

近 30 年三峡库区用地格局变化与人地系统演化

刘彦随^{1, 2} 璩路路^{1, 31}

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049;

3. 重庆大学 公共管理学院, 重庆 400044)

【摘要】: 中国三峡工程建设造就了三峡库区、带来了区域土地利用的显著变化。探究三峡库区用地格局及其演变规律, 对于优化国土空间布局、创新人地系统调控路径具有重要的理论价值和现实意义。基于 1990~2020 年三峡库区系列遥感影像数据, 利用空间探测、统计分析等方法, 揭示了近 30 年三峡库区用地格局变化, 探明了主导驱动机制和实现库区人地系统协调路径。研究表明: (1) 近 30 年来三峡库区以耕地和林地为主体景观, 平均占比分别为 37.64%、47.12%, 建设用地占比<2%, 林地、草地、水域等具有重要生态功能的生态用地占比高达 60%。(2) 研究区以长江为带状中心向边缘地带, 各用地类型具有明显的梯度变化特征, 林地占比增多, 连接度降低, 形状趋于规则并呈整体化趋势, 而建设用地和耕地斑块破碎但聚集度增强。(3) 1990~2020 年间, 研究区耕地、草地分别减少 4.01%、21.27%, 林地和建设用地分别增加 2.48%、477.4%, 整体景观趋于破碎化、景观多样性升高, 在以人文和政策因素为主的驱动下, 表现为生态恢复趋势, 总体呈现生态经济复合型转变, 人地关系也从不协调的矛盾状态趋向协调共生。(4) 三峡库区实现人地系统协调路径为创新“三化”(系统化、集约化、高效化)战略体系, 优化“三生”(生产、生活、生态)空间, 促进地域空间重构与功能整合, 实现“三态”(质态、形态、业态)相对平衡; 创设立体生态产业化区域集成路径, 推动库区人地系统耦合与协调发展; 创建库区人地系统协同观测体系, 推进监测网络化、地理工程化、决策智能化; 构建关键要素地段多级联管控体系, 全面提升区域系统多尺度多情景多途径综合应对能力。

【关键词】: 现代人地关系 用地格局变化 人地系统协调 人地系统科学 三峡库区

【中图分类号】: TP751 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)08-1664-13

随着地球进入“人类世”(Anthropocene)新纪元, 人文过程日益成为地表系统变化与响应的主导因素, 全球变化和人类活动驱动下的资源与环境压力日趋严峻^[1,2]。土地是人类赖以生存与发展重要的物质基础, 土地利用构成了典型的自然-经济-社会交互作用的人地复合系统^[3], 土地利用变化会导致人地关系的改变进而引起用地格局的相应变化, 能够客观反映一定地域人类经济活动及其对自然生态系统的累积作用程度^[4]。因此, 土地利用变化及其对人类活动的响应始终是地理学、生态学等学科研究的热点方向^[5], 新世纪以来, 伴随着现代科技进步和生产力发展, 土地利用程度、工程治理强度不断增大, 人类活动对区域资源开发利用、环境排放的影响也愈发强烈, 加剧了人类与其生存发展环境之间的矛盾^[6], 人地关系地域系统的状态也因特定地域自然、

作者简介: 刘彦随(1965~), 男, 研究员, 主要研究方向为农业与乡村地理学、城乡发展与土地利用、地理工程与人地系统科学。E-mail: liuys@igsnrr.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41931293); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)课题(XDA230703)

社会、经济条件变化而发生改变,人地关系交互作用增强,致使人地系统呈现出“矛盾-调控-优化-协调”的演替过程,并处于协调-失衡-再协调的动态演变之中^[7]。人地关系演进的良好状态是人地系统耦合与协调发展目标性的重要体现^[1]。深入揭示人类活动演变背景下的人地关系演进及其用地格局变化,探明人地系统协调的科学路径,对于新时期国土空间优化和人地系统调控具有重要的理论与实践意义。

人类活动对地表覆被的扰动作用及其用地格局变化,受到国内外学者的广泛关注。关于用地格局变化研究主要针对特定用地类型如耕地^[8]、聚落、产业用地^[9,10]等,基于特定区域如半城市化地区^[11]、海岸带地区^[12]、乡村地区^[13]、山地区或煤矿区^[14]等,以及特定人类活动对土地利用格局影响^[15]。在研究方法方面,主要包括转移矩阵、动态度模型、综合指数、格网分析和梯度分析等^[16,17,18],其研究成果多集中在生态系统服务^[19]、城镇化进程及生态环境效应^[20]、景观格局变化^[21]、驱动机制^[22]、模型情景模拟^[23]、区域气候变化^[24]、工程治理和建设^[25]等方面。在数据应用方面,主要有 MODIS、SPOT、Landsat 等长时期遥感时序数据,尤其是高清影像数据监测的优势日益凸显^[26]。基于系统科学思维,面向 SDGs 可持续发展目标的区域土地利用与现代人地系统耦合研究不断加强^[1],突出了全要素、大尺度、多目标特征,形成了两大研究特点:一是针对特定地域尺度的土地利用研究内容更加精细化,研究目标更趋向可持续性;二是强调土地利用生态-社会-经济交互影响及其耦合作用^[27],引入大数据、流空间与模拟分析等模型方法,从关注用地结构、方式和强度等单向指标转向要素组合、功能效率与冲突适配等复合指标^[28,29,30]。

