长江上游县域产业结构升级对生态环境的影响

陈光燕[1]，肖姝裕[2]，龙 雨[2]

（1. 四川农业大学管理学院，成都 611130；2. 四川农业大学经济学院，成都 611130）

摘要： 长江上游地区是重要的绿色生态屏障。利用长江上游地区328个县域2010—2020年的面板数据，建立双向固定效应模型和调节效应模型。结果表明：县域产业结构升级对生态环境有显著影响，其中产业结构合理化、产业结构高级化与生态环境质量之间存在“U”型关系；城镇化水平、经济活跃度越高，产业结构合理化正向促进生态环境质量的调节作用越明显；土地利用程度增强了产业结构高级化与生态环境之间的“U”型关系。异质性分析表明，在长江上游数字化普及水平较低的地区产业结构升级的影响更加明显。由此，提出因地制宜优化产业布局、分区施策推动产业园区化发展等建议。

关键词： 长江上游；县域产业结构升级；生态环境

中图分类号： F121.3；X321 **文献标志码：** A **文章编号：** 1671－1807(2026)01－0082－12

长江上游地区作为中国重要的生态屏障和水源涵养区，其生态安全直接关系到长江经济带可持续发展与国家生态安全战略全局。2016年中国明确提出“共抓大保护、不搞大开发”的长江经济带发展导向，并在《长江经济带发展规划纲要》中强调“生态优先、绿色发展”的核心定位。2021年《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》进一步要求，将生态保护与产业升级深度耦合，推动经济社会发展全面绿色转型。然而，长江上游县域的产业结构调整与生态环境演变的动态关系存在显著的复杂性。这一背景下，如何科学评估县域尺度产业结构升级的生态环境效应，成为破解生态保护与经济发展难题的重要命题。

长江上游地区覆盖11个省的328个县域，其生态系统服务价值占全流域的47.30%[1]，也承载着占流域总人口33.20%的居民生计需求[2]。2020年该区域工业增加值占GDP比重达26.29%[3]，2021年其单位GDP能耗平均值为0.58吨标准煤/万元[4]，较全国平均水平(0.48吨标准煤/万元)高出20.8%。与此同时，2021年长江上游水土流失面积仍高达117万km^2[5]。这种“高增长伴随高排放”的路径依赖，暴露出传统产业升级滞后与生态承载力阈值之间的尖锐矛盾。值得追问的是：县域产业结构的转型升级是否真正带来了环境质量改善？在政策驱动与地理特殊性的双重影响下，长江上游县域产业结构升级的生态效应是否存在多样化的路径？

既有研究多聚焦于宏观层面的产业结构与环境污染关联性分析，对以下两个维度的探讨相对较少：其一，县域作为政策落实的基本单元，其产业结构升级的动力机制与生态效应具有显著的地方性特征；其二，长江上游地区地形破碎、生态敏感度高，产业活动的空间集聚可能引发非线性生态影响。因此，基于普遍认识：产业结构升级与生态环境之间存在较强的互动关系，长期来看产业结构升级有利于生态环境质量的改善。现着眼于长江上游地区，从县域的研究视角出发，聚焦产业结构合理化和产业结构高级化两个角度，深入探究其对生态环境质量是否存在非线性影响关系；继而以城镇化水平、经济活跃度和土地利用程度为切入点，具体剖析产业结构升级对生态环境的影响机制，并提炼相关政策建议，为探寻产业结构升级促进生态环境改善的实践路径提供理论方案。这不仅关乎长江经济带发展战略的实施，还可以为全球大河流域可持续发展提供“中国样本”，具有深远的影响。

1 文献综述

产业结构合理化是指保持各个产业在国民经

收稿日期： 2025-04-27

基金项目： 国家社会科学基金一般项目(20BJY142)；四川农业大学本科生科研兴趣培养计划(20251907，20251911)

作者简介： 陈光燕(1990—)，男，四川仪陇人，博士，副教授，研究方向为农村反贫困与健康经济；肖姝裕(2003—)，女，云南昆明人，研究方向为农村反贫困与健康经济；龙雨(2004—)，女，四川达州人，研究方向为农村反贫困与健康经济。

济中的比例关系协调，依据发展需求实现生产要素在产业间的合理流动，最终达到产业结构与需求结构相适应的过程；产业结构高级化是指通过提高产业技术水平、增加产业附加值和优化产业结构，使产业结构不断向更高级状态发展的过程。

关于产业结构升级，学者们主要从指标测度、影响因素、作用评估等方面展开研究。在指标测度方面，大多数学者常利用二、三产业产值关系衡量产业结构升级[6-7]，在此基础上，徐峰和薛泽帅[8]额外引入了平均劳动生产率计算出产业结构升级指数；姜国新和武宇超[9]采用熵权法赋予产业结构高级化和产业结构合理化不同权重，计算产业结构综合发展指数；樊建强和谢靖雯[10]参照构建 Moore 结构变动指数的思路计算产业结构高级化，以泰尔指数的倒数来衡量产业结构合理化。随着研究深入，更多学者从产业结构合理化和产业结构高级化两个角度分别对产业结构升级水平展开测度。在影响因素方面，对外贸易、外商直接投资[11]、绿色金融[12]、数字经济[13]等均对中国产业结构升级产生了显著影响，可持续创业增长[14]、要素流动[15]、资源禀赋[16]和技术创新[17]在影响中起到了调节或中介作用，并且中国的低碳城市试点政策验证了环境规制对产业结构升级的非线性影响[18]。在作用评估方面，从生态效应角度梳理可以发现，产业结构升级正向促进生态效率提升[19]且具有正向空间溢出效应[20]，其中的直接效应与间接效应作用相反[21]，并且产业结构升级还调节了环境法规对空气污染的影响[22]；农业产业结构促进农业碳排放效率增强[23]，产业结构高级化和合理化均可以降低工业污染水平[24]，也会影响绿色经济增长效率[25]、生态福利绩效[26]，在长江流域中上游的影响具有明显的异质性[27]，同时，绿色全要素生产率[28]和企业社会责任[29]在减少碳排放过程中起到了调节作用。

目前与生态环境相关的研究主要包括其量化测度与影响因素分析。在测度方面，现有研究利用政府统计数据、卫星遥感数据、调研数据等数据，形成了遥感生态指数[30]、分类用地的生态环境质量指数[31]、生态环境发展水平[32]等表征指标。在影响因素方面，现有研究[33-38]已从产业融合、土地城市化、城镇化发展进程、数字金融的快速增长、气候变化背景等方面综合探究了多因素对生态环境的影响。

