碳排放演变及预测研究

魏媛¹ 简小玉²¹

(1. 贵州财经大学 管理科学与工程学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州财经大学 公共管理学院, 贵州 贵阳 550025)

【摘要】：基于碳达峰、碳中和研究背景，结合贵州省 2005—2019 年土地利用面板数据，运用多学科交叉的研究方法，探究并预测土地利用碳排放演变规律，结果表明：(1) 2005—2019 年，研究区净碳排放量呈波动增长的趋势，碳源主要来自建设用地，碳汇则来自林地和耕地。(2) 由灰色关联度可知，各类土地对净碳排放的影响依次为耕地>未利用地>林地>园地>建设用地>牧草地>水域。(3) 根据预测结果，2020—2030 年土地利用碳排放呈线性增长趋势，且净碳排放实际值和预测值的一致性受人类活动的影响。(4) 贵州省减排降碳关键在于优化土地利用结构，严格控制土地农转非。研究区应抓住 2030 年前实现碳达峰的发展关键期，促进经济的快速增长，同时进一步发挥土地利用碳汇的固碳减排作用，通过优化国土空间规划减少碳源的排放量，探索 2060 年前实现碳中和的路径。

【关键词】：土地利用 碳达峰 碳中和 碳排放 灰色理论 贵州省

【中图分类号】：F301.2; F062.2 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1671-4407(2022)04-108-07

在全球气候变暖等生态问题突出的背景下，为实现低碳可持续发展，我国提出了 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的阶段目标。不同学科背景下的学者们基于本学科视角开展了相关研究。曲建升等^[1]基于 IPAT 和情景分析法预测不同情景下中国整体、城镇、农村居民生活碳排放增长路径，探究中国居民生活碳排放达峰时间及达峰数值；褚力其等^[2]运用 GDIM 模型分析中国 1985—2017 年农业碳排放驱动因素，并根据因素贡献差异设置动态政策情景，对 2018—2030 年全国农业碳排放量开展模拟和预测研究；庄贵阳和窦晓铭^[3]通过解读新发展格局与 2030 年前碳排放达峰逻辑关系，分析碳达峰的政策内涵与实现路径，探究基于碳达峰背景下可再生能源的发展前景；杨长进等^[4]探讨了实现碳达峰、碳中和的价税机制进路；胡鞍钢^[5]就中国提出的 2030 年实现碳达峰的核心目标进行了探讨，并较为全面地从 20 个方面提出实现碳达峰的主要途径和政策建议；平新乔等^[6]分析不同行业和省份碳排放分布状况和碳排放强度，并探讨“十四五”期间碳排放强度减排降碳的重难点。习近平总书记也在中央财经委员会第九次会议再次提出 2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和，将碳达峰和碳中和纳入“十四五”规划中，纳入生态文明建设整体布局中。

土地作为第二大碳排放源，对实现碳达峰和碳中和目标有着重要的作用。当前，土地利用碳排放的研究较为丰富。20 世纪 80 年代，国外学者 Houghton^[7]、Houghton & Hackler^[8]研究了土地利用变化对二氧化碳排放量的影响研究；21 世纪以来，我国

作者简介：魏媛，博士，教授，研究方向为土地资源可持续利用与生态经济。E-mail:weiyuan09876@163.com

基金项目：2021 年贵州财经大学校级科研基金重点项目“贵州省农业碳达峰、碳中和路径及对策研究”(2021KYZD07)；贵州省研究生科研基金“喀斯特山区贵阳市土地利用碳排放压力、减排潜力和低碳优化策略研究”(黔教合 YJSCXJH[2020]129)

的主要研究有：葛全胜等^[9]对我国过去 300 多年土地利用类型和植被引起的碳排放量开展研究；冯杰和王涛^[10]基于数学计量方法和 STIRPAT 模型，探讨中国 1989—2013 年土地利用碳排放演变与影响因素；杨绪红等^[11]选择簿记模型基本原型作为核心算法，构建一套包含土地开垦和退耕、森林收获和恢复 4 种情景在内的土地利用碳排放核算系统；彭文甫等^[12]通过构建碳排放模型、碳足迹及其压力指数模型，对四川省 1990—2010 年土地利用的碳排放及碳足迹进行了定量分析；杨坤等^[13]利用 ERDAS 和 ArcGIS 软件的空间分析功能，对拉萨市土地利用现状开展分析，并用马尔科夫模型预测 2020 年、2030 年、2040 年的土地利用变化。