中国三峡库区因三峡工程建设而兴,是集丘陵山区、移民库区、生态脆弱区、农村贫困区于一体的特殊地理区,也是重点生态功能区、长江经济带建设的重要屏障和长江流域中西部过渡地带^[31]。实施水利水电工程建设、西部大开发、生态移民、精准扶贫、长江经济带等战略措施,深刻影响着三峡库区的用地格局和人居环境,成为库区人地系统演化和城乡关系变化的主导驱动力。本文基于近 30 年三峡库区用地格局变化与人地关系演变解析,定量评估三峡库区用地格局变化态势及梯度效应,揭示三峡库区用地格局变化的驱动机制,探明实现库区人地系统协调的科学路径与调控对策,为三峡库区国土空间优化、人地系统协调与可持续发展实践提供参考。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

三峡库区位于长江中上游,涉及渝鄂 26 个区县(图 1),总面积约 5.8 万 km²,其中山地、丘陵和河谷平坝分别为 0.74:0.22:0.04,是典型的山地区。三峡库区地表覆被以林地为主,区域内地表起伏、地形破碎,在空间上体现为东高西低、北高南低,属于亚热带季风气候,年平均气温约 18℃,年平均降雨量约 1200mm。第七次全国人口普查三峡库区总人口 2226.22×10⁴ 人,2020 年城镇化率为 50%左右,第二产业产值占比约 36%。三峡大坝建库蓄水以来,对库区土地利用胁迫、景观生态格局、农业乡村发展等扰动明显,尤其是库区消落带生态治理与环境保护、农业生产地域空间缩减和人地矛盾加剧的问题受到普遍关注^[31]。

1.2 数据来源与处理

考虑到三峡工程建设时间节点,选取了三峡库区 1990~2020 年 4 期土地利用数据。其中 1990、2000 和 2010 年 3 期数据来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),2020 年用地数据是以 2010 年数据为基础,结合 LandsatTM/ETM 遥感影像、GoogleEarth 高清遥感影像,通过人机交互解译所得。数字高程栅格数据(GDEMv2)来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>);人口和经济数据及典型样区样点验证,通过查阅相关统计资料和团队实地调研获取(表 1)。

转移矩阵反映的是监测期内用地类型的转移程度，表征用地变化的来源、方向和构成。本研究借助 Origin2021 平台制作用地类型转移矩阵。

(2) 图谱特征统计

图谱的“图”特征是图谱单元在采样时序上的空间表征，“谱”特征是图谱单元的数量变化。本研究借助 ArcGIS10.2 平台，以时间序列为轴，选取相邻采样时序的栅格单元的用地类型编码值进行地图代数运算，进而提取变化轨迹信息，即用地变化的图谱，以实现用地格局与演变过程的有效集成。

(3) 梯度分析

本研究以长江为带状中心，建立 15km 间距的缓冲区梯度带，即向外依次建立距中心 15、30、45、60 和 70km 的 5 个梯度带，并将 5 个梯度带与用地类型图叠加，获取各梯度带内用地格局变化信息。借助 ArcGIS10.2 平台的 Zonal 统计工具，本研究选取不同监测时期用地类型的平均高程和平均坡度，以探讨用地格局在地形梯度上的变化特征。

(4) 景观格局指数

参照相关研究^[32]，借助 Fragstats4.2 平台，选取斑块密度(表征景观的破碎化程度)、聚集度(表征景观类型斑块的连通性)、最大斑块指数(表征景观的优势斑块类型)、周长面积分维数(表征景观形状复杂程度)、斑块所占景观面积比(表征景观的优势类型)、连接度指数(表征优势斑块的相互连接状态)等指标，用以反映各梯度带内用地格局变化特征。

(5) 地理探测器

地理探测器是一种多因子交互作用的统计模型，该模型将各类因子置于同一空间坐标系下，结合地理空间叠加技术手段，通过“因子力”实现定量测度分析^[33]，其数学表达式为：

$$q = 1 - \frac{1}{n\delta^2} \sum_{i=1}^m n_i \delta_i^2 \quad (1)$$

式中：q 为决定力；n 为总样本数；m 为因素分类数； δ_i^2 为离散方差； δ^2 为总方差值。q 的取值区间在 0 到 1 之间，q 值越大，影响因素力就越大。