关于产业结构升级与生态环境之间的研究成果，主要包括二者之间的耦合协调关系和多视角下的影响关系两大方向。在耦合协调方面，长江流域与黄河流域是主要的研究区域。在资源约束与环境压力下，长江上游产业集约化程度低，产业优化升级相对落后[39]，阻碍了产业结构优化与生态环境的耦合协调程度上升[40-41]。在长江中游省会城市带动周围地级市形成的城市群中，产业结构与生态环境耦合协调度较高且呈现上升趋势[42]。然而，也有研究认为长江上游产业转型升级和生态环境质量耦合程度高于中下游[43]。在黄河流域，经济增长、产业发展与生态环境三者整体上尚未达到协同发展状态[44]。资源型城市通过工业混合效应推进工业结构发展进而提高生态环境水平，实现产业结构与生态环境的耦合度相对稳定[45]。在经济发达地区，产业结构升级与生态环境优化中的空间集聚效应更为明显[46]。在影响关系方面，不同的产业结构水平与地理因素使产业结构升级对生态环境产生了差异化的影响。随着第二产业比重趋于下降而第三产业比重不断提高，生态环境压力和状态都向积极方向变化[47]，正如工业结构演变是区域减排的主要途径，其对生态环境的压力不断下降[48]。沿海发达地区的环境污染与产业结构升级之间有着非线性关系，拐点之后的环境会随产业结构升级不断改善[49]。在空间溢出视角下，产业结构合理化和高级化对周边地区生态环境质量的影响分别呈“U”型和倒“U”型[50]。在长江流域，产业转移缓解了下游经济发达地区的环境压力，产业承接加剧了中游经济发展地区的环境压力而上游经济欠发达地区所受影响较小[51]；并且产业结构合理化和高级化对生态优化的影响具有替代关系，合理化水平的提高使得高级化的影响下降[52]。在黄河流域，产业结构合理化比产业结构高级化对生态环境产生更大的促进作用[53]。当下，“双碳”目标已在环境优化和产业升级中起到了正向调节作用[54]。长期来看，产业结构合理化和高级化在促进生态环境质量改善中的作用会逐步减弱[55]。

2　理论分析及研究假设

2.1　产业结构合理化对生态环境的影响

（1）资源要素优化配置。产业结构合理化要求各产业部门之间的资源要素配置不断趋向于帕累托有效率状态，资源利用效率的提高可以减少生态压力。从各产业内部来看，产业结构合理化的过程意味着有限资源能够按照各部门的实际需求和生产效率进行分配，实现帕累托改进。当产业结构合理化水平较低时，第一、二产业占比相对较高，能源消耗量和污染物排放量较多；当产业结构合理化水

平较高时，第二产业占比下降，通过科技进步和政策导向可以扶持并促进高效低耗能产业的发展；第三产业产值占比不断上升，通过技术创新实现高污染高能耗产业的生产要素疏解，实现生态环境质量的改善。随着产业结构合理化不断提高，有助于建立和完善产业间的资源循环利用体系，打通不同产业部门、上下游之间的资源循环链条，通过促进资源循环利用降低污染排放。

(2)产业区域布局优化。产业结构合理化配置推动不同产业在不同区域内集聚，形成区域产业分工统筹促进生物资源与环境承载能力的开发利用与保护。具体而言，当产业结构合理化水平较低时，产业聚集经济发挥共享效应、学习效应、技术效应不明显，单个企业的环境治理成本较高，产业内部、上下游企业之间的要素利用衔接机制不完善，产业链的发达程度较低使得运输过程中的能源消耗和污染物排放较高。当产业结构合理化水平较高时，根据要素禀赋理论，因地制宜发展地方特色产业，既可以避免因产业同质化发展而导致的资源过度开发、环境破坏和产业内部竞争加剧所引起的效率损失，还能够实现污染产业的区际转移和集中治理，通过区域间的产业转移支付机制补偿因产业转移而受到影响的地区，促进区域生态环境的整体优化。

(3)产业关联更加紧密、聚合质量提高。产业结构合理化过程意味着产业间的供需关系不断向动态平衡状态趋近，中间产品和最终产品的生产与消费能够有效衔接。当产业结构合理化水平较低时，从投入产出角度看，产业关联不强会使各产业的投入产出比居高，生产过程中的冗余环节和过度投入会耗费过多能源和加大污染物排放。当产业结构合理化水平较高时，产业关联更加紧密且表现为产业协同效应与克服外部性，产业协同强化了产业间资源共享与优势互补，从而提升整个产业体系的效率和竞争力，技术溢出和知识共享可以有效克服企业之间的外部性影响，实现产业的可持续发展。

基于上述分析，提出如下研究假设。

H1：产业结构合理化与生态环境质量之间存在“U”型关系。

2.2 产业结构高级化对生态环境的影响

(1)生产技术进步带动生态环境质量提升。产业结构高级化过程是生产技术发展进步的过程，当产业结构高级化水平较低时，煤炭等传统能源对产业结构调整的制约作用较强，二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放降低了大气环境质量。当产业结构高级化水平较高时，清洁能源的推广使用与技术的研发进一步降低了环境治理的成本、提高了治理效率，企业等社会主体在环境治理方面的投入产出比得到改善，其主动进行环境治理的积极性有所增强。技术创新还可以促进环境监测技术的发展，高精度的环境监测设备、大数据分析技术和卫星遥感技术等可以监测大面积的大气污染和土地利用变化[56]情况，有助于及时发现和解决生态环境问题。

(2)主导产业更迭带动产业生态转型。随着产业结构高级化，主导产业从传统的高污染、高能耗产业向新兴的生态友好型产业更迭。当产业结构高级化水平较低时，以低端制造业为主的主导产业附加值低而能源消耗量与排污量高，技术有限使能源利用效率相对较低，低端制造产业的发展加大了环境压力。当产业结构高级化水平较高时，新兴主导产业本身具有低碳环保特性并带动关联产业的生态化变革，同时主导产业更迭会引导社会资源向生态友好型产业流动，金融机构更倾向于为绿色产业提供资金支持，科研机构不断加大对新兴生态产业相关技术的研发投入，从而加速整个产业体系的生态转型。

(3)产业融合引领生态创新模式。产业融合是产业结构高级化的重要途径，不同产业结构高级化水平下具有不同的作用机制与表现形式。当产业结构高级化水平较低时，传统产业发展模式较为单一、创新动力相对不足以及资源利用效率有待提升，产业融合的深度与广度相对有限，对生态资源的统筹利用与有效保护程度较低。当产业结构高级化水平较高时，一方面，产业融合所产生的新业态、新模式具有生态保护优势，如生态农业与旅游产业融合而成的生态旅游农业模式将农业生产过程与旅游观光相结合，既提高了农业的附加值，又保护了农田生态系统；另一方面，产业融合拓展了生态资源的利用范围和方式，如传统手工产品制作与文创产品开发的融合使得生态资源的潜在经济价值得以实现，促进了地方特色生态资源的保护。

基于上述分析，提出如下研究假设。

H2：产业结构高级化与生态环境质量之间存在“U”型关系。

2.3 城镇化水平的调节作用

人口向城镇集聚会带动经济结构、社会结构以及生产生活方式的深刻变革。在城镇化初期，短期内大量产业和人口涌入城市，以资源型或劳动密集型产业为主的粗放型发展模式，加上企业的生产技术和管理水平相对落后，对资源的利用效率较低，同时城镇基

础设施与公共服务体系尚未健全,抑制了产业结构合理化在生态环境改善方面的积极作用发挥。尽管产业结构在合理化过程中,各产业之间的比例关系在不断优化,但高度城镇化伴随着产业规模的快速扩张,产业总体规模的增长可能导致对资源的过度需求,使得资源的消耗速度加快,超出了生态环境的承载能力,导致生态环境质量下降。在高度城镇化地区,高污染、高能耗的产业向外围区域转移也可能产生生态压力。例如,“万里长江第一县”,四川省宜宾市江安县工业园区[57]是首批四川省招商引资承接产业转移园区,规模以上工业企业超过 70 家,其中东片区以化工产业为主导。2021 年,中央第五生态环境保护督察组发现[58],该园区在长江干流 1 km 红线外违规建设了 5 个化工项目,5 年内累计转运工业废水量高达 268 万 t,对水域生态平衡构成了威胁。同时,园区内应急管理体系远不达标,因臭气问题被居民投诉 279 次,反映出部分企业在环境风险防范方面的薄弱与欠缺,增加了环境风险和潜在危害。因此,提出如下研究假设。