综上，以往学者对碳达峰和碳中和的研究主要集中在能源、农业、农村居民生活及碳达峰、碳中和的实现机制和意义上，土地利用碳排放主要侧重于影响因素、测算方法及演变规律的研究，基于碳达峰、碳中和背景下土地利用碳排放的研究较少。基于此，本研究以典型的喀斯特山区贵州省为研究对象，在对 2005—2019 年贵州省土地利用变化分析的基础上，测算土地利用碳排放，预测 2020—2030 年土地利用碳排放的趋势，为贵州省“十四五”土地利用规划中优化土地利用结构、转变土地利用方式、实现土地利用减排降碳以及碳达峰、碳中和目标的实现提供一定的参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

贵州省地处中国西南部(103° 36′~109° 35′E、24° 37′~29° 13′N)，是国家生态文明和内陆开放型经济试验区。贵州省下辖 9 个地州市，土地总面积为 17.61 万平方千米，占全国的 1.84%，全省岩溶出露面积占全省国土总面积的 61.92%，是典型的喀斯特山区，且石漠化严重。截至 2020 年底，贵州省森林覆盖率达到 60%，全省常住总人口 3623 万人，常住人口城镇化率从 2005 年的 26.87% 上升到 2020 年的 50%。伴随着工业化、城镇化速度的加快，经济高速发展，对土地资源开发程度的加大，土地利用类型都趋向于碳源的转变。要促进土地低碳可持续利用，需在土地利用及规划中最大限度地发挥碳汇的固碳作用，实现碳捕获、碳利用与碳储存。因此，研究贵州省碳达峰、碳中和背景下土地利用碳排放的变化规律具有一定的意义。

1.2 数据来源

2005—2017 年《贵州省国土资源公报》、2018—2019 年《贵州省自然资源公报》以及历年《贵州统计年鉴》，统计年鉴上的数据不一致时，以最新的为准。2019 年度土地变更调查与第三次全国土地调查同步开展，目前暂未公布，故 2019 年土地利用变更数据采用 2018 年土地利用现状数据。

2 研究方法

2.1 土地利用类型变化分析

土地利用多样化指数是反映土地利用类型总体结构的重要指标，一般采用吉布斯-马丁多样化指数计算。

$$G=1-\sum_{i=1}^n X_i^2 / \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \quad (1)$$

式中：G 为土地多样化指数， X_i 为第 i 类土地利用面积，n 为土地利用类型数。一个地区的土地利用结构越丰富，n 越大，G 越接近于 1。

采用单一土地利用动态度分析贵州省土地利用变化情况：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中：K 为单一土地利用动态度， U_a 为初始土地利用数据， U_b 为末期土地利用数据，T 为时间段。

2.2 土地利用类型碳排放计算

本文通过计算碳源得到碳排放量，计算碳汇得到碳吸收量，进而计算净碳排放量。碳源主要包括农用地碳排放和建设用地碳排放，农用地碳排放计算公式为：

$$E_f = G_1 \times A + G_2 \times B + G_3 \times C + G_4 \times D + G_5 \times E \quad (3)$$

式中： E_f 为农用地碳排放总量， G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_4 、 G_5 分别为农用地化肥使用折纯量、农作物播种面积、农业机械总动力、有效灌溉面积和农用地塑料薄膜使用量。A、B、C、D、E 分别为对应的碳排放转换系数，取值在参照前人^[14, 15]研究的基础上结合贵州省实际情况确定其系数，如表 1 所示。

表 1 农用地各指标碳排放转换系数

指标	农用地化肥使用折纯量 A	农作物播种面积 B	农业机械总动力 C	有效灌溉面积 D	农用地塑料薄膜使用量 E
碳排放转换系数	895.6kg/t	16.47kg/hm ²	0.18kg/kW	266.48kg/hm ²	5.18kg/kg