2 三峡库区用地类型与景观格局变化

2.1 用地结构变化特征

三峡库区以林地和耕地为主，两大地类的面积占总面积的近 85%，1990~2010 年期间用地类型面积分布大小排序始终为林地、耕地、草地、水域、草地、城乡建设用地和未利用地，2010~2020 年三峡库区建设用地面积首次超过水域面积，成为三峡库区主要用地类型(图 2)。2020 年耕地、林地分别占 36.75%、47.91%，全占 84.69%，其余用地类型较小。因此，三峡库区的耕地与林地是该地区的主体景观。近 30 年三峡库区建设用地、水域、林地面积都有所增加，分别增加了 477.4%、43.23%、2.48%；耕地、草地、未利用地面积则减少，分别减少了 4.01%、21.27%、44.81%。

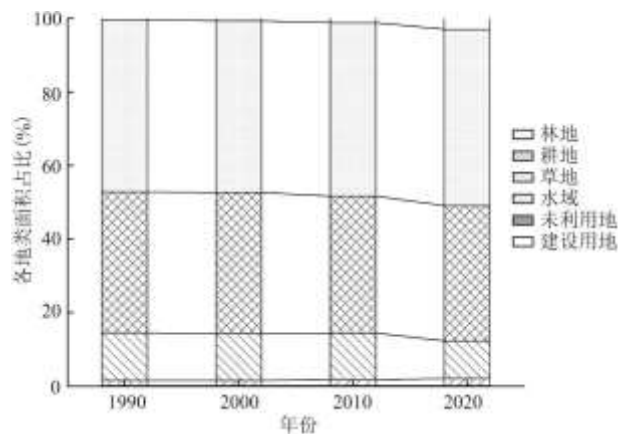


图 2 1990~2020 年三峡库区用地结构变化

2.2 用地类型转移特征

1990~2020 年三峡库区用地变化主要表现为城乡建设用地和林地的扩张，以及耕地的收缩 (图 3)。

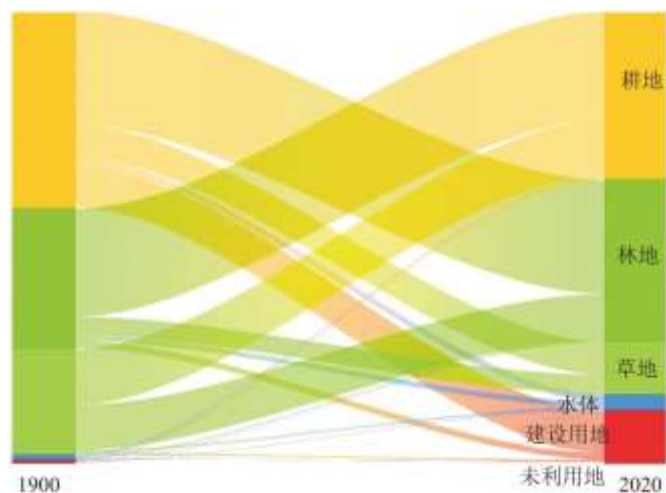


图 3 1990~2020 年三峡库区用地类型转移图

(1) 耕地转移。

1990~2020 年耕地面向转出了 5896.23km^2 ，其中 58.17% 转为林地，21.35% 转化为城乡建设用地，16.86% 转化为草地，其余转为水域和未利用地。1990~2000 年耕地主要转换为林草地，占比 95.06%；2000~2010 年耕地主要转换为建设用地 (37.68%) 和水域 (10.5%)，期间三峡大坝全线建成蓄水，直接导致库区用地格局的巨大变化；2010~2020 年耕地减少趋势与前期相同，主要集中为林地和城乡建设用地。

(2) 林地转移。

林地面积先减后增，总体呈增长趋势。2010~2020 年林地转换较为活跃，林地转入 2904.23km^2 ，主要来自耕地，占比为 64.51%；

同时有 2441.77km² 的林地转化为其他地类，主要转化为耕地和草地，占比分别为 79.61%和 11.54%;2000~2010 年林地转入 443.23km²，主要来自耕地，占比为 57.74%，林草地的转换趋势较为相似。

(3) 建设用地转移。

城乡建设用地大幅扩张，1990~2020 年转入面积 1545.28km²，其中 81.47%来自耕地，13.46%来自林地；2010~2020 年转入较为明显，转入面积为 1154.92km²，占 30 年内城乡建设用地转入的 74.74%，其中耕地转入 958.8km²，占比达 83.02%。