H3:在产业结构合理化与生态环境之间的倒“U”型关系中,城镇化水平会起到调节作用,随着城镇化水平提高,其正向促进的调节作用越明显。

2.4 经济活跃度的调节作用

区域经济活跃度的变化可以折射出区域经济的发展动态,包括产业的扩张、升级以及经济要素的集聚与扩散;也反映了社会生活的繁荣程度与公共服务供给的完善程度。

根据有关研究[59-60],当经济活跃度较低时,经济活动分散,产业集聚度低,以传统产业为主导的产业发展大量依赖自然资源,技术落后、资源粗放利用,企业间合作度松散、产业链的发展程度低,增加了生态压力,环境质量有所下降;同时,在社会生活方面,公共服务高质量供给能力不足,环境处理设施与技术水平有限,影响了生态环境质量。当经济活跃度较高时,区域内经济活动集聚程度较高,产业结构更为复杂。产业合理化初期虽经济增长快,与生态保护尚未达到平衡关系,但集聚效应、市场竞争与政府监管约束可以缓解环境质量下降。产业结构合理化后期阶段,高新技术与现代服务业主导,产业融合与协同创新加强,形成生态化产业体系,生态环境持续改善;社会生活上,居民对生态质量的要求促使政府加强环保建设,居民绿色消费观念引导企业生产绿色产品,形成产业发展与生态环境的良性循环。例如,重庆市奉节县实现从煤炭产业向以脐橙为代表的生态农业转变,综合产值超 65 亿元并且减少水土流失超 10 万 t[61],同时加强了生态环境治理,完成 170 个长江入河排污口全面整治并启动“无废城市”建设[62]。因此,提出如下研究假设。

H4:在产业结构合理化与生态环境之间的倒“U”型关系中,经济活跃度会起到调节作用,随着经济活跃度提高,其正向促进的调节作用越明显。

2.5 土地利用程度的调节作用

土地作为不可替代的生产要素,其供给数量、质量及空间分布直接影响产业发展方向与结构调整。科学合理的土地利用规划会减轻产业过度集中对生态环境的压力,土地集约利用促进产业高端化、智能化发展,减少资源浪费、提高土地产出效益;政府限制高污染、高耗能产业土地供应,通过对土地空间规划布局鼓励环保产业和高新技术产业发展,引导产业结构调整和优化。土地利用程度对产业结构高级化与生态环境关系的调节主要通过以下途径实现:其一,借助土地利用规划与市场机制,土地资源向生态效率优势及新兴产业倾斜;同时,土地资源优化配置促进产业协同,推动产业结构向更高层次演进,通过建设生态工业园区与拓展延伸产业链,可以实现资源循环利用与废弃物最小化,在产业结构层次不断提高的同时进一步提升生态环境质量。其二,政府面向环保产业和绿色产业给予土地优惠政策,通过土地环境规制政策会对土地利用过程中的环境影响进行限制和规范。政府划定生态红线、保护自然保护区等举措加强生态用地的保护,改变了土地利用结构,利于高端绿色产业的发展,进而推动产业结构的绿色转型。其三,合理的土地利用规划是产业集聚的空间载体,近年来中国国土空间规划倾向于将相关产业集中布局,形成产业园区或产业带,提高基础设施与公共服务配套服务能力,增强产业集聚效应,土地利用效率提高。产业集聚下,企业为保持竞争优势而加大研发投入,推动技术创新与产品升级,减少生产过程中的污染物排放,实现节能减排,推动产业结构向高端化、低碳化升级。同时,产业升级促使土地利用更高效,可腾出空间用于生态修复与绿化建设,进一步改善生态环境,形成产业发展与生态提升相互促进的良性循环。例如,云南省丽江市华坪县通过石漠化地区回填与芒果产业培植相结合的生态修复模式,将废弃矿区变为果园和生态用地,森林覆盖率达 72.66%,并且成功打造了国家地理标志产品,实现产业生态化、产业品牌化发展[63]。

因此，提出研究假说 H5：土地利用程度增强了产业结构高级化与生态环境之间的 U 型关系，即土地利用程度越高，其正向增强的调节作用越明显。

3 实证分析

3.1 变量选取与数据说明

3.1.1 被解释变量：遥感生态指数(RSEI)

遥感生态指数(RSEI)从湿度、绿度、热度、干度 4 个方面综合反映一个地区的生态环境状况。湿度指标衡量区域地表土壤、植被、水域湿润程度，需要对区域内大面积水体进行水体掩膜处理后获取；绿度指标由归一化植被指数表征，反映植被变化规律，衡量区域植被覆盖程度；热度指标由大气校正法反演后的地表温度表示，代表地表热辐射强度；干度指标表示区域干化程度，通过裸土指数和建筑指数计算反映出地表裸露程度。对 4 个指标进行归一化处理后，采用主成分分析法计算得到 RSEI 指数。

3.1.2 解释变量：产业结构合理化(TL)、产业结构高级化(AIS)

产业结构升级主要体现在产业结构高级化和合理化两个方面。产业结构合理化(TL)可以反映产业间结构转换能力和资源有效利用程度，借鉴干春晖等[64]的做法，用泰尔指数衡量产业结构偏离均衡状态的程度，公式为 $TL=\sum_{i=1}^{n}\frac{Y_i}{Y}\ln\frac{Y_i/L_i}{Y/L}$。其中 $i=1,2,3$，分别表示第一、第二、第三产业；Y、L 分别表示地区生产总值和三次产业总从业人员数；Y_i、L_i 分别表示第一、第二、第三产业增加值及对应的从业人员数。泰尔指数为逆向指标，泰尔指数越接近 0，表示产业结构越接近均衡状态，对泰尔指数进行负向指标标准化处理。产业结构高级化(AIS)衡量产业结构优化程度，参考张欣艳等[65]的测算方式，采用第三产业与第二产业的产值之比衡量。

3.1.3 调节变量

选取城镇化水平(URL)、经济活跃度(EA)、土地利用程度 (LU)作为调节变量。

城镇化水平(URL)是城镇人口占年末总人口的比率，反映了县域城镇人口的发展情况，是新型城镇化和产业结构升级背景下农村人口转变为城镇人口的直接体现，相较于以产业指标度量的经济城镇化或以建成区面积度量的空间城镇化，人口城镇化更符合县域城镇化的客观实际。

经济活跃度(EA)由夜间灯光数据表示，利用中国“类 DMSP-OLS”夜间灯光遥感数据集，按年度提取夜间灯光亮度平均值，以测算区域经济活动强度。

土地利用程度 (LU)是反映人类对土地实际开发利用程度的指标，表征人类对土地生态系统的干扰程度。参照古晋锴等[66]的相关研究，土地利用程度计算公式为 $LU=\sum_{i=1}^{n}(A_iP_i)$。其中，LU 为土地利用程度；$A_i$ 为各类型土地的利用程度分级指数，参考吴翠霞等[67]确定的数值，设置不透水面为 4，农田为 3，林地、灌丛、草地、水域、雪/冰、湿地为 2，荒地为 1；P_i 为各类型土地面积占总面积比。

