

基于土地利用的碳排放效应和特征研究

王常顺 贾 恪

内蒙古自治区国土空间规划院 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要：近年来人类活动的扩张，碳排放造成的环境威胁已成为全球变暖不可忽视的问题，而土地利用结构和功能变化是导致碳排放逐年加剧的重要原因。在针对CO₂排放溯源的研究报告中，部分结论指向化石燃料燃烧产生的废气，而更多的研究结论则指向了土地利用方式改变。而随着我国环境保护政策的推动和落实，国家对高碳行业的严格限制已经使得社会对化石燃料燃烧起到足够的重视，但是针对土地产生的碳排放却尚未受到足够的重视。当前，我国作为全球碳排放量较大的国家之一，降低碳排放量的需求刻不容缓。

关键词：土地利用；碳排放；低碳；结构调整

土地作为人类赖以生存的自然载体，在不同的利用方式下对碳排放和碳汇收集具有重要作用，土地利用方式的不同决定了社会经济低碳转型成功与否。自提出“双碳”理念以来，碳达峰和碳中和的发展理念成为经济结构调整的主要方向。而在经济结构调整的过程中，土地利用是碳排放的主要因素之一，不合理的土地利用产生的碳排放已成为经济建设和城镇化过程中不容忽视的问题。

1 土地利用与碳排放的关系

1.1 碳源与碳汇的双重属性。碳源主导的土地利用类型。建设用地是核心碳排放来源，其扩张通过工业生产、交通活动等直接增加碳排放强度，紧凑度低的城市空间布局会进一步加剧排放压力。例如，东北地区建设用地贡献超88%的碳排放总量，辽宁等工业化程度高的省份尤为显著。农业用地通过化肥施用、农机使用等产生碳排放，农地高密度开发（如过量投入农药、提高复种指数）显著增加碳排放规模。碳汇功能的生态用地。林地、湿地等生态系统通过植被固碳和土壤储碳发挥碳汇作用，但生态用地转为耕地或建设用地会导致碳汇能力下降。例如，省因森林覆盖率较高成为碳汇核心区，而草地退化则削弱其固碳潜力。

1.2 土地利用变化的动态影响。空间格局的驱动效应。土地利用类型转换（如林地→耕地、耕地→建设用地）直接改变区域碳平衡，导致碳排放量增加或碳汇能力损失。例如，1961-2017年全球土地利用变化贡献了约1/3的人为碳排放，中国因建设用地扩张导致陆地生态系统碳蓄积能力下降。城市中心区与外围呈现“核心-边缘”碳排放分异，中心区以高强度碳排放为主，外围生态区则依赖碳汇功能。时间维度的累积效应。2000-2020年间，建设用地持续扩张导致碳排放总量上升，而生态

用地减少进一步削弱碳汇能力。模拟预测显示，若采用可持续发展情景（优化用地布局），2030-2060年上海大都市圈碳排放可比惯性发展减少30%。

1.3 关键驱动因素。社会经济与政策导向。人口密度、GDP增长与碳排放呈正相关，但技术创新（如低碳建筑、能源结构优化）可降低单位能耗排放。国土空间规划通过控制用地类型和布局调整碳源碳汇结构，例如通过限制低效建设用地扩张降低排放强度。土地利用管理方式。农业技术改进（如精准施肥、节水灌溉）可减少农田碳排放；生态用地保护（如退耕还林、湿地修复）能增强碳汇功能。

1.4 区域差异与优化路径。区域异质性。碳汇优势区需强化林地保护，碳源集中区应推动产业低碳转型；收缩城市因经济衰退面临碳排放“先达峰后反弹”的特殊趋势，需针对性政策干预。优化策略。空间整合：将碳目标嵌入国土规划，优先保护生态用地，限制建设用地无序扩张；技术创新：推广低碳农业技术，提升建筑和交通能效；跨区域协作：通过产业转移和分工优化土地利用模式，减少整体碳排放。

2 土地利用对碳排放的影响机制与特征

2.1 土地利用类型与碳源/汇属性。碳源主导型用地。建设用地：土地用途向工业、城镇扩张时，通过化石能源消耗、工业生产及交通活动直接增加碳排放，低密度开发（如土地利用碎片化）会加剧排放强度。例如，农业用地转为建设用地时，伴随高能耗产业聚集，碳排放显著提升。农业用地：高密度开发（如过量使用化肥、提升复种指数）导致土壤呼吸和农作物残余物分解加速，释放二氧化碳和氧化亚氮等温室气体，直接增加碳排放量。碳汇功能型用地。林地、湿地等生态用地：通过植被固碳和土壤储碳发挥碳汇作用，但生态用