(4) 其它用地转移。

1990~2020 年水域面积转入 457.79km²，转入地类依次为耕地、林地、草地和城乡建设用地，其中耕地占比为 45.39%;2000~2010 年水域面积因大坝建成蓄水转入最集中，林地和耕地的转入较多，分别占 38.49%和 37.92%。未利用地面积总体呈现收缩态势，1990~2000 和 2010~2020 年时段内主要转向林地，占比分别为 56.35%和 59.69%，其次转向耕地，2000~2010 年主要转向水域，占比为 66.98%。

2.3 用地空间变化特征

图 4 是 1990~2020 年三峡库区用地空间变化图。从空间特征看，耕地转出类型以林地和草地为主，主要分布在库中的云阳县、奉节县及南部的武隆区；其次为建设用地，主要集中分布在重庆市主城区及北部的长寿区、涪陵区、万州区和湖北夷陵区；其他转出类型面积较少，且较为分散。林草地主要转向耕地，其中较为集中的区域分布在库中的开州区、南部的江津区及涪陵区等区域；林草地转向其他类型用地较少，空间上表现为沿长江两侧分布特征。建设用地围绕重庆市主城区外围分布，向外扩张，其转入主要来自耕地和未利用地，耕地转向建设用地区域主要发生在重庆市主城区外围以及万州区、涪陵区和丰都县的中心城区附近，其次零星分布在开州区和巫山县；未利用地转向建设用地集中分布在三峡大坝工程附近以及巫山县、奉节县和云阳县的江水交汇处等地区。水域转向耕地区域主要分布在涪陵区和丰都县的沿江流域及长寿区东北部；水域转向林草地的区域较少，零星分布在涪陵区南部沿江地区，其它地区空间特征不明显；水域转向建设用地区域主要在重庆市主城区。



图 4 1990~2020 年三峡库区用地空间变化图

注：1 为耕地，2 为林草地，3 为水域，4 为建设用地，5 为未利用地，21 表示林草地转耕地。

2.4 景观格局梯度变化

鉴于研究区主体景观为耕地与林地，建设用地又是快速城镇化影响人地关系变化较为明显的地类，因此重点讨论这 3 种用地类型梯度特征。

(1) 耕地景观格局梯度动态

近 30 年耕地景观指数变幅较大，各指数变化趋势较为一致。在距中心梯度带上，耕地连接度指数、耕地所占景观面积比、集聚度指数与斑块平均面积均下降，斑块密度上升。2020 年耕地斑块平均面积由中心带到边缘梯度带从 67.07km^2 降低至 11.88km^2 ，降低 4.64 倍。在 45~60km 梯度带上耕地集聚度指数、连接度指数及斑块所占景观面积比的降幅最大，表明该梯度带人类活动的干扰明显，整体上，耕地由中心向边缘梯度带趋于破碎化及形态非均质化。

(2) 林地景观格局梯度动态

近 30 年林地景观指数变幅较小，各指数变化趋势与耕地差异较大，其中，林地斑块密度由中心向边缘梯度带逐渐降低，且逐年成递增趋势，2020 年林地斑块密度最大，表明由中心梯度带向边缘梯度带林地破碎化程度降低，且逐年有加重趋势。在距中心梯度带上，斑块所占景观面积比和景观集聚度指数保持较高比例，且变幅大。总体来看，由中心向边缘梯度带的连接度指数、周长面积分维数变幅小，梯度变化特征不显著，林地斑块破碎化程度降低、形状趋于整体规则化。

(3) 建设用地景观格局梯度动态

近 30 年建设用地斑块所占景观面积比、集聚度指数、平均斑块面积比、斑块密度逐渐降低，三峡库区建设用地在快速城镇化进程中不断增加，斑块也逐渐向集中化大面积的趋势发展。在距中心梯度带上斑块所占景观面积比、斑块密度、平均斑块面积比在 0~15km 梯度带降幅明显。2020 年从中心到边缘其斑块密度由 8.15hm^2 降低至 2.02hm^2 。平均斑块面积由 87.68km^2 降低至 8.61km^2 ，且下降速率逐年递增。总体上由中心梯度带到边缘梯度带斑块数量减少、密度降低且形状趋于整体规则化，破碎化程度降低。

3 三峡库区用地格局变化机制与协调路径

3.1 用地格局变化的驱动机制

地理探测分析表明，三峡库区用地格局变化的主要驱动变量为人口、非农人口、一产结构和二产结构，不同用地类型之间存在差异（标黑数字表示 p 值小于 0.05 的差异显著，图 5）。垂直差异作为山区特有的属性特征，也是影响山区用地格局变化的重要因子。