3.1.4 控制变量

区域生态环境除了受到产业结构升级影响外，还可能受到其他因素影响。参考朱洪平[68]的研究，选择以下控制变量：地区经济发展水平(PGDP)，人均地区生产总值，用价格指数转换为以 2010 年为基期的实际值；政府干预强度(GOV)，地方财政一般预算支出与地区生产总值之比；城乡居民可支配收入差距(GAP)，农村居民人均可支配收入元与城镇居民人均可支配收入元之比；人口素质(EDU)，地区人口平均受教育年限；地区数字化发展程度(INFO)，年末总户数户中移动电话用户数户所占比例。为缩小量纲不一致带来的估计误差，对上述调节变量和控制变量均进行对数处理。

3.1.5 数据说明

计算遥感生态指数的基础数据来源于 GEE 云平台的 MODIS 数据集，经过严格校验与处理，具有较高的权威性和准确性；土地分类利用数据来源于中国年度土地覆盖数据集[69](CLCD)；计算经济活跃度的基础数据来源于施开放[70]公布的中国“类 DMSP-OLS”夜间灯光遥感数据集，空间分辨率为1 000 m，数据坐标系统为 WGS_1984_Albers，数据质量较优且能很好地覆盖研究的时间区间；其余数据均来源于长江上游地区 328 个县域 2010—2020 年(每 5 年取 1 期样本)的《统计年鉴》，确保数据的客观性和真实性。变量说明见表 1，变量描述性统计见表 2。

3.2 模型设定

3.2.1 基准模型

采用双向固定效应模型作为基准回归模型。为了验证产业结构合理化水平、产业结构高级化水平对生态环境质量的影响，构建如下基准模型：

$$\begin{aligned}RSEI_{i,t}=&\alpha_0+\alpha_1TL_{i,t}+\alpha_2AIS_{i,t}+\\&\alpha_3TLSQ_{i,t}+\alpha_4AISSQ_{i,t}+\\&\alpha_5Control_{i,t}+\lambda_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t}\end{aligned}\quad(1)$$

式中：$TL_{i,t}$ 和 $AIS_{i,t}$ 为解释变量一次项；$TLSQ_{i,t}$ 和 $AISSQ_{i,t}$ 为解释变量二次项，二者可以体现产业结

表 1　变量说明

变量类型	变量名称	变量符号	变量说明	单位
被解释变量	遥感生态指数	RSEI	见上文	—
解释变量	产业结构合理化	lnTL	泰尔指数	—
	产业结构高级化	lnAIS	第三产业增加值/第二产业增加值	%
调节变量	城镇化	lnURL	城镇人口/年末总人口	%
	经济活跃度	lnEA	见上文	—
	土地利用程度	lnLU	见上文	—
控制变量	地区经济发展水平	lnPGDP	人均地区生产总值	万元
	政府干预强度	lnGOV	地方财政一般预算支出/地区生产总值	%
	城乡居民可支配收入差距	lnGAP	农村居民人均可支配收入元/城镇居民人均可支配收入元	%
	人口素质	lnEDU	地区人口平均受教育年限	年
	地区数字化发展程度	lnINFO	移动电话用户数户/年末总户数户	%

表 2　变量描述性统计

变量	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
RSEI	984	0.677 7	0.127 2	0.300 2	0.841 6
lnTL	984	−0.185 1	0.533 5	−15.510 0	0.000 0
lnAIS	984	0.063 5	0.749 9	−1.961 7	2.973 3
lnTLSQ	984	0.318 6	7.674 0	0.000 0	240.560 1
lnAISSQ	984	0.565 8	0.941 7	0.000 0	8.840 3
lnPGDP	984	9.706 7	0.613 0	7.807 2	12.967 9
lnGOV	984	−1.321 1	0.846 7	−3.522 7	1.320 1
lnGAP	984	−0.786 6	0.543 8	−2.152 1	0.857 4
lnEDU	984	2.053 7	0.179 2	0.883 8	2.434 5
lnINFO	984	0.807 6	0.729 8	−2.824 9	3.641 9

构升级水平；$Control_{i,t}$ 为控制变量；α_0 为常数项；$\varepsilon_{i,t}$ 为随机误差项；$\alpha_1 \sim \alpha_5$ 为回归系数；λ_i、δ_t 分别为个体和时间固定效应。

3.2.2　调节效应模型

为研究城镇化水平、经济活跃度、土地利用程度在产业结构合理化、高级化与生态环境质量的关系中可能存在的调节效应，在基准模型的基础上，引入产业结构合理化分别与城镇化、经济活跃度的交乘项，引入产业结构高级化与土地利用程度的交乘项，构建如下调节效应模型：

$$RSEI_{i,t}=\beta_0+\beta_1 TL_{i,t}+\beta_2 AIS_{i,t}+\beta_3 TLSQ_{i,t}+\beta_4 AISSQ_{i,t}+\beta_5 URL_{i,t}+\beta_6 TL_{i,t}\times URL_{i,t}+\beta_7 TLSQ_{i,t}\times URL_{i,t}+\beta_8 Control_{i,t}+\lambda_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$RSEI_{i,t}=\beta_0+\beta_1 TL_{i,t}+\beta_2 AIS_{i,t}+\beta_3 TLSQ_{i,t}+\beta_4 AISSQ_{i,t}+\beta_5 EA_{i,t}+\beta_6 TL_{i,t}\times EA_{i,t}+\beta_7 TLSQ_{i,t}\times EA_{i,t}+\beta_8 Control_{i,t}+\lambda_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$RSEI_{i,t}=\beta_0+\beta_1 TL_{i,t}+\beta_2 AIS_{i,t}+\beta_3 TLSQ_{i,t}+\beta_4 AISSQ_{i,t}+\beta_5 LU_{i,t}+\beta_6 AIS_{i,t}\times LU_{i,t}+\beta_7 AISSQ_{i,t}\times LU_{i,t}+\beta_8 Control_{i,t}+\lambda_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中：$TL_{i,t}\times URL_{i,t}$、$TL_{i,t}\times EA_{i,t}$、$AIS_{i,t}\times LU_{i,t}$、$TLSQ_{i,t}\times URL_{i,t}$、$TLSQ_{i,t}\times EA_{i,t}$、$AISSQ_{i,t}\times LU_{i,t}$ 分别为产业结构合理化与城镇化、产业结构合理化与经济活跃度、产业结构高级化与土地利用程度的交乘项；β_0 为常数项；$\beta_1 \sim \beta_8$ 为回归系数。

3.3　基础回归分析

为进一步提升模型选择的科学性，依次选取固定效应模型、随机效应模型、双向固定效应模型逐一检验，结果见表 3。首先通过多重共线性检验确保核心解释变量与控制变量间的独立性，结果显示变量间的方差膨胀因子均小于 10，表明不存在多重共线性问题。其次，本文所用面板数据的时间点数量比截面数据量小，故不再进行面板单位根检验。再次，通过 Hausman 检验对比固定效应与随机效应模型，检验结果显示 Prob＞chi2，因此不选择随机效应模型。最后，双向固定效应模型同时控制了个体效应和时间效应，其系数是无偏的，因此本文的基准模型为双向固定效应模型。

