

# 土地整治对区域生态系统服务功能的影响及优化策略

郭家相<sup>1\*</sup>, 郭家瀚<sup>2</sup>

(1. 上犹县自然资源局, 江西 赣州 341299;

2. 赣州市国土空间调查规划研究中心, 江西 赣州 341400)

**摘要:**本研究以鄱阳湖生态经济区为案例, 系统探讨了土地整治对区域生态系统服务功能(ESV)的影响机制及优化策略。基于多源遥感数据、实地采样与模型模拟, 揭示了退田还湖、高标准农田建设等整治工程对水源涵养、土壤固碳及生物多样性的差异化效应。结果显示, 退田还湖显著提升水源涵养能力和生物多样性, 但高强度农田整治导致土壤有机碳密度下降及面源污染加剧。建设用地扩张引发热岛效应和碳汇衰减(降至自然植被的28%)。研究提出分区调控、智能监测、生态补偿等优化策略, 成果为协调土地整治与生态保护提供科学依据。

**关键词:**土地整治; 生态系统服务价值; 空间异质性; 生态补偿; 鄱阳湖生态经济区

**中图分类号:**F301.24 **文献标志码:**A **文章标号:**1672-2736(2025)03-0030-7

## 0 引言

随着城镇化与农业集约化的快速发展, 土地整治已成为优化国土空间布局的重要手段, 但其对生态系统服务功能的复杂影响尚未明晰<sup>[1]</sup>。鄱阳湖生态经济区作为长江中游重要生态屏障, 兼具洪水调蓄、候鸟栖息与粮食生产功能, 面临土地整治引发的生态服务权衡问题<sup>[2]</sup>。

当前学界对土地整治与生态系统服务关系的研究逐渐深入。如靳乐山等聚焦鄱阳湖湿地生态补偿, 剖析试点成效与问题; 唐秀美等则量化国土综合整治对区域生态系统服务价值的影响, 为实践提供理论指引。然而, 多数研究存在局限性, 多集中于单一工程或特定生态服务的分析, 缺乏多尺度、多要素耦合的系统研究<sup>[3]</sup>。在新发展理念下, 如何构建科学合理的土地整治模式, 实现生态、经济与社会效益的有机统一, 仍是未来研究亟待解决的关键问题<sup>[4]</sup>。本研究整合2000-2023年多源数据, 采用InVEST模型、空间计量等方法, 揭示土地整治对ESV的驱动机制与空间异质性规律, 并构建“分区-补偿-监测”一体化优化框架, 研究旨在为协调区域生态

安全与可持续发展提供理论支撑与实践路径。

## 1 土地整治对生态系统服务功能的影响机制

### 1.1 核心驱动因素与传导路径

鄱阳湖生态经济区土地整治通过土地利用格局重构和生态过程干预形成差异化影响机制<sup>[5]</sup>。遥感监测显示, 2000-2023年间退田还湖工程累计恢复湿地23.6 km<sup>2</sup> (NDWI指数提升0.18), 高标准农田建设使田块平均面积扩大至1.2 hm<sup>2</sup> (规整度提升300%), 而建设用地整治导致地表硬化率从12%增至34%。这些变化引发级联效应: 湿地恢复显著提升水源涵养能力 (InVEST模型测算+37%) 和候鸟栖息地质量 (HSI指数+0.32), 但土地平整导致耕层土壤有机碳密度下降1.2 g/kg, 且机械扰动频次每增加1次/年, 土壤固碳衰减幅度扩大0.63个单位。化肥施用强度(412 kg/hm<sup>2</sup>)超生态阈值37%, 加剧下游水体硝酸盐浓度超标2.3倍, 凸显“生产-调节”服务权衡特征。

表1 鄱阳湖生态经济区土地整治的生态系统服务价值(ESV)响应

整治类型	水源涵养 ESV 变化率(%)	土壤固碳 ESV 变化率(%)	生物多样性 ESV 变化率(%)	主导机制
退田还湖	+37	+9	+28	湿地植被恢复与水文调节
高标准农田	+12	-15	-8	土壤扰动与面源污染
建设用地整治	-24	-32	-19	地表硬化与热岛效应
湿地生态修复	+22	+6	+34	植物群落多样性提升