三峡库区用地格局表现出一定的地形梯度特性，借助 SPSS 双变量相关性分析得出林草地的 COHESION 和 AI 与高程和坡度呈正相关，耕地和建设用地的 COHESION 和 AI 与高程和坡度呈负相关（表 2）。地形因子与耕地分布的相关性最高，其影响也最为显著。在适宜耕作的聚落及其周边区域，地形因子的影响大，高程、坡度与建设用地的相关性也高。在立地条件差、不适宜耕作的区域，林草地的景观指数变化与高程、坡度因子的相关性较高，说明三峡库区的地形因子是影响用地格局景观指数变化的主导因素。

	社会经济因子							自然因子		
耕地	0.089	0.466	0.461	0.098	0.025	0.490	0.126	0.043	0.002	X1: 人均GDP
林地	0.028	0.596	0.190	0.277	0.031	0.094	0.129	0.012	0.323	X2: 人口
草地	0.052	0.428	0.265	0.085	0.018	0.050	0.222	0.003	0.020	X3: 农业人口
水域	0.000	0.458	0.123	0.463	0.001	0.275	0.034	0.046	0.095	X4: 非农人口
建设用地	0.000	0.454	0.068	0.485	0.001	0.101	0.001	0.094	0.106	X5: 城镇化
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X6: 一产结构
										X7: 二产结构
										X8: 高程
										X9: 坡度

图 5 三峡库区驱动因子与用地类型的地理探测结果

表 2 用地格局景观指数与地形因子的相关系数

地形	耕地				林地			
因子	面积分维数	连接度	集聚度	地类	面积分维数	连接度	集聚度	地类
	PAFRAC	COHESION	AI	TYPE	PAFRAC	COHESION	AI	TYPE
高程	-0.399**	-0.652**	-0.484**	-0.115*	-0.683**	0.814	0.856**	0.041*
坡度	-0.387**	-0.625**	-0.408	-0.293	-0.528	0.632**	0.781	-0.179
地形	建设用地				草地			
因子	面积分维数	连接度	集聚度	地类	面积分维数	连接度	集聚度	地类
	PAFRAC	COHESION	AI	TYPE	PAFRAC	COHESION	AI	TYPE
高程	0.149**	-0.430**	-0.491**	-0.104	-0.431**	0.771	0.977**	-0.041*
坡度	-0.098	-0.604*	-0.512	-0.283	-0.321	0.734**	0.893*	-0.230

注：*相关性在 0.05 下显著，**相关性在 0.01 下显著。

深受山区地形地貌的直接影响，三峡库区人类活动较为密集的城镇和乡村聚落用地，或以聚落为中心的用地主要分布在库区平均高程小于 300m, 平均坡度小于 2° 的较低缓地带。从变化特征来看，300~600m 海拔带和 2° ~6° 坡度带上聚落用地面积比例增速最快，分别为 $2.49\% \cdot a^{-1}$ 和 $0.92\% \cdot a^{-1}$ ，说明聚落用地有“上山上坡”的延展趋势。

2010~2020 年三峡库区城镇化率从 38.38%提高至 52.72%，城镇化带来的乡村地区劳动力转移，成为山区土地利用变化最直接的驱动因素。受城镇化发展进程、农业种植比较收益低、农业生产技术进步以及生产支出提高等综合影响，农户外出务工增多，农户生计收入趋于多元化，部分农田开始撂荒，多为距村庄较远的梯田。青壮年劳动力流失严重，农业从业主体老弱化问题突出。根据村干部访谈，外出务工人口以库区本地为主，多数还从事季节性的农作物种植，存在明显的兼业化现象，这与农民的守土情结有一定的关系。外出人口主要为青壮年男性劳动力，从事农业生产的多为老人和妇女，年龄在 55 岁以上占六成左右。

农业劳动力减少是经济社会发展的必然趋势，而农业从业老龄化、兼业化制约了现代农业发展和增大了耕地撂荒风险。

区域政策对三峡库区用地格局变化具有重要的导向作用。1995 年三峡大坝建库蓄水，1996 年之后受快速城镇化驱动，促使建设用地持续扩张；1999 年西部大开发战略、退耕还林及农业结构调整促使库区林草面积增加，坡耕地减少和经济林果种植增长；2013 年以来实施精准扶贫、全面小康建设战略，促进了农村基础设施建设、农户生计改善和库区产业、就业转型，山区土地利用格局变化与农业农村转型发展进入多样化阶段。受政策调控影响，山区土地经营相对细碎分散的格局有所转变，呈现出林果种植的规模连片、农地耕作集中经营态势。同时，通过利用山区特殊的地理环境，发展梯田景观、生态采摘等农旅结合的观光园区，进一步拓宽了农民就业渠道，促进了农户生计改善和区域生态环境建设。