地转为耕地或建设用地会导致碳汇能力下降。例如，森林覆盖率高的区域碳储量较高，而草地退化或湿地填埋会削弱固碳潜力。

2.2 土地利用变化的动态效应。类型转换的直接驱动。土地利用类型转换（如林地→耕地、耕地→建设用地）直接改变碳循环平衡。全球1961—2017年间，约1/3人为碳排放源于土地利用变化；农业用地向建设用地转化过程中，碳排放强度提升可达数倍。管理方式的影响。农业技术改进：高标准农田建设通过优化灌溉、精准施肥等技术，减少单位面积碳排放；城市空间布局：紧凑型城市设计（如提高建筑密度）可降低单位GDP能耗，减少间接碳排放。时空分异规律。碳排放呈现“核心-边缘”空间分异，城市中心区以高强度排放为主，外围生态区依赖碳汇功能；长期趋势显示，建设用地扩张与碳排放总量呈正相关，而生态用地保护可显著抑制碳排放增速。

2.3 关键影响因素与优化路径。社会经济与政策因素。人口增长、城镇化率提升与碳排放正相关，但能源结构优化（如可再生能源占比提高）可降低单位能耗排放强度；国土空间规划通过限制低效用地扩张、保护生态空间，优化碳源/汇结构。技术创新与区域协同。农业低碳技术：推广间作套种、有机肥替代化肥，减少农田甲烷和氧化亚氮排放；跨区域协作：通过产业转移与生态补偿机制，平衡区域碳代谢差异（如碳汇优势区与碳源集中区的互补）。

3 不同土地利用类型碳排放差异比较

3.1 碳源主导型土地利用。建设用地。碳排放强度最高：建设用地是人为碳排放的核心来源，其扩张通过工业生产、交通活动等直接增加碳排放量。例如，省建设用地碳排放占比超过88%，与经济发达程度呈正相关；重庆市建设用地碳排放年增长率高达9.89%，单位产值碳排放强度显著高于其他用地类型。空间布局影响排放：低密度开发（如碎片化土地利用）加剧碳排放，紧凑型城市设计可降低单位GDP能耗和排放强度。农业用地。耕地碳排放显著：过量使用化肥、农药及农机作业导致氧化亚氮和二氧化碳排放增加。例如，省耕地碳排放占比较大，且呈现逐年上升趋势；区高标准农田优化设计（如喷灌技术）可减少农田碳排放。耕地利用效率差异：碳排放非期望产出会降低土地利用效率15%，能源消费投入过大是限制因素之一。

3.2 碳汇功能型土地利用。林地。核心碳汇作用：林地通过植被固碳和土壤储碳发挥重要碳汇功能。河南省林地碳吸收量不足以抵消碳源排放，呈现碳赤字；重庆

市林地总碳吸收量达14,570.85万t，但能力呈下降趋势。土壤有机碳储量高：水田土壤有机碳含量是原生沉积区的22.95倍，灌木林次之，但林地转为耕地后碳汇能力显著下降。湿地与其他生态用地。碳汇潜力受限：湿地填埋或草地退化导致碳汇能力削弱。

3.3 区域差异与动态特征。空间分异规律。核心-边缘差异：城市中心区以高强度碳排放为主（如辽宁省工业区），外围生态区依赖碳汇功能。粮食功能区差异：耕地利用生态效率呈现“粮食主销区>产销平衡区>主产区”格局，主产区碳排放压力更大。时间演变趋势。2000—2020年，建设用地扩张导致碳排放总量持续上升，而生态用地减少削弱碳汇能力。例如，市建设用地面积增长与碳排放强度提升显著正相关。若采用可持续发展情景优化用地布局（如上海大都市圈），碳排放量可比惯性发展减少30%以上。

3.4 优化路径建议。碳源控制：限制建设用地无序扩张，推广紧凑型城市设计；推动农业低碳技术（如精准施肥、喷灌系统）。碳汇提升：加强林地、湿地保护，优先修复退化生态用地；推广水田等高碳汇农业模式。区域协同：碳汇优势区强化生态保护，碳源集中区推动产业低碳转型。

4 土地利用变化对碳排放的贡献率

4.1 全球尺度贡献率。总体贡献：全球范围内，土地利用变化对人为碳排放的贡献率约为30%。例如，1961—2017年间，全球约1/3的人为碳排放源于土地利用变化（如森林砍伐、湿地破坏等）。农业活动（如化肥施用、畜牧业等）贡献了全球约20%的二氧化碳排放，其中土地开发与耕作方式转变是关键驱动因素。碳汇能力抵消作用：尽管土地利用变化加剧碳排放，陆地生态系统（如森林、草地）通过碳汇功能可吸纳约25%—33%的人为碳排放。例如，中国退耕还林政策使其陆地生态系统碳蓄积能力显著提升。