根据表 3 列(5)和列(6)可以看出，不管是否加入控制变量，产业结构合理化、产业结构高级化的二次项回归系数在 1%水平上显著均为正，表明产业结构升级与生态环境质量之间呈现出“U”型关系。采用 Utest 检验法验证“U”型关系，产业结构合理化的检验结果显示 $P=0.002\ 14$，产业结构合理化的检验结果显示 $P=0.001\ 52$，均接受存在“U”型关系的备择假设。在产业结构合理化与生态环境质量的“U”型曲线中，将拐点值作对数转换并还原回标准化前的原始数据，得到产业结构合理化极值点为 2.390，其经济含义为：当产业结构合理化小于 2.390 且不断向 0 趋近时，生态环境质量随着产业结构的合理程度增加而逐渐提升；同理，在产业结构高级化与生态环境质量的“U”型曲线中，将拐点值作对数转换，得到产业结构高级化极值点为 1.945，其经济含义为：当产业结构高级化水平小于 1.945 时，生态环境质量随着产业结构的高级化水平增加而逐渐减小，当大于极值点 1.945 时，生态环境质量随着产业结构的高级化水平增加而逐渐上升。据此，假设 H1 与假设 H2 得以验证。

表 3　基础回归结果

变量	RSEI					
	固定效应模型		随机效应模型		双向固定效应模型	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnTL	0.098***	0.074***	0.097***	0.070***	0.078***	0.071***
	(0.023)	(0.024)	(0.019)	(0.020)	(0.023)	(0.023)
lnTLSQ	0.005***	0.004***	0.005***	0.004***	0.004***	0.004***
	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)
lnAIS	−0.059***	−0.049***	−0.055***	−0.044***	−0.022***	−0.014*
	(0.005)	(0.006)	(0.004)	(0.005)	(0.007)	(0.007)
lnAISSQ	0.016***	0.014***	0.012***	0.010***	0.014***	0.011***
	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)
lnPGDP		0.001		−0.023***		0.027**
		(0.010)		(0.009)		(0.011)
lnGOV		0.015*		−0.009		0.001
		(0.008)		(0.007)		(0.008)
lnGAP		−0.019***		−0.005		−0.014*
		(0.007)		(0.006)		(0.008)
lnEDU		0.098**		0.127***		0.167***
		(0.050)		(0.033)		(0.049)
lnINFO		−0.015**		−0.026***		−0.009
		(0.007)		(0.006)		(0.007)
常数项	0.689***	0.490***	0.691***	0.655***	0.684***	0.075
	(0.004)	(0.136)	(0.007)	(0.094)	(0.004)	(0.146)
样本数	984	984	984	984	984	984
R^2	0.197	0.220	0.064	0.147	0.883	0.887
个体固定	No	No	No	No	Yes	Yes
年份固定	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%的统计水平上显著；括号内为标准误。

3.4　内生性检验

采用系统广义矩估计（generalized method of moments，GMM）方法构建动态面板模型，通过引入滞后 1 期的遥感生态指数（L.RSEI）作为工具变量，以解决可能存在的内生性问题。Sargan 检验用于验证工具变量的外生性，当检验统计量对应的 P 值大于显著性水平时，表明工具变量不存在过度识别偏误。AR(1)和 AR(2)分别检验序列的一阶和二阶自相关，模型有效下应该存在一阶自相关而不存在二阶自相关。根据表 4，Sargan 检验结果为 0.128，可以接受工具变量有效的原假设，AR(1)的检验结果小于 0.1，AR(2)的检验结果大于 0.1，说明模型设定合理。因此，内生性检验结果表明，产业结构合理化、高级化的二次项系数均显著为正，与基准回归模型结果基本一致。

表 4　内生性检验结果

变量	(1)
	RSEI
L.RSEI	0.096 6***(0.025 4)
lnTL	0.080 5***(0.014 8)
lnTLSQ	0.013 9***(0.002 9)
lnAIS	−0.025 2***(0.007 2)
lnAISSQ	0.006 1**(0.002 6)
lnPGDP	−0.007 4(0.010 0)
lnGOV	−0.001 0(0.006 0)
lnGAP	−0.001 8(0.011 8)
lnEDU	0.058 3***(0.021 4)
lnINFO	−0.015 8***(0.004 4)
常数项	0.687 9***(0.108 1)
AR(1)	0.000
AR(2)	0.208
Sargan	0.128

注：***、** 分别表示在 1%、5%的统计水平上显著；括号内为标准误。

3.5　稳健性检验

采用逐步回归法和剔除县级市样本的方式检验结果的稳健性。依次加入控制变量，并采用前文的双向固定效应模型进行回归，结果见表 5 列(1)～列(6)。产业结构合理化、高级化的二次项回归系数在 1%水平上均显著为正，与前述基准回归结果一致。此外，因县级市的产业结构升级水平与其他区县之间可能存在较大差异，因此从全样本剔除县级市样本，结果见表 5 列(7)、列(8)，产业结构合理化、高级化的二次项回归系数在 1%的水平上均显著为正，再次检验了结论的稳健性。

表 5　稳健性检验结果

变量	RSEI							
	逐步回归						剔除县级市样本	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
lnTL	0.078***	0.076***	0.076***	0.073***	0.075***	0.071***	0.075***	0.064***
	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.023)	(0.024)	(0.024)
lnAIS	−0.022***	−0.017**	−0.018**	−0.016**	−0.015**	−0.014*	−0.018***	−0.008
	(0.007)	(0.007)	(0.007)	(0.007)	(0.007)	(0.007)	(0.007)	(0.008)
lnTLSQ	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***
	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)
lnAISSQ	0.014***	0.013***	0.013***	0.013***	0.011***	0.011***	0.014***	0.010***
	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)
lnPGDP		0.025**	0.025**	0.026**	0.026**	0.027**		0.031***
		(0.011)	(0.011)	(0.011)	(0.011)	(0.011)		(0.011)
lnGOV			0.002	0.001	−0.001	0.001		0.003
			(0.008)	(0.008)	(0.008)	(0.008)		(0.009)
lnGAP				−0.009	−0.014*	−0.014*		−0.017**
				(0.008)	(0.008)	(0.008)		(0.008)
lnEDU					0.157***	0.167***		0.170***
					(0.048)	(0.049)		(0.050)
lnINFO						−0.009		−0.013*
						(0.007)		(0.008)
常数项	0.684***	0.445***	0.442***	0.425***	0.097	0.075	0.683***	0.031
	(0.004)	(0.103)	(0.103)	(0.104)	(0.145)	(0.146)	(0.005)	(0.149)
样本数	984	984	984	984	984	984	915	915
R^2	0.883	0.884	0.884	0.885	0.886	0.887	0.884	0.888
adj. R^2	0.823	0.825	0.824	0.825	0.827	0.827	0.825	0.829

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%的统计水平上显著；括号内为标准误。

3.6　异质性分析

利用所研究县域 2010—2020 年平均每百户宽带接入户数表征数字化普及水平，逐年以各县域的数字化普及水平的中位数为标准，分为 474 个低数字化普及水平地区样本与 473 个高数字化普及水平地区样本。异质性分析结果见表 6。

在低数字化普及水平地区，产业结构合理化与高级化与生态环境质量之间有显著的“U”型关系且与基准回归结果一致，意味着当产业结构合理化与高级化达到一定程度时，生态环境将随该程度的提高而不断优化。这可能是因为在数字化水平较低的初始阶段，产业结构调整依赖于生产要素的量的扩张，制造业的膨胀发展增加了能源消耗与污染排放，初级形态的服务业兴起产生了低效的空间占用。但随着产业合理化程度的提升，生产要素逐步向技术与资本密集型领域转移，生态环境压力不断下降；同时，当产业结构高级化突破拐点后，知识溢出效应与绿色技术扩散形成正反馈机制，再配合环境规制政策，最终实现了产业结构升级与生态质量改善的协同。