本文对建设用地碳排放量的测算采用王桂波和南灵^[15]的做法，结合贵州省实际状况及数据的可获取性，得建设用地测算模型：

$$\begin{aligned} E_c &= GDP' \times H \times K \\ GDP' &= GDP_1 + GDP_2 \end{aligned} \quad (4)$$

式中： E_c 为建设用地碳排放总量；H 为单位 GDP 能耗；K 为煤炭消耗系数，值为 0.7476t(C)/t； GDP_1 、 GDP_2 分别为第二、第三产业产值。

碳汇主要来自林地、园地、牧草地、水域及未利用地和耕地，测算公式为：

$$C_i = G_i \times f_i \quad (5)$$

式中： C_i 为第 i 类土地碳吸收量， G_i 为第 i 类土地面积， f_i 为碳吸收率，本文在总结前人研究的基础上，选取的各类型土地利用碳吸收率^[12]见表 2。

表 2 各类土地利用碳吸收率

土地类型	园地	林地	牧草地	未利用地	水域
碳吸收率	-0.644	-0.644	-0.021	-0.005	-0.218

耕地碳吸收率的计算公式为：

$$C_f = \sum C_d$$
$$C_d = C_i \times Y_w / H_i$$

(6)

式中：C_f为耕地碳吸收量，C_d为某类农作物碳吸收量，Y_w为农作物经济产量，H_i为第 i 种农作物经济系数。结合贵州省耕地作物种植情况，选取的主要农作物碳吸收率以及经济系数如表 3 所示。

表 3 贵州省主要农作物经济系数和碳吸收率

农作物种类	稻谷	小麦	玉米	大豆	薯类	油菜	花生	甘蔗	烤烟
经济系数	0.4	0.4	0.4	0.34	0.7	0.25	0.43	0.5	0.55
碳吸收系数	0.4709	0.4853	0.4709	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

2.3 土地利用类型与碳排放关联分析

灰色关联度分析，是对系统内部各要素之间关系的探讨，而关联度值的大小代表各要素间的关联程度。首先确定母数列(7)和子序列(8)。

$$x_0 = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \cdots, x_0(n)\}$$

(7)

$$x_m = \{x_m(1), x_i(2), x_m(3), \cdots, x_m(n)\}$$

(8)

关联系数的计算公式为：

$$\zeta_i(k) = \gamma(x_0(k), x_i(k))$$
$$= \frac{\min_{i \in m} \min_{k \in n} (|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_{i \in m} \max_{k \in n} (|x_0(k) - x_i(k)|))}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_{i \in m} \max_{k \in n} (|x_0(k) - x_i(k)|)}$$

(9)

式中：ζ(k)为第 k 时刻比较曲线 x_i 对于曲线 x₀ 的相对差值，这种相对差值称为 x_i 对于 x₀ 在 k 时刻的关联系数。ρ 是分辨系数，ρ ∈ [0, 1]，一般取 0.5。

计算关联度的公式为：

$$r_i = \frac{\sum_{k=1}^n \zeta_i(k)}{n} \tag{10}$$

其中， r_i 的数值越大，关联度越高。

2.4 土地利用类型碳排放预测模型

灰色预测模型 GM(1, 1) 是基于累加生成数列，对某一指标发展变化情况所做的预测，其预测结果是该指标在未来各个时刻的具体数据^[16]。其预测公式如下：

$$dY_t/dt + aY_t = b \tag{11}$$

$$Y_t = (x_0 - b/a)e^{-at} + b/a \quad (t=0, 1, \dots, m) \tag{12}$$

式(11)为一阶线性微分方程，式(12)为微分方程所对应的时间响应函数，其中 a 、 b 为通过最小二乘法拟合得到的待定系数。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用数量变化