## 1.2 空间异质性响应规律

不同整治类型对生态系统服务价值(ESV)的影响呈现显著空间分异(表1)。退田还湖在湖盆核心区( $NDVI > 0.6$ )的水源涵养增益效应比边缘区高2.3倍,其生物多样性提升滞后3年显现(Mann-Kendall 检验  $Z = 2.56$ );高标准农田导致的土壤碳损失在平原区(坡度  $< 3^\circ$ )比丘陵区高63%,且当田块破碎度指数(FN)  $> 0.35$ 时景观连通性改善效应消失。建设用地扩张引发热岛强度( $\Delta LST$ )增加 $2.3^\circ C$ ,碳汇密度降至自然植被的28%,且硬化率超过25%后生态退化呈非线性加速。

## 1.3 复合系统级联效应

土地整治通过“水文-土壤-生物”多要素耦合产生协同与权衡效应<sup>[6]</sup>。退田还湖工程使蒸散发量增加18%,碳汇提升 $1500\text{kg}/\text{hm}^2$ ,同时扩大候鸟高适宜栖息地( $HSI > 0.7$ )面积42%,体现碳-水-生物多样性协同增益<sup>[7]</sup>。但高标准农田建设引发氮磷淋溶,导致下游水体总磷浓度超标3-13倍,形成“粮食增产-水质恶化”的典型权衡(权衡度  $TD = 0.67$ )。空间计量模型显示,土地整治强度每增加10%,景观破碎化指数上升0.15,需通过500m宽生态廊道建设方可抵消56%的负面效应<sup>[8]</sup>。

## 1.4 关键限制因素与优化启示

研究揭示三大制约瓶颈:①生态补偿标准仅覆盖退田还湖实际损失的53%,导致年均3.2%复耕反弹<sup>[9]</sup>;②遥感技术对非法矮围识别精度达92%,但面源污染扩散模拟误差 $> 25\%$ ;③23%整治项目与生物多样性热点区重叠,政策协

同度不足31%。量化研究表明,湿地恢复面积每增加 $1\text{km}^2$ 可同步提升碳汇 $800\text{kg}/\text{hm}^2$ 和水源涵养能力 $3.2 \times 10^4\text{m}^3$ ,而25%建设用地硬化率为生态安全临界阈值。这些发现为构建“分区-补偿-监测”一体化调控体系提供理论支撑<sup>[10]</sup>。

## 2 鄱阳湖生态经济区土地整治案例与生态响应分析

### 2.1 研究区概况与数据整合

鄱阳湖生态经济区( $115^\circ 49' \sim 117^\circ 46' E$ ,  $28^\circ 24' \sim 29^\circ 46' N$ )作为长江中游最大通江湖泊,承载着“洪水调蓄-候鸟栖息-粮食生产”复合功能(图1)。研究整合2000-2023年多源数据(表2),包括Landsat系列遥感影像(分辨率30m)、102个土壤采样点数据、水文监测站记录及社会经济统计数据<sup>[11]</sup>。采用面向对象分类法(精度  $Kappa = 0.87$ )提取土地利用变化信息,发现建设用地扩张速率达 $3.2\text{km}^2/\text{年}$ ,湿地面积减少18.7%,而整治工程使水域面积净增 $23.6\text{km}^2$ 。空间分析显示,土地整治强度与人类活动足迹指数(HAI)呈显著正相关( $R^2 = 0.76$ ),但生态敏感区( $NDVI > 0.6$ )整治项目占比不足21%。

### 2.2 典型土地整治项目特征解析

选取四类代表性工程(表3),揭示其空间布局与生态效应差异:

其中,退田还湖工程在双港镇等湖盆核心区拆除23处非法矮围,恢复湿地 $23.6\text{km}^2$ 。遥感反演显示,工程实施后NDWI指数提升0.18,越



图 1 鄱阳湖生态经济区区域图

表 2 研究数据来源与处理框架

数据类型	来源/分辨率	关键参数	处理方法
遥感影像	Landsat 5/8/9	NDVI、NDWI、LST	辐射定标 + 大气校正
土壤属性	实地采样(45 个点位)	SOC、TN、TP、容重	克里金空间插值
水文数据	鄱阳湖水文局	水位、径流量、水质指标	时间序列分析
社会经济数据	统计年鉴	化肥施用量、GDP 密度	空间化处理

表 3 典型土地整治项目特征对比(2020 - 2023)

项目类型	实施面积 (km <sup>2</sup> )	投资强度 (万元/km <sup>2</sup> )	核心工程技术	生态敏感区 占比(%)
退田还湖	56.8	320	矮围拆除 + 挺水植物恢复 + 水位调控	89
高标准农田	248.3	150	田块规整化 + 智能灌溉 + 土壤改良	12
建设用地整治	92.4	580	增减挂钩 + 容积率提升 + 绿地配建	5
湿地生态修复	37.6	420	基底重塑 + 沉水植物种植 + 生态补水	100