在高数字化普及水平地区，产业结构高级化与生态环境质量之间的“U”型关系不显著，很可能是因为该地区已越过拐点，产业结构高级化已进入对生态环境质量产生正向影响的阶段。数字化的深度渗透得以重构产业生态系统的运行逻辑，源于数字技术工具的普遍使用优化了生产流程，同时服务业数字化转型催生出的低碳新业态也优化了能源结构与使用效率。因此，一定程度的数字化水平打破了传统环境库兹涅茨曲线的约束条件，加速了技术数字化转型的迭代，使得产业结构高级化与生态改善保持长期线性正相关。至于产业结构合理化与生态环境质量之间变为倒“U”型，可能是在长期中，当生态环境质量居于高位水平时，会产生动态波动。这种非线性关系的形成可能源于以下机制的交互作用：首先，产业系统与生态系统的协同演进存在阶段性阈值，当产业结构合理化程度超过最优规模时，产业协同效应可能转化为新的环境压力源。其次，受限于生态承载力的刚性约束，产业结构合理化的边际生态效益最终呈现递减趋势。最后，环境质量的持续改善会诱发企业和居民环保行为的松弛化，带来环境治理投入的边际成本递增。

3.7　机制检验

3.7.1　基于城镇化水平的调节效应检验

表 7 中列(1)的结果显示，二次交互项系数显著为负值，则说明城镇化水平使得曲线更加陡峭；产业

表 6　异质性分析结果

变量	RSEI	
	低数字化普及水平	高数字化普及水平
lnTL	0.099***	−0.031
	(0.035)	(0.047)
lnTLSQ	0.006***	−0.050*
	(0.002)	(0.030)
lnAIS	−0.064***	0.012
	(0.012)	(0.009)
lnAISSQ	0.025***	0.003
	(0.007)	(0.003)
lnPGDP	−0.014	0.024
	(0.016)	(0.015)
lnGOV	0.029*	−0.010
	(0.015)	(0.009)
lnGAP	−0.013	−0.023**
	(0.013)	(0.010)
lnEDU	0.240**	0.100**
	(0.099)	(0.050)
lnINFO	−0.030***	0.025**
	(0.009)	(0.011)
常数项	0.392	0.160
	(0.246)	(0.178)
样本数	474	473
R^2	0.896	0.921
adj. R^2	0.836	0.874

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%的统计水平上显著；括号内为标准误。

结构合理化一次项回归系数符号与基准回归结果一致，产业结构合理化二次项回归系数符号与基准回归结果相比由正变负，产业结构合理化二次项与城镇化水平的交互项系数显著为负，表明在产业结构合理化与生态环境质量之间的倒“U”型关系中，城镇化水平发挥了显著的调节作用，即城镇化水平越高，其正向促进的调节作用越明显。据此，假设 H3 得以验证。

3.7.2　基于经济活跃度的调节效应检验

表 7 列(2)报告了经济活跃度的调节效应。结果显示，加入产业结构合理化与经济活跃度交互项之后，二次交互项的影响系数与产业结构合理化二次项的估计系数符号同为负号，这表明在产业结构合理化与生态环境质量之间的倒“U”型关系中，经济活跃度发挥了调节作用，即经济活跃度越高，其正向促进的调节作用越明显。据此，假设 H4 得以验证。

3.7.3　基于土地利用程度的调节效应检验

参照 Hanns 等[71]的研究，“U”型关系的调节效应主要体现在加入调节变量后的“U”型曲线与原曲线相比其拐点是否发生移动、曲线陡度(开口大小)和曲线形状(开口方向)的变化。根据模型(4)和表 7列(3)，$\beta_2\beta_7 > \beta_4\beta_6$ 说明曲线拐点向右发生偏移。系数 β_7 和系数 β_4 同为正号，说明曲线变得更加陡峭。回归结果显示，产业机构高级化一次项和二次项的回归系数分别为 −0.019、0.009，分别在 1%、5%水平上显著，两者与土地利用程度交互项的回归系数分别为 −0.336、0.110，均在 1%水平上显著，说明土地利用程度正向强化了产业结构高级化与生态环境质量之间的“U”型关系，且使得产业结构高级化对生态环境质量的正向作用延后出现。据此，假设 H5 得以验证。

表 7　3 种调节效应检验结果

变量	RSEI		
	(1)	(2)	(3)
lnTL	0.070***	−0.008	0.015
	(0.024)	(0.040)	(0.021)
lnTLSQ	−0.014*	−0.064*	0.001
	(0.008)	(0.034)	(0.001)
lnAIS	−0.015**	−0.015**	−0.019***
	(0.007)	(0.007)	(0.006)
lnAISSQ	0.010***	0.011***	0.009**
	(0.003)	(0.003)	(0.004)
lnURL	−0.016		
	(0.026)		
lnTL×lnURL	−0.173**		
	(0.074)		
lnTLSQ×lnURL	−0.190**		
	(0.082)		
lnEA		−0.010*	
		(0.006)	
lnTL×lnEA		−0.030**	
		(0.013)	
lnTLSQ×lnEA		−0.019**	
		(0.010)	
lnLU			−0.061
			(0.177)
lnAIS×lnLU			−0.366***
			(0.027)
lnAISSQ×lnLU			0.110***
			(0.023)
lnPGDP	0.023**	0.025**	0.003
	(0.011)	(0.011)	(0.010)
lnGOV	−0.002	0.002	0.000
	(0.008)	(0.008)	(0.007)
lnGAP	−0.015*	−0.014*	−0.008
	(0.008)	(0.008)	(0.007)
lnEDU	0.143***	0.171***	0.079*
	(0.050)	(0.050)	(0.043)
lnINFO	−0.010	−0.011	−0.016**
	(0.007)	(0.007)	(0.006)
常数项	0.150	0.082	0.356
	(0.162)	(0.149)	(0.383)
样本数	984	984	984
R^2	0.888	0.888	0.914
adj. R^2	0.829	0.828	0.868

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%的统计水平上显著；括号内为标准误。

4 研究结论与政策建议

以产业结构合理化和产业结构高级化为切入点，利用长江上游地区328个县域2010—2020年的面板数据，将产业结构升级与生态环境统筹考虑，先通过理论分析梳理其间可能存在的影响关系，再依次选择城镇化水平、经济活跃度、土地利用程度3个调节变量，采用调节效应模型实证检验探究其中的作用路径。得到以下研究结论：①县域产业结构升级对生态环境有显著影响，其中产业结构合理化、产业结构高级化与生态环境质量之间存在“U”型关系，产业结构合理化水平、高级化水平处于较低阶段时会抑制生态环境质量，产业结构合理化水平、高级化水平达到一定程度时会促进生态环境质量的提升；②在产业结构合理化与生态环境质量之间的倒“U”型关系中，城镇化水平、经济活跃度都发挥了调节作用，即城镇化水平、经济活跃度越高，其正向促进的调节作用越明显；③土地利用程度在产业结构高级化对生态环境的影响中起到了正向调节作用，土地利用程度增强了产业结构高级化与生态环境之间的“U”型关系，随着土地利用程度的提高，“U”型曲线变得更为陡峭，且使得产业结构高级化对生态环境质量的正向作用延后出现；④异质性分析表明，产业结构升级对生态环境质量的先抑制后促进作用在长江上游数字化普及水平较低的地区更加明显。

据此，提出如下政策建议：①因地制宜优化产业布局，分区施策推动产业园区化发展。对于产业结构尚处于较低水平阶段的地区，需强化技术转型以减污增效；在产业集聚程度较高地区，应充分发挥资源共享效应、技术创新效应和知识管理溢出效应对生态环境质量提升的积极作用，实现产业发展与生态保护的良性互动。②推动落地以人为中心的新型城镇化战略，提高资源配置效率与经济效益。③提高广大居民的社会活动参与度，推动多样化经济形态的融合发展。④推广立体用地模式，盘活闲置资源，严守生态红线并动态优化三产用地比例，以促进人口、产业与生态环境的协调发展。

参考文献

[1] 方一平，朱冉. 推进长江经济带上游地区高质量发展的战略思考[J]. 中国科学院院刊，2020，35(8)：988-999.