土地利用类型变化会引起碳排放的增减，贵州省 2005—2019 年三大类土地利用变化统计分析结果如图 1 所示。

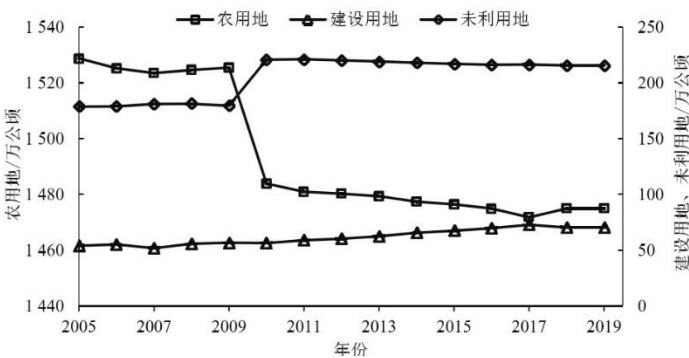


图 1 贵州省 2005—2019 年三大类土地利用变化统计分析

图 1 统计分析结果表明，2005—2019 年间贵州省农用地面积远大于未利用地和建设用地。从面积数量变化来看，表现为建设用地和未利用地增加，其年均增长率分别为 1.90% 和 1.35%；农用地减少，年均减少 0.26%。在研究时段内，变化幅度依次为建设用地、未利用地、农用地。

3.1.2 土地利用多样化指数变化

土地利用多样化指数主要表示某区域土地利用类型丰富和复杂程度，多样化指数越高，说明该区域土地类型越丰富。由式(1)计算出贵州省 2005—2019 年土地利用多样化指数如图 2 所示。

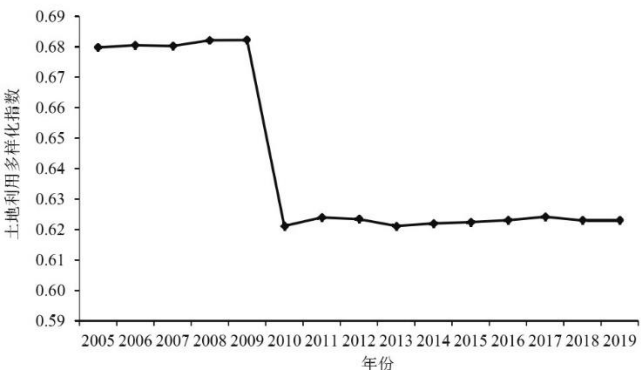


图 2 贵州省 2005—2019 年土地利用多样化指数变化趋势

由图 2 可知，贵州省土地利用多样化指数由 2005 年的 0.68 下降至 2019 年的 0.62，说明贵州省土地利用类型丰富度在 15 年间有所降低。根据多样化指数的变化趋势来看，2005—2009 年多样化指数无明显变化；在 2009—2010 年间贵州省各类土地类型面积的变化较为明显，其中最为显著的是林地，由 2009 年的 790.73 万公顷增加到 2010 年的 899.57 万公顷，草地由 2009 年的 159.75 万公顷下降到 2010 年的 7.41 万公顷，这是贵州省土地多样化指数 15 年间下降最快的时段，之后呈缓慢变化的趋势。总体而言，土地多样化指数在 15 年间的变化趋势较小，说明贵州省多样化程度总体为偏上水平。

3.1.3 单一土地利用动态度变化

单一土地利用动态度主要表现的是某一区域某一土地类型的变化幅度，由式(2)计算出贵州省 2005—2012 年、2012—2019 年时间段的单一土地利用动态度见表 4。

表 4 贵州省单一土地利用动态度

土地类型	2005—2012 年	2012—2019 年	2005—2019 年
耕地	0.07%	-0.06%	0.02%
园地	2.73%	-0.20%	2.45%
林地	0.94%	-0.03%	0.90%
牧草地	-6.82%	-0.08%	-6.82%
水域	1.43%	-2.15%	-1.15%
未利用地	1.66%	-0.14%	1.48%
建设用地	0.81%	1.20%	2.15%

由表 4 可知,耕地和林地面积基数较大,在 2005—2012 年和 2012—2019 年间,单一土地利用动态变化都较小,在研究时期内,耕地动态度仅为 0.02%,林地仅为 0.90%。动态度变化最大的是牧草地,在 2005—2019 年间,动态度为-6.82%。从时间段来看,2005—2012 年间是牧草地变化速度最快的阶段,其面积从 2005 年的 160.64 万公顷下降到 2012 年的 7.32 万公顷,说明在这期间贵州省加强对牧草地的转型和开发利用;2012—2019 年牧草地的变化较小,仅下降 0.08 万公顷。园地和水域的变化也主要集中在 2005—2012 年这一时间段,而建设用地和水域的变化主要集中在 2012—2019 年时期内,这是由于贵州省近几年伴随着经济大发展,城镇化和工业化水平不断提升,建设用地的面积也随之增加。