冬候鸟种群增加 19%，但其生态增益呈现显著空间异质性——核心区(高程 < 16m)水源涵养能力提升 37%，而边缘区(高程 16 - 20m)仅提升 12%。土壤采样数据表明，恢复区 0 - 20cm 土层有机碳含量达 14.3g/kg，较整治前增长 21%，但 24% 区域因补偿标准不足(仅覆盖损失

的 53%) 出现复耕反弹<sup>[12]</sup>。

高标准农田建设在余干县示范区通过田块归并(平均面积从 0.3hm<sup>2</sup> 增至 1.2hm<sup>2</sup>)和生态沟渠建设(总长 126km)，使灌溉水利用系数从 0.45 提升至 0.62，粮食单产增长 18%。然而，土地平整导致表层土壤扰动深度 > 30cm，土壤有机

表 4 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值变化(2000 - 2023)

服务类型	2000 年 ESV(亿元)	2023 年 ESV(亿元)	变化率(%)	主导驱动因子
水源涵养	86.3	102.7	+19.0	湿地恢复 + 沟渠建设
土壤固碳	54.2	42.8	-21.0	土地平整 + 建设用地扩张
生物多样性	37.6	43.9	+16.8	候鸟栖息地修复
气候调节	28.4	22.1	-22.2	热岛效应 + 植被减少

碳密度下降 1.2g/kg,且化肥施用强度(412kg/ha)超过生态阈值 37%,导致下游水体总磷浓度超标 3 - 13 倍。空间计量模型显示,田块规整度每提升 10%,面源污染输出负荷增加 8.3%。

### 2.3 典型土地整治项目特征解析

基于修正当量因子法构建评估模型,量化 2000 - 2023 年 ESV 变化:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i)$$

其中,  $A_i$  为第  $i$  类土地利用面积,  $VC_i$  为价值系数(依据粮食单产调整)。

结果显示(表 4),土地整治使水源涵养价值累计增长 19.0%,但土壤固碳价值下降 21.0%,呈现显著服务权衡特征。

空间异质性分析表明:

(1)增益热点区:退田还湖工程区(如吴城镇)水源涵养价值增幅达 37%,生物多样性价值提升 28%;

(2)衰减热点区:南昌县等建设用地密集区土壤固碳价值下降 32%,气候调节价值衰减 24%;

(3)时空滞后性:湿地修复区的生物多样性价值在整治后第 3 年才显著提升(M - K 检验  $Z = 2.56$ ),而土壤功能恢复需 5 年周期。

### 2.4 生态响应机制的多尺度解析

在微观尺度上,土壤微生物量碳(MBC)在高标准农田整治后下降 29%,而退田还湖区 MBC 增长 18%(PLFA 法测定),其变化与有机质含量呈指数关系( $R^2 = 0.81$ )。

在中观尺度上,景观格局分析显示,土地整治使耕地斑块平均面积从 1.3hm<sup>2</sup> 增至 4.7hm<sup>2</sup>,但景观连接度指数(CONNECT)下降 0.15,导致

传粉昆虫丰度减少 23%。

在宏观尺度上,流域系统动力学模型表明,土地整治强度每增加 10%,湿地洪水调蓄能力提升 8.3%,但氮磷入湖负荷增加 12.7%,凸显多目标协同的复杂性<sup>[13]</sup>。

### 2.5 关键制约因素识别

在生态补偿缺陷方面,退田还湖补偿标准仅为实际经济损失的 53%,导致 24% 恢复区域出现复耕反弹(年均 3.2%);在技术应用瓶颈方面,遥感监测对非法矮围识别精度达 92%,但对农业面源污染扩散路径模拟误差 > 25%;在政策协同不足方面,23% 整治项目与生物多样性热点区重叠,生态保护红线管控效力仅发挥 31%<sup>[14]</sup>。

## 3 生态导向的土地整治优化策略

### 3.1 生态安全格局构建与分区调控

基于生态敏感性差异,将鄱阳湖生态经济区划分为三级管控分区:核心生态区(占全域 23%)严格禁止开发性整治,重点实施退田还湖与湿地修复工程,恢复自然水文节律并保护候鸟栖息地;缓冲协调区(41%)推行有机农田与生态沟渠建设,限制田块扰动深度( $\leq 20\text{cm}$ ),降低土壤扰动与面源污染风险;集约发展区(36%)通过建设用地立体开发(容积率  $\geq 2.5$ )和绿廊连通(宽度  $\geq 100\text{m}$ ),减少地表硬化与热岛效应,缓解生态空间挤压。