近 30 年来三峡库区的经济与生态双赢目标导向促进了用地格局的不断优化，特别是在库区移民安置与迁建、农业结构调整、退耕还林工作、经济林果种植等政策驱动下形成沿江带状特色产业布局，带动了典型区县的绿色高质量发展。从长远看，必须重视处理好人与自然和谐、生态与经济协调的内在关系，推进库区生态产业化与产业生态化(图 6)。

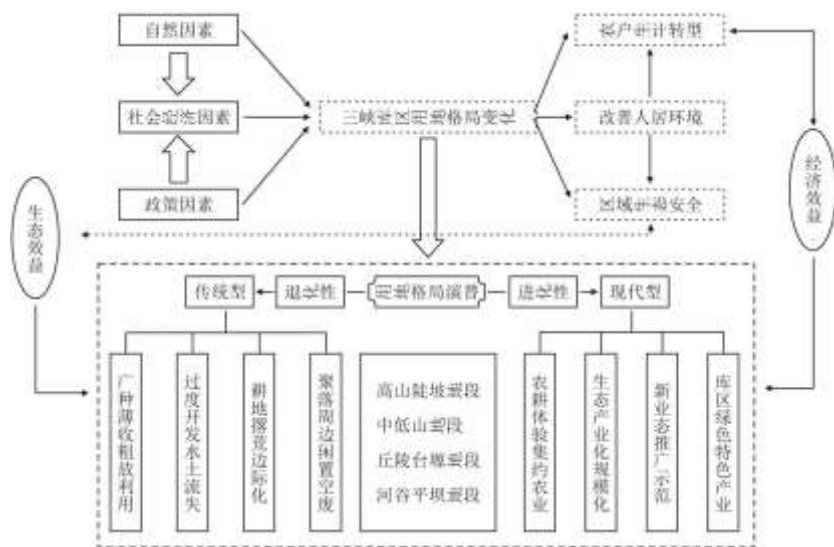


图 6 三峡库区用地格局变化的驱动机制

3. 2 人地系统协调发展目标

根据现代系统理论，各子系统间及其组成要素间的竞争与协作决定了系统的形态格局，表征为不同程度的“冲突-协调”状态。人地系统协调是以自然资源与环境系统为运行基础，以人类经济社会活动为行为主体，以不同土地利用方式与强度为协调手段，维持和改善系统内各要素之间的协调或适应状态，持续进行系统物质互馈、能量流动与信息交换。在人地系统“要素—结构—功能”复杂体系中，系统结构是基础，它是系统各要素组合的方式、系统与要素连接的桥梁。系统整体功能的发挥不仅取决于是否发挥了系统的整体性优势，还在于系统各组分是否协调及其协调的程度，各组分的协调程度越高，系统功能的效能就越强，否则将受到抑制^[34, 35]。另据耗散结构理论，一个系统组分环节越多、链条越长，系统就越稳定，但相应的损耗也越大，因而系统要与外界进行能量的循环与流通，使其能够保持一个较高的运行效率，以保持健康运行的态势。功能层作为人地系统交互的关键载体，是要素与结构变化的重要表征形式，同时人类活动对系统的反馈又作用于各要素层。因此，系统发掘多种组合方式，在多维度、多尺度、大跨度空间上利用好系统内各组分要素-结构-功能的共生性、相容性，能够稳定提高人地系统的综合效能。从人地耦合关系看，人类活动与自然环境之间、主体各要素之间、不同组合方式下相互作用，形成了人地耦合系统，包含“人”系统、“地”系统及其交互作用过程中地域、分布、位置等空间属性，以及过去、现状、未来的时间表征。区域土地利用是人地耦合与交互作用的重要载体，在人地系统运行中发挥着集约化状态调整、高效化发展调节和系统化功能调控的承载作用，并与区域社