3.2 土地利用碳排放效应分析

根据式(3)~(6),结合贵州省 2005—2019 年土地利用变化数据,计算贵州省 15 年间土地利用碳排放变化见表 5。

表 5 表明,在研究时期内,贵州省土地利用净碳排放量从 2005 年的 2076.29 万吨增加到 2019 年的 5057.62 万吨,共增长了 2981.33 万吨,年均增长 198.76 万吨,年均增长率为 6.57%。从整体的变化趋势来看,贵州省土地利用碳排放呈上升趋势,净碳排放量可能持续增长,大部分碳排放来自建设用地,各年内占比达到 97%以上。导致这种现象产生的原因可能是贵州省属于经济较为落后的省份,为贯彻执行 2020 年全面脱贫的战略目标,贵州省经济发展带来的城镇化扩张,建设用地面积增加成为发展的必然。农用地所占碳源的比重呈现下降的趋势,导致这一现象的原因除建设用地面积增加外,也可能是贵州省为响应国家相关政策号召,降低对化肥、农药的依赖,倡导绿色循环农业,减少农用地碳排放量。在碳汇中,耕地碳吸收量占据主导作用,各年内占比达到 60%以上,但 2005—2019 年耕地碳吸收量所占碳汇比重有所下降,从 2005 年的 72.93%下降到 2019 年的 67.67%;其他几种类型的土地碳吸收量所占碳汇总量在 27%以上,占比总体呈现上升的趋势。这一现象产生的原因可能是退耕还林还草政策在贵州省得到较好的执行,其他几种农用地面积的增加,进而增强了对碳的吸收能力。

习近平总书记多次提出 2030 年前实现碳达峰,2060 年前实现碳中和减排降碳目标。根据平新乔等^[6]对中国除新疆外的 31 个省份碳排放的测算及研究可知,贵州省处于中排放省份。基于土地碳排放呈增长的趋势可知,贵州省有望在 2030 年前实现碳达峰,但机遇与挑战并存。贵州省 GDP 从 2005 年的 1979.06 亿元增长到 2019 年的 16769.34 亿元,年均增长 986.02 亿元。贵州省近年来大力发展生态绿色旅游,第三产业 GDP 比重逐年提高,贵州省生态环境处于全国中上水平,应借鉴发达省份的发展经验,不走先污染后治理的道路,坚持绿色发展理念,从而提高贵州省应对实现碳达峰的能力。基于土地利用碳排放测算数据,建设用地为碳源的主要贡献因子,而贵州省在城镇化过程中增加建设用地面积是发展的必经阶段,同时,为了城市能更多地吸纳农村人口,选择低密度、“摊饼”式土地开发,可能会产生大量低效率利用的基础设施,提升了整体碳排放。与其他省份的土地利用模式不同,贵州省的喀斯特地貌占 70%以上,对于土地利用的空间规划和整体结构优化应因地制宜,而不是通过平夷山地的方式扩张城市用地面积。因此,如何促进贵州省土地利用低碳发展成为当前发展的重难点,发展低碳经济、合理规划土地利用的方向、优化土地利用布局是当前研究的重点领域。控制碳源、增加碳吸收,是促进贵州省成为低碳文明省份的有效手段。

3.3 土地利用类型与碳排放关联度分析

根据式(7)~(10)计算出贵州省土地利用类型与净碳排放量的关联度见表 6。

表 5 贵州省 2005—2019 年不同土地利用碳排放量 单位:万吨

年份	园地	林地	牧草地	未利用地	水域	耕地	建设用地	农用地	碳汇	碳源	净碳排放量
2005	7.74	510.11	3.37	0.89	4.49	1418.75	3910.07	111.57	1945.36	4021.65	2076.29
2006	7.79	509.76	3.36	0.89	4.74	1268.23	4359.66	117.22	1794.79	4476.87	2682.09