### 3.2 智能监测与动态评估技术集成

构建“空 - 天 - 地”一体化智能监测网络,集成高光谱遥感(波段数 = 224)反演土壤有机质含量、深度学习算法(U - Net 模型)自动识别非法矮围以及物联网传感器实时监测农田退水

表 5 不同整治类型优化策略实施效果

策略类型	实施区域	核心措施	生态增益率	经济成本(万元/km <sup>2</sup> )
湿地韧性修复	湖盆核心区	基底抬升 + 水位调控 + 沉水植物种植	+ 34%	480
低碳农田建设	平原农业区	秸秆深翻 + 有机肥替代 + 生态沟渠	+ 18%	210
立体开发整治	城乡过渡区	容积率提升 + 屋顶绿化 + 垂直农场	+ 9%	620

氮磷浓度等技术,提升监测精度与时效性。通过数据融合驱动 SWAT 模型优化面源污染扩散模拟,将误差率从 25% 降至 12%,实现生态风险的动态预警与精准评估。

### 3.3 生态补偿与利益协同机制创新

针对补偿标准不足与复耕反弹问题,建立多层次生态补偿机制。将退田还湖补偿比例从 53% 提高至 89%,覆盖农户实际经济损失,并通过“湿地银行”跨区域交易机制(1km<sup>2</sup> 湿地修复 = 120 万元信用额)促成南昌市与都昌县完成首笔 860 万元横向补偿。设立省级生态整治专项基金(首期规模 ≥ 5.6 亿元),优先支持碳汇增益型项目(如每吨 CO<sub>2</sub> 当量补贴 120 元),激励地方政府实施基底重塑与沉水植物种植(碳汇提升 0.8t/ha/km<sup>2</sup>)。同时,推广“年度评估 - 动态调整”机制,对补偿后复耕反弹率 > 3% 的区域启动强制退出程序,不同整治类型优化策略实施效果如表 5 所示。

### 3.4 多目标协同的技术创新

研发“土壤 - 水文 - 生物”协同技术包,破解粮食增产与生态退化的权衡矛盾。在退田还湖区采用蒙脱石 - 生物炭复合体改良剂,减少高标准农田土壤有机碳损失 42%,同时通过水位智能调控系统延长湿地淹水周期,使底栖生物量提升 56%。构建“田 - 塘 - 沟”三级净化系统,利用挺水植物(如芦苇)与滤食性鱼类(鲢鳙)的协同作用,将氮磷去除率提升至 78%,下游水体总磷浓度从超标 13 倍降至阈值内。城乡过渡区推广立体开发模式,通过容积率提升(≥ 2.5)与屋顶绿化减少地表硬化面积 23%,并结合垂直农场技术维持粮食产量增幅 18%。永修县示范项目表明,该技术包可使碳汇密度恢复至自然植

被的 85%,同时面源污染负荷降低 37%,实现多目标协同优化<sup>[16]</sup>。

### 3.5 政策协同与长效治理机制

推动土地整治与生态保护红线“多规合一”<sup>[17]</sup>,通过 GIS 叠加分析将项目选址重叠度从 31% 提升至 79%。建立“年度评估 - 动态调整”机制,利用 InVEST 模型量化各分区 ESV 变化,对整治后 3 年内生态增益未达预期(ΔESV < 15%)的区域启动工程优化。在省级层面设立生态整治专项基金(首期规模 = 5.6 亿元),优先支持碳汇增益型项目(每吨 CO<sub>2</sub> 当量补贴 120 元)。

## 4 结语

本研究揭示了土地整治对生态系统服务功能的双刃剑效应:退田还湖与湿地修复显著提升水源涵养和生物多样性,但高强度农田整治及建设用地扩张加剧土壤退化与生态失衡。通过分区调控、智能监测技术集成及生态补偿机制创新,可有效缓解“生产 - 生态”权衡矛盾。然而,研究仍存在局限性,如面源污染模拟精度不足、政策协同效应有待深化。未来需强化多学科交叉技术研发,探索碳汇增益型整治模式,并推动“多规合一”长效治理机制。研究成果为长江流域乃至全国生态敏感区土地整治优化提供了重要参考,助力实现“山水林田湖草”系统治理目标。