会、经济、技术等子系统互馈耦合产生社会经济复合系统，形成包括资源开发、生产布局、人口流动、环境排放、工程治理等过程在内的区域可持续发展系统(图 7)。

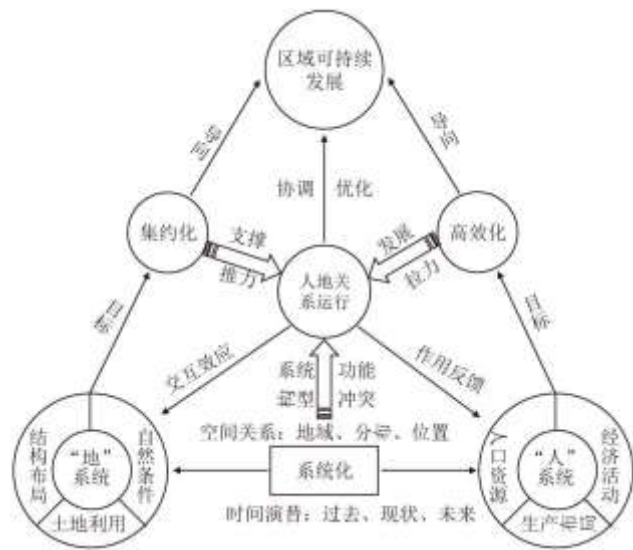


图 7 人地系统协调与区域可持续发展关系

协调发展观强调人地系统耦合与协调发展目标性^[36]，体现在人与自然协调发展、和谐共进，保障生产生活空间健康可持续发展的过程。协调是一种社会功能，在遵循自然规律的同时，需主动适应和应对环境变化，人地系统的层级特征决定了人地系统变化的分级传导机制与过程，“人”系统和“地”系统变化的过程存在差异，可能导致子系统之间存在错配和加大子系统内要素协同的难度，因而产生人地系统冲突。因此，人地系统协调就是建立在完整的人地关系科学认知基础上，立足于相应特定的地域系统，探明不同层次的人地关系类型、特征、规律，以及人地系统各要素相互影响、系统协调模式与调控途径，促进人地系统的良性运行，服务支撑可持续发展实践^[1]，最终实现以高效化、集约化的有效衔接，以及“人”和“地”系统化良性运行为重要支撑的协调发展目标。

3.3 三峡库区人地系统协调创新路径

(1) 创新“三化”战略体系，促进地域空间重构与功能优化

人地系统本质上是人类经济社会系统、地表自然生态系统“双循环”和系统间“互循环”胶结联动的、开放的物质体系^[1]。从人地系统视角看，三峡库区因移民、蓄水、产业转型而形成人-地-业“三态”（质态、形态、业态）耦合过程和“三生”（生态、生产、生活）协同模式，通过创新“三化”（集约化、高效化、系统化）战略体系，创建加快“三生”空间优化、“三态”平衡发展的长效机制与科学路径，促进库区人地关系、城乡关系与居业关系的良性循环与高质量发展。由于库区地域空间形态的多样性与人地系统演变过程的复杂性，人地系统协调亟需做好战略谋划和顶层设计，创建人地系统协调状态诊断器、转型探测器，面向人地系统协调新目标、双循环新格局要求，依托长远战略引领地域空间重构与功能优化，重视引入新技术、融合新因素来优化调控人地系统作用关系及其强度，创新从库区人地关系协同运行、人地系统科学调控到区域可持续发展的创新路径，为三峡库区土地利用格局优化和人地系统协同发展提供有力支撑与动力保障。

(2) 创设立体生态产业化区域集成路径，推动人地系统耦合发展

创设面向市场需求的生态资源产业化模式与发展路径,按照利益共享、风险共担机制,通过对小规模产业集聚,升级或者引入新要素,适度发展大规模产业;根据库区环境的垂直地带性,构建库周立体的多层次生产与生态空间,大力推进生态资源基地化与产业化^[31],调整产业空间布局、优化产品结构和经营方式,面向美丽库区建设探索推进绿色化、优质化、特色化、品牌化生态产业化体系,稳步提升绿色低碳循环经济发展能力与水平。首先要重视培育和扶持“绿领”群体,培养专门从事现代农业绿色产业的决策者、从业者和管理者;其次,要创设“绿权”,探索生态产品价值实现机制及其绿色权能保障机制,全面构筑三峡库区绿色产业体系和发展制度模式。不同于平原地区单向的集约化态势,山区的地形梯度大,具有立体的集约化、生态化双向性,将生态资源转化为生态优势、生态产品,积极推进生态资源产业化、特色产业品牌化,保持经济发展与生态保护良性互动,成为稳步推进库区人地系统耦合发展的必由之路。