2007	7.79	509.43	3.35	0.91	4.95	1340.00	4817.05	122.38	1866.43	4939.43	3073.00
2008	7.82	509.33	3.36	0.91	5.25	1402.09	4494.22	133.36	1928.74	4627.58	2698.84
2009	7.81	509.23	3.35	0.90	5.33	1418.53	4861.06	138.72	1945.15	4999.78	3054.63
2010	10.14	579.32	0.16	1.10	5.34	1331.91	5281.87	136.45	1927.97	5418.32	3490.35
2011	10.15	577.88	0.15	1.11	6.05	1054.65	5202.33	147.76	1649.98	5350.10	3700.12
2012	10.70	577.09	0.15	1.10	5.39	1375.83	6423.81	154.77	1970.27	6578.58	4608.31
2013	10.82	576.69	0.15	1.10	3.84	1333.15	6058.16	127.78	1925.74	6185.93	4260.19
2014	10.71	576.12	0.15	1.09	3.79	1450.22	6258.16	163.69	2042.08	6509.11	4379.78
2015	10.63	575.75	0.15	1.09	3.79	1478.36	6278.93	168.19	2069.75	6463.38	4377.37
2016	10.52	575.21	0.15	1.08	3.78	1558.84	6438.52	170.38	2149.59	6217.87	4459.31
2017	10.44	574.84	0.15	1.08	3.77	1506.50	6660.36	164.23	2096.78	6425.34	4727.81
2018	10.40	574.57	0.15	1.08	3.77	1273.78	6408.55	160.98	1863.74	6610.18	4705.79
2019	10.40	574.57	0.15	1.08	3.77	1234.82	6732.70	149.71	1824.79	6882.41	5057.62

表 6 土地利用类型与净碳排放量的关联度

土地利用类型	园地	林地	牧草地	未利用地	水域	耕地	建设用地
关联度	0.64	0.65	0.43	0.67	0.38	0.7	0.59

由表 6 可知，7 种土地利用类型与净碳排放量都存在线性关系。其中，关联度最大的是耕地，其关联度为 0.7。耕地既是碳源，也能通过种植固碳农作物成为碳汇。其次是未利用地，此类型土地上的人类活动较少。然后是林地，林地是陆地生态系统中主要的储碳库。作为主要的碳汇，林地通过吸收大气中的二氧化碳并将其固定在植被或土壤中，从而减少二氧化碳的排放。贵州省森林覆盖率达 60%，且目前呈现逐年增长的趋势，这对 2030 年碳达峰后实现碳中和具有重要意义。园地、草地和水域都是碳汇实体，草地有着巨大的碳吸收潜力，但贵州省草地面积从 2005 年的 160.64 万公顷下降到 2019 年的 7.21 万公顷，因此，应通过整治恢复、种草、草畜平衡等方式实现碳中和；贵州省作为内陆省份，水域面积较少，水域与净碳排放量的关联度仅为 0.38；园地本身也具有巨大的碳汇潜力，其关联度为 0.64。建设用地与碳排放量具有较高的关联度，承载着人们的生产生活，无论是交通设施用地、工业用地，还是居住用地，都会对能源有着更多的需求。经济发展的一个重要表现是城镇化，城镇化必然伴随着建设用地的扩张，贵州省如何在 2030 年实现碳达峰前合理控制和规划建设用地面积，从而满足社会进步和经济发展的需要，是值得进一步探讨和思考的问题。

3.4 土地利用碳排放预测

根据灰色预测模型，结合 MATLAB 软件测算出后验差 C 为 0.3235，小误差概率 P 为 0.9333，得出 C 和 P 都满足精度的等级

要求。因此，建立 GM(1, 1)模型。

$$Y_t=60\,642.25e^{0.047t}-58\,565.96$$

(13)