### 参考文献(References):

- [1] 袁明,唐丽芙,肖琴琳,等. 鄱阳湖湿地生态补偿试点成效、问题及建议[J]. 现代园艺, 2022, 45(17): 192 - 194.
- [2] 姚龙杰. 国土空间生态修复规划优先区域评估框

- 架整合优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [3] 宋梅. 优化国土空间布局服务乡村全面振兴[N]. 中国自然资源报, 2024-08-15(006).
- [4] 马珂. 国土空间规划背景下永久基本农田保护和布局优化浅析[J]. 华北自然资源, 2024, 22(02): 152-154.
- [5] 唐秀美, 刘敏, 吴悠, 等. 国土综合整治与生态修复对区域生态系统服务价值的影响评估[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 5974-5984.
- [6] 程建明, 姜媛, 刘汉军. 绿色矿山视野下地质矿产生态修复方法研究[J]. 冶金管理, 2023, 35(13): 29-31.
- [7] 姜鑫, 王鹏飞. 北京市乡村重构特征及其驱动机制探析[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(14): 191-193.
- [8] 李晓春, 董波. 对国土空间综合整治与生态修复的思考——以常州市金坛区为例[J]. 农村经济与科技, 2020, 3(13): 10-12.
- [9] 钱龙, 余可. 土地整治影响城乡收入差距吗?——以高标准农田建设为例[J]. 粮食经济研究, 2023, 31(01): 129-143.
- [10] 冷智花, 谭乐梅. 土地流转区域模式创新比较研究[J]. 粮食经济研究, 2020, 06(01): 105-114.
- [11] 唐秀美, 刘敏, 吴悠, 等. 国土综合整治与生态修复对区域生态系统服务价值的影响评估[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 5974-5984.
- [12] 李文龙, 林海英, 匡文慧. 北方农牧交错区乡村农牧户适应性演化机制——以内蒙古达茂旗农牧户为例[J]. 经济地理, 2020, 40(01): 150-163.
- [13] 胡晓玲, 何志刚, 温季. 土地整治建设项目规划设计要点[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(05): 58-60.
- [14] 张晨, 王娟, 刘莹, 等. 基于山水林田湖草系统治理观的生态保护与修复: 以河南省黄河故道—豫北平原为例[J]. 环境工程, 2023, 41(06): 54-61.
- [15] 明思雨, 赵锐锋, 贾志斌. 黄河流域城市虚拟土流动力核算及其空间网络分布分析[J]. 环境保护, 2023, 51(04): 68-74.
- [16] 轩欢欢, 乔家君, 张佳莹, 等. 河南省县域经济与乡村转型的空间特征及耦合关系[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2020, 50(02): 167-175+200.
- [17] 姜瑞, 朱逊, 马力. 基于生态空间格局优化的农田生态修复路径[J]. 黑龙江国土资源, 2024, 22(02): 23-31.

---

#### 作者简介:

第一作者/通讯作者: 郭家相, 1992年生, 男, 江西赣州人, 硕士, 上犹县自然资源局, 中级工程师, 主要研究方向为环境工程。Email: 1471166271@qq.com

---

## The Impact of Land Consolidation on Regional Ecosystem Services and its Optimization Strategies

GUO Jiexiang<sup>1\*</sup>, GUO Jiahua<sup>2</sup>

(1. Natural Resources Bureau of Shangyou County, Ganzhou City, Jiangxi Province; Ganzhou 341299, China;

2. Ganzhou City Land and Space and Planning Research Center, Ganzhou 341400, China)

**Abstract:** Taking Poyang Lake Ecological Economic Zone as a case study, this study systematically discussed the influence mechanism and optimization strategy of land consolidation on regional ecosystem service function (ESV). Based on multi-source remote sensing data, field sampling and model simulation, the differentiated effects of reclamation projects on water conservation, soil carbon sequestration and biodiversity were revealed. The results showed that returning farmland to lake significantly can improve water conservation capacity and biodiversity, but the high intensity farmland remediation will result in the decrease of soil organic carbon density and the intensification of non-point source pollution. The expansion of construction land can cause heat island effect and carbon sink attenuation (down to 28% of natural vegetation). Optimization strategies, such as zoning regulation, intelligent monitoring and ecological compensation, are proposed, and the results provide a scientific basis for coordinating land consolidation and ecological protection.

**Key words:** land consolidation; ecosystem service value; spatial heterogeneity; ecological compensation; poyang lake ecological economic zone