4.2 中国区域贡献率。历史积累与现状：1950—2005年，中国土地利用变化累计碳排放达10.6 Pg C，占同期人为源碳排放总量的30%，占全球土地利用变化碳排放量的12%。建设用地扩张是主要碳源，东北地区建设用地对碳排放的贡献率超过88%，其中辽宁省工业化程度高的区域尤为突出。碳汇功能区域差异：省因森林覆盖率较高成为碳汇核心区，但草地退化和耕地扩张削弱了其固碳潜力；东北地区人均碳排放强度持续增长，单位GDP碳排放强度虽下降，但仍面临较大减排压力。

4.3 关键土地利用类型的影响。碳源主导型变化：林地转为耕地/建设用地：直接导致碳汇能力损失，并释放

土壤储存的有机碳。例如,全球森林砍伐贡献了约10%—15%的碳排放;农业集约化:过量投入化肥、农药及复种指数提升,增加了氧化亚氮和甲烷排放强度。碳汇功能提升潜力:生态用地保护(如退耕还林、湿地修复)可显著增强碳汇能力。例如,“千分之四土壤增碳倡议”提出,每年增加土壤碳储量0.4%即可显著减缓大气二氧化碳浓度上升;优化土地利用模式(如紧凑型城市设计、精准农业技术)可减少碳排放强度,提升碳中和贡献率。

5 碳排放效应的特征

5.1 总量与阶段性特征。总量持续增长但增速趋缓:全球碳排放总量持续增加,但近十年增速显著下降,经济转型和技术进步促进了减排效果。中国碳排放量从建国初期的7858万吨增至2020年的102.51亿吨,经历“缓慢增长—快速扩张—增速趋缓”三阶段,单位GDP碳排放强度下降至0.653千克/美元(2020年),仅为2005年的四分之一。工业与能源依赖突出:中国碳排放中,工业部门占比达50%,电力行业占35%,其中燃煤电厂、钢铁、水泥三大行业贡献超60%的碳排放量;化石能源消费(煤炭、石油)占一次能源消费的80%,是碳排放的主要来源。

5.2 空间分异与区域协同。区域差异显著:碳排放呈现“核心-边缘”分异特征,城市中心区(如工业密集区)碳排放强度高,外围生态区碳汇功能较强;省域层面,东部地区减污降碳协同治理水平较高,中西部地区碳排放绩效呈“U”型低水平集聚特征。空间溢出效应:碳排放绩效具有空间依赖性,邻近城市的经济转型、绿色技术创新可正向促进本地减排,但行政分权化可能抑制协同效应;碳排放与大气污染协同效应呈现倒“U”型趋势,且存在空间聚集性。

5.3 行业与驱动因素特征。行业分布高度集中:

燃煤电厂、钢铁、水泥行业分别占中国碳排放总量的34.11%、15.4%和10.71%,建筑业因能源密集和外部性特征成为关键减排领域;农业活动中,过量使用化肥、复种指数提升导致氧化亚氮和甲烷排放加剧。驱动因素复杂多元:能源消费结构(化石能源占比)、产业结构(工业主导)、城镇化率是碳排放增长的核心驱动因素;技术创新(如新能源技术、精准农业)和市场化政策(碳排放权交易)可显著降低单位能耗排放强度。

5.4 协同效应与动态演变。减污降碳协同性:碳排放与大气污染治理存在协同效应,环保投资占比、能源结构优化可同步降低碳排放与污染物排放;研发投入对东中部地区减污降碳协同效应具有显著调节作用,但西部作用不明显。动态演变趋势:2000—2020年,建设用地扩张导致碳排放总量持续上升,而生态用地减少削弱碳汇能力;经济转型背景下,市场化、全球化水平提升可促进碳排放绩效改善,但环境规制短期内可能抑制减排效率。

5.5 外部性与公共性特征。碳排放具有显著的负外部性,如建筑碳排放影响大气环境容量和社会可持续发展,需通过市场化机制(如碳交易)将外部成本内部化;温室气体排放引发的全球变暖具有公共性特征,需国际协作应对,但区域减排责任分配存在争议。

总之,未来对土地利用新路径的探索中,应注重多学科综合的专业队伍建设,以便能够深入了解土地利用低碳优化的内外调控机制,从而为土地利用低碳优化寻找出路,助力我国“双碳”目标的实现。

参考文献

- [1]王媛.土地利用的碳排放效应和特征探讨.2022.
- [2]赵世航.基于土地利用变化的碳排放时空格局研究.2023.