通过式 (13) 可得出贵州省 2005—2019 年实际净碳排放量增长曲线和 2005—2030 年预测增长曲线 (图 3)。

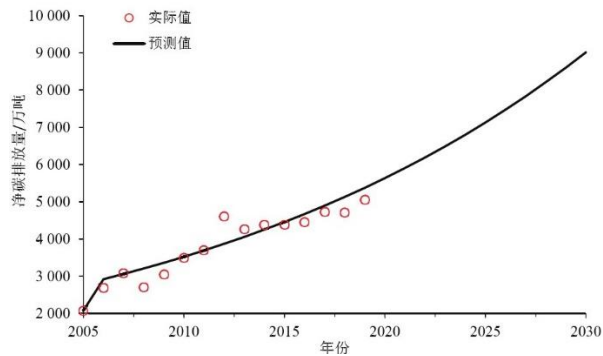


图 3 贵州省 2005—2030 年净碳排放量增长曲线

由图 3 可知，贵州省 2005—2019 年实际净碳排放量呈现出波动增长趋势，而预测的 2005—2030 年净碳排放量呈现出线性的增长趋势，说明预测的土地利用净碳排放值是按照当前经济发展速度出现的一个较为理想的状态值。如果在土地开发利用过程中，出现土地利用规划不科学、土地利用结构不合理和粗放的土地经营方式，则实际值高于预测值。反之，如果通过相关的碳减排和碳中和措施控制土地利用中碳源的产生，则土地利用碳排放的实际值是可以低于预测值的。在研究期内，2007 年、2011 年、2012 年、2013 年和 2014 年土地利用碳排放的实际值高于预测值，而其他年份则是实际值低于预测值。贵州省要抓住 2030 年前实现碳达峰的关键时期，土地利用碳排放放在预测值左右波动的同时实现经济增长，并在发展过程中融入绿色发展理念，争取实现绿色 GDP 的增长，从而制定 2030 年之后碳中和的实施途径。

为进一步分析贵州省 2020—2030 年土地利用预测净碳排放量，将预测的具体数值体现在表 7 中。

表 7 为贵州省 2020—2030 年土地碳排放预测值，2020 年土地利用碳排放值为 5634.88 万吨，到 2030 年达到 9015.77 万吨，结合图 2 可知土地利用碳排放并没有呈现下降的趋势，而我国要在 2030 年实现碳达峰，因此在未来 10 年的土地利用中，不仅要加快速度实现碳达峰，也要改变土地利用碳排放的增长趋势，使其在 2030 年后呈现下降的变化趋势。土地利用碳排放作为仅次于能源燃烧的第二大碳排放源，有望在 2030 年实现碳达峰。碳达峰后，寻求实现土地利用碳中和的途径，改变贵州省土地利用碳排放的增长趋势，实现土地减排降碳是艰巨而不可逃避的任务。因此，为控制土地利用碳排放增长速度，改变其呈线性增长的趋势，实现碳中和，贵州省应加强对土地利用的合理规划，改变土地利用方式向碳汇转变。要以深化土地供给侧结构性改革和健全人地挂钩机制为着力点，优化用地布局和结构，划定建设用地管制边界，构建科学适度有序的国土空间布局体系。

4 研究结论和建议

4.1 研究结论

(1) 2005—2019 年，贵州省三大类土地利用变化为：农用地减少，建设用地和未利用地增加；贵州省土地多样化指数整体呈下降趋势，土地类型分布不均，地类所占的比例差距较大；单一土地利用动态度依次为牧草地>园地>建设用地>未利用地>水域>

林地>耕地；从面积数量变化来看，主要表现为林地、园地、耕地、未利用地和建设用地的增加，水域和牧草地的减少。

(2) 贵州省土地利用净碳排放量从 2005 年的 2076.29 万吨增加到 2019 年的 5057.62 万吨，总体而言，贵州省土地利用碳排放呈上升趋势，碳排放主要来自建设用地，平均占比达到 97%以上；碳吸收主要来自耕地和林地。

(3) 通过运用灰色关联方法计算各土地利用类型与碳排放的关联度，表现为耕地>未利用地>林地>园地>建设用地>牧草地>水域。使用 GM(1,1)模型预测 2020—2030 年土地利用碳排放量可知，土地利用碳排放量呈现增长的趋势，通过对实际值与预测值的比较，预测值是按照当前发展现状变化的，预测的碳排放值可以通过增加碳汇的方式实现碳中和，从而使实际碳排放值低于预测值，反之，也可以通过增加碳源使实际碳排放值高于预测值。而在低碳绿色发展背景下，要实现碳排放量与经济增长的脱钩关系，结合预测的土地利用变化趋势，贵州省的土地利用减排降碳任务依然很严峻。