[2] 推动长江经济带发展网. 经济社会发展概况[EB/OL]. (2019-07-13)[2025-05-19]. https://cjjd.ndrc.gov.cn/zoujinchangjiang/jingjishehuifazhan/201907/t20190713_941469.htm.

[3] 李益，罗胤晨，李兆辉，等. 城市工业生态集聚空间分异驱动因子及溢出效应研究：基于长江上游地区33城市的实证分析[J]. 长江流域资源与环境，2024，33(9)：1874-1887.

[4] 罗胤晨，薛琴，周贤能，等. 构建长江上游地区现代化生态产业体系：内涵特征、基础制约与推进策略[J]. 区域经济评论，2024(3)：125-134.

[5] 赵玲，王世明. 长江经济带生态多元协同治理探析[J]. 西南林业大学学报(社会科学)，2023，7(6)：10-16.

[6] 时乐乐，赵军. 环境规制、技术创新与产业结构升级[J]. 科研管理，2018，39(1)：119-125.

[7] 刘春志，杨瑞桐. 银行业市场结构、企业创新与产业结构升级[J]. 科技进步与对策，2020，37(16)：81-89.

[8] 徐峰，薛泽帅. 工业机器人应用与产业结构升级[J/OL]. 工程管理科技前沿，1-10[2025-03-19]. https://link.cnki.net/urlid/34.1013.N.20241223.1713.002.

[9] 姜国新，武宇超. 新质生产力提升能源效率的机制与效应研究[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版)，2025，27(3)：140-157.

[10] 樊建强，谢靖雯. 高速公路对绿色经济效率的影响分析：基于产业结构优化视角[J]. 生态经济，2025，41(1)：114-122.

[11] WANG S L，CHEN F W，LIAO B，et al. Foreign trade，FDI and the upgrading of regional industrial structure in China：based on spatial econometric model[J]. Sustainability，2020，12(3)：815.

[12] YUAN M，SHI Z，TANG D，et al. Synergistic relationship between green finance and industrial structure upgrade in the yangtze river economic belt[J/OL]. Frontiers in Environmental Science，2024，12[2025-03-13]. https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2024.1475497/full.

[13] WANG J. The impact of digital economy development on industrial structure upgrading[J]. Information Systems and Economics，2024，5(4)：132-137.

[14] DEEVI D P，ALLUR N S，DONDAPATI K，et al. The impact of the digital economy on industrial structure upgrading and sustainable entrepreneurial growth[J/OL]. Electronic Commerce Research，2024[2025-03-13]. https://doi.org/10.1007/s10660-024-09907-5.

[15] JIAO Y，WANG G，LI C，et al. Digital inclusive finance，factor flow and industrial structure upgrading：evidence from the yellow river basin[J]. Finance Research Letters，2024，62：105141.

[16] QIU Q，ZHANG R. Impact of environmental effect on industrial structure of resource-based cities in western China[J]. Environmental Science and Pollution Research，2023，30(3)：6401-6413.

[17] TANG D，YAN J，SHENG X，et al. Research on green finance，technological innovation，and industrial structure upgrading in the yangtze river economic belt[J]. Sustainability，2023，15(18)：13831.

[18] ZHAO K，GAO Y，LIU X. The impact of environmental regulation on industrial structure upgrading：a case study of low carbon city pilot policy[J]. Energy Policy，2025，197：114432.

[19] 黎振强，游肖月. 数字经济发展、产业结构升级对长江经济带生态效率的影响效应[J]. 长江流域资源与环境，2024，33(8)：1624-1636.
[20] 唐哲，魏修建. 西南地区产业结构升级与生态环境耦合协调发展研究[J]. 西藏大学学报(社会科学版)，2022，37(2)：204-213.
[21] 张晨露，张凡. 生态保护、产业结构升级对碳排放的影响：基于长江经济带数据的实证[J]. 统计与决策，2022，38(3)：77-80.
[22] LIU Y，XIE C N，WANG Z S，et al. The role of industrial structure upgrading in moderating the impact of environmental regulation on air pollution：evidence from China[J]. Atmosphere，2023，14(10)：1537.
[23] WU R，YU G，CAO Y M. The impact of industrial structural transformation in the Yangtze River economic belt on the trade-offs and synergies between urbanization and carbon balance[J]. Ecological Indicators，2025，171(2)：113165.
[24] SUN K，LIU C，YANG Z，et al. The impact of industrial structure on the environment pollution and its spatial-temporal differences in Henan，China[J]. Journal of Cleaner Production，2022，381：135127.
[25] 孟望生，邵芳琴. 黄河流域环境规制和产业结构对绿色经济增长效率的影响[J]. 水资源保护，2020，36(6)：24-30.
[26] YU S，LIU D，GAO J. Can't have your cake and eat it too? the impact of digital infrastructure construction on urban ecological welfare performance：a quasi-natural experiment based on the "Broadband China" Strategy[J]. Land，2024，13(12)：2125.
[27] ZHOU B，ZHOU F，ZHOU D，et al. Improvement of environmental performance and optimization of industrial structure of the Yangtze River economic belt in China：going forward together or restraining each other? [J]. Journal of Chinese Governance，2021，6(3)：435-455.
[28] 杨锾泽，邓琨. 产业结构升级对碳排放的影响研究：基于绿色全要素生产率视角[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版)，2024，26(5)：153-160.
[29] DENG J，ZHANG R，QIU Q. Spatial impact of industrial structure upgrading and corporate social responsibility on carbon emissions：evidence from China[J]. Sustainability，2023，15(13)：10421.
[30] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学，2013，33(5)：889-897.
[31] 张业航，钟诗婷，张峻，等. 长江上游农业结构调整对生态环境效应的研究：以重庆为例[J]. 农业与技术，2024，44(16)：79-86.
[32] 程莉，严月岑，田泽升. 农村产业融合对生态环境的多维影响效应研究：以长江经济带为例[J]. 农业经济与管理，2024(4)：105-120.
[33] 毕佳港，诸培新，张明斗，等. 土地城市化对生态环境质量的影响研究：基于"本地-邻地"视角的分析[J]. 地理科学进展，2023，42(10)：2033-2046.
[34] 陈辅国，郭爱请，武爱彬，等. 京津冀城市群城市扩张格局演变及其对生态环境质量的影响[J]. 环境科学，2025，46(6)：3708-3719.
[35] 肖攀，苏静. 城镇化对生态环境质量影响的实证研究：以环洞庭湖区为例[J]. 财经理论与实践，2019，40(1)：150-155.
[36] 徐莹，欧阳曦. 绿色债券政策对农村生态环境发展的影响：基于收入的调节效应分析[J]. 金融理论与实践，2023(4)：58-65.
[37] 刘潭，徐璋勇，张凯莉. 数字金融对经济发展与生态环境协同性的影响[J]. 现代财经(天津财经大学学报)，2022，42(2)：21-36.
[38] 邹易，赵一阳，蒙吉军. 气候变化背景下黑河流域"三生"空间转型对生态环境质量的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版)，2024，60(3)：528-538.
[39] 马鹏翔. 基于能源视角的长江上游产业结构调整研究[D]. 重庆：重庆工商大学，2013，
[40] 赵秀云，李业锦，李倩，等. 产业转型升级与生态环境交互耦合关系定量测度研究：以我国产业转型升级示范区为例[J]. 中国市场，2022(7)：6-10.
[41] 崔木花. 长江经济带产业优化升级与生态环境质量耦合协调发展研究[J]. 湖北经济学院学报，2020，18(4)：101-108.
[42] 温彦平，王雪峰. 长江中游城市群城镇化视角下产业结构与生态环境耦合协调关系研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版)，2019，53(2)：263-271.
[43] 高威. 产业转型升级与生态环境质量耦合效应的实证分析：基于长江经济带11省(市)数据的检验[J]. 当代经济，2021(6)：34-40.
[44] 任保平，杜宇翔. 黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系[J]. 中国人口·资源与环境，2021，31(2)：119-129.
[45] LIU K，FAN X，YANG X，et al. Research on the coordinated development of resource-based cities in Sichuan Province：from the perspective of industrial structure and ecological environment[J]. Frontiers in Environmental Science，2023，11：1194584.
[46] 徐晓光，寇佳丽，郑尊信. 产业结构升级与生态环境优化的耦合协调[J]. 宏观经济研究，2022(8)：131-156.
[47] 徐福英，刘涛. 产业结构调整与生态环境质量的实证研究：基于山东省2001—2012年的数据分析[J]. 山东工商学院学报，2015，29(4)：37-43.
[48] 崔木花. 安徽省产业结构演变的生态环境效应[J]. 经济地理，2020，40(8)：131-137，152.
[49] 马骏，胡博文. 东部沿海地区环境污染与产业结构升级的关系：基于环境库兹涅茨曲线假说的检验[J]. 资源与产业，2019，21(1)：39-44.
[50] ZHAI X，CHEN Z，TAN C，et al. Heterogeneity analysis of industrial structure upgrading on eco-environmental quality from a spatial perspective：evidence from 11 Coastal Provinces in China[J]. Sustainability，2023，15(21)：15236.
[51] 付薛刚. 长江经济带产业升级的环境效应研究[J]. 山西农经，2019(5)：96-97.
[52] 李强. 产业升级促进了生态环境优化吗？基于长江经济

带108个城市面板数据的分析[J]. 财贸研究，2018，29(12)：39-47.
[53] 马晓翱. 黄河流域生产性服务业集聚对生态环境的影响研究[D]. 郑州：河南工业大学，2023.
[54] 匡后权，邓玲，李海英，等. “双碳”目标约束下生态环境优化与产业升级的互动协调研究：基于川渝地区的经验证据[J/OL]. 重庆大学学报(社会科学版)，1-13[2025-03-22]. https://link.cnki.net/urlid/50.1023.C.20230707.1234.002.
[55] 王祖山，姚欣雨. 长江经济带的产业结构调整与生态环境发展：基于面板向量自回归模型的证据[J]. 中南民族大学学报(人文社会科学版)，2022，42(6)：137-145，187.
[56] 薛建春，张安录，曹力博，等. 黄河流域产业集聚与产业结构对城市土地利用效率的影响效应研究[J]. 统计与决策，2023，39(14)：119-124.
[57] 江安县人民政府. 投资政策[EB/OL]. (2022-02-25)[2025-05-19]. https://www.ybja.gov.cn/zjja/tzja/tzzc/202202/t20220225_1704873.html.
[58] 四川省人民政府. 典型案例丨四川省宜宾市江安县工业园区环境风险问题突出[EB/OL]. (2021-10-10)[2025-05-19]. https://www.sc.gov.cn/10462/c108659/2021/10/10/0259a8216af4423db80ab162d539ab25.shtml.
[59] 原毅军，谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J]. 科学学研究，2015，33(9)：1340-1347.
[60] 刘习平，盛三化. 产业集聚对城市生态环境的影响和演变规律：基于2003—2013年数据的实证研究[J]. 贵州财经大学学报，2016(5)：90-100.
[61] 重庆市人民政府. 践行“两山”理念 书写三峡生态传奇 奉节 从“煤城”到“橙都”探索“两山”转化新路径[EB/OL]. (2025-04-28). [2025-05-19]. https://www.cq.gov.cn/ywdt/zwhd/qxdt/202504/t20250428_14565824.html.
[62] 七一网(中共重庆市委党建门户网站). 重庆奉节：实干稳固长江上游重要生态屏障 实绩交出生态环境高分报表[EB/OL]. (2024-05-15)[2025-05-19]. https://www.12371.gov.cn/Item/650683.aspx.
[63] 云南省自然资源厅. 丽江市华坪县“去黑增绿”转型发展生态产品价值实现案例[EB/OL]. (2024-04-19)[2025-05-19]. https://dnr.yn.gov.cn/html/2024/dxjy_0419/46124.html.
[64] 干春晖，郑若谷，余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究，2011，46(5)：4-16，31.
[65] 张欣艳，谢璐华，肖建华. 政府采购、数字经济发展与产业结构升级[J]. 当代财经，2024(3)：43-55.
[66] 古晋锴，李晴婉，李庆琳，等. 2000—2020年西藏土地利用变化分析[J/OL]. 草地学报，2024[2025-03-02]. https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=CDXU20241010004.
[67] 吴翠霞，颉继珍，包琼，等. 1990—2022年甘南州土地利用变化分析[J]. 甘肃林业科技，2024，49(1)：19-25.
[68] 朱洪平. 基于SDM模型的产业结构升级对生态环境质量影响分析[D]. 广州：广东工业大学，2021.
[69] YANG J，HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data，2021，13(8)：3907-3925.
[70] 施开放. 多尺度视角下的中国碳排放时空格局动态及影响因素研究：基于DMSP-OLS夜间灯光遥感数据的分析[D]. 上海：华东师范大学，2017.
[71] HAANS R F J，PIETERS C，HE Z. Thinking about U：theorizing and testing U-and inverted U-shaped relationships in strategy research[J]. Strategic Management Journal，2016，37(7)：1177-1195.

Impact of Industrial Structure Upgrading in Counties of Upper Yangtze River on Ecological Environment

CHEN Guangyan[1]，XIAO Shuyu[2]，LONG Yu[2]

(1. School of Management，Sichuan Agricultural University，Chengdu 611130，China；
2. School of Economics，Sichuan Agricultural University，Chengdu 611130，China)

Abstract：The upper reaches of the Yangtze River is an important green ecological barrier. Using the panel data of 328 counties in the upper reaches of the Yangtze River from 2010 to 2020，a two-way fixed-effects model and a moderating-effects model are established. The results show that the upgrading of county industrial structure has a significant impact on the ecological environment，in which there is a U-shaped relationship between the rationalization of industrial structure，the advanced industrial structure and the quality of the ecological environment. The higher the level of urbanization and economic activity，the more obvious the moderating effect of industrial structure rationalization on positively promoting ecological environment quality. The degree of land use enhances the U-shaped relationship between industrial structure advancement and the ecological environment. Heterogeneity analysis shows that the impact of industrial structure upgrading is more obvious in areas with a lower level of digital penetration in the upper reaches of the Yangtze River. As a result，suggestions are put forward such as optimizing the industrial layout according to local conditions and promoting the development of industrial parks through zoning.

Keywords：Upper Yangtze River；industrial structure upgrading at the county level；ecological environment