4.2 对策建议

贵州省是生态文明建设的先锋模范省份，当前正处于经济社会快速发展的时期，迫切需要走低碳发展的道路，促进其经济社会绿色发展。针对当前贵州省碳排放的实际情况及预测的碳排放发展趋势，提出促进贵州省土地利用减排降碳的对策建议如下。

(1) 优化土地利用结构，减少碳源。

建设用地是城市碳排放的主体，因此要将碳达峰、碳中和的目标融入城市空间规划中。合理设计城市住房制度，形成供需适配的局面，避免因盲目扩张建设用地导致粗放的土地利用方式，推动土地集约化利用，避免不集约助长建成区的低密度扩张。

(2) 优化农业生产投入结构，促进农业低碳生产。

农业生产活动既可以是碳源，也可以产生碳汇，因此，在对农用地利用的过程中，要挖掘农业生产的低碳化路径。

(3) 增加碳汇，实现碳中和。

通过制定相关政策，引导低碳产业合理布局，推进土地利用在数量结构和空间布局两方面实现优化。在开发土地时注重对生态环境的影响和保护，最大限度地避免土地开发带来的负外部性影响。充分发挥林地、牧草地等土地利用类型的生态固碳能力，提高森林植被和土壤的碳储量，提升土地生态系统的固碳能力。通过山水林田湖草沙修复治理，扩大植被覆盖面积，增加森林碳储量，防止多余的碳向大气排放。

表 7 2020—2030 年贵州省土地碳排放预测值 单位：万吨

年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
预测值	5634.88	5906.04	6190.25	6488.13	6800.36	7127.60	7470.60	7830.10	8206.90	8601.83	9015.77

在绿色发展和生态文明建设理念的指导下，土地利用碳排放纳入“十四五”规划编制中，对于土地利用碳减排降碳，推动土地碳达峰的进程，优化土地碳中和的路径具有重要意义。

参考文献：

-
- [1]曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 等. 中国居民生活碳排放增长路径研究[J]. 资源科学, 2017(12): 2389-2398.
- [2]褚力其, 姜志德, 任天驰. 中国农业碳排放经验分解与峰值预测——基于动态政策情景视角[J]. 中国农业大学学报, 2020(10): 187-201.
- [3]庄贵阳, 窦晓铭. 新发展格局下碳排放达峰的政策内涵与实现路径[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2021(6): 124-133.
- [4]杨长进, 田永, 许鲜. 实现碳达峰、碳中和的价税机制进路[J]. 价格理论与实践, 2021(1): 20-26, 65.
- [5]胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021(3): 1-15.
- [6]平新乔, 郑梦圆, 曹和平. 中国碳排放强度变化趋势与“十四五”时期碳减排政策优化[J]. 改革, 2020(11): 37-52.
- [7]Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990[J]. Chemical and Physical Meteorology, 1999, 52b(2): 298-313.
- [8]Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land use change in China[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2003, 17(2): 1034-1047.
- [9]葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008(2): 197-210.
- [10]冯杰, 王涛. 中国土地利用碳排放演变与影响因素分析[J]. 软科学, 2016(5): 87-90.
- [11]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.
- [12]彭文甫, 周介铭, 徐新良, 等. 基于土地利用变化的四川省碳排放与碳足迹效应及时空格局[J]. 生态学报, 2016(22): 7244-7259.
- [13]杨坤, 胡馨, 石越. 基于 RS 和 GIS 的土地利用变化碳排放现状及预测分析[J]. 长江科学院院报, 2016(7): 137-141.
- [14]朱巧嫻, 梅昀, 陈银蓉, 等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J]. 经济地理, 2015(12): 176-184.
- [15]王桂波, 南灵. 陕西省土地利用碳排放效应时空差异分析[J]. 资源与产业, 2012(1): 124-130.
- [16]曲鲁平, 翟腾腾, 张全景. 基于灰色理论模型的山东省土地利用碳排放研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019(2): 290-296.