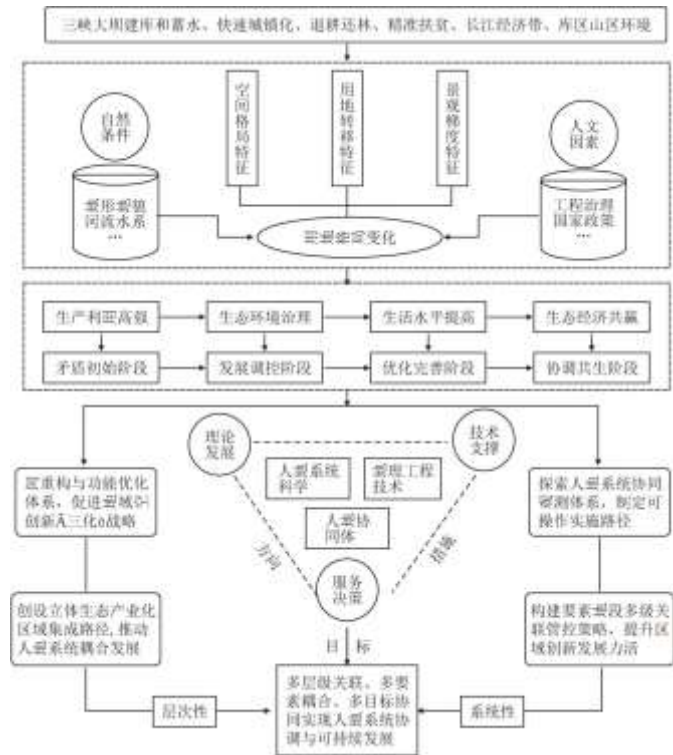


图8 三峡库区人地系统协调创新路径

(3) 探索人地系统协同观测体系，制定可操作实施路径

按照人地系统协调理念,遵循目标指向、问题导向原则,探索三峡库区人地系统协同观测体系,推进监测网络化、地理工程化、决策智能化。通过自然-经济-技术多手段,着眼生态-数量-质量多维度,强化软措施与硬技术结合,着力破解区域性发展难题和问题,不断增强库区生产集约、生活富裕与生态宜居性。针对山区农业发展面临的农业效益与竞争力低下、农业生产要素流失与衰退等复杂的“农业病”问题,加强山区农业转型机理与高质量发展路径探究,探明水-土-气-生多要素耦合过程及其分异特征。针对边坡植被生态防护、客土改良与土层复配、种植模式调整、农户跟踪调研、地理空间分析与监测等实践问题,围绕营造健康农业生态系统、可持续农业经济系统、多功能农业生产模式,深入开展大田实验、气候评估、农户实验,研究揭示不同坡度和植被类型对坡面水土保持的效应,并筛选出适宜主要作物生长需求的土层复配参数,以及土体重构与农田建设技术方案。国内已有关于区域土地生态设计和人地系统优化模式^[31,37],可供三峡库区人地系统观测体系建设和实施路径设计参考。

(4) 构建关键要素地段多级关联管控策略，提升区域创新发展活力

针对新时期三峡库区用地格局特征与变化特点,亟需实施多尺度地段设计、多情景要素调控、多途径模式共建等系列管理措施,研究探索现代区域系统多尺度、多情景、多途径的集成路径,不断提升区域综合应对能力、创新发展活力。从宏观管理层面,亟需重新认知制度创新与国土空间优化、系统调控理念,将三峡库区打造成为践行“两山”论、“两化”路先行区、绿色高质量发展创新区、城乡融合发展示范区;从实践操作层面,要以生态经济的统一与良性循环为战略导向,保持库区生态系统的持续稳定,进而提供高效的系统生产力。基于山地垂直带层不同部位、地段的空间特征,实施不同地段的适宜组合模式及空间组织优化措施,促使系统投入产出链融为一体,实现系统要素的地段空间多级关联、生态经济系统融合。从调查分析看,通过创新库岸工程治理、生态修复技术与管理模式,三峡库区消落带生态与环境治理保护取得了明显成效。新时期要重视提高综合效益及其可持续性,围绕乡村振兴与乡村治理战略,统筹推进消落区综合治理、系统治理和协同发展。同时,基于发展阶段的划分,遵循实体模式的形成发展与运行规律,亟需开展融合理论、技术与决策服务的全链条设计,全面构筑三峡库区人地系统科学—地理工程技术—人地协同体“三位一体”的实施创新体系与创新路径(图8)。

4 结论与讨论

本文基于4期土地利用遥感数据,利用地理空间分析和统计分析等方法,分析揭示了近30年三峡库区用地格局变化特征,探讨了用地格局变化驱动机制和实现人地系统协调的科学路径。

(1)1990~2020年三峡库区以耕地和林地为主体景观,平均占比分别为37.64%、47.12%,建设用地占比<2%,具有重要生态功能的生态用地(林地、草地、水域)占比高达60%。近30年三峡库区建设用地、林地和水域的面积增长明显,其中建设用地的增幅最大(477.4%),其次为水域(43.23%);从时间变化看,2000~2010年间林地面积增加和耕地面积较少较为突出,建设用地在2010~2020年增加最为显著,建设用地呈现持续扩张的态势。

(2)从三峡库区景观梯度变化类型看,耕地、建设用地景观指数变化相似,随梯度带变化其破碎化程度增强,林地破碎化程度则逐步减弱。景观水平梯度变化表现为沿江中心地带区景观集聚程度高,与一般城乡梯度相类似。随着成渝双城经济圈建设规划的批复,三峡库区经济将进入高速增长和高质量发展阶段,资源整合与圈带区(都市圈、市县带、村镇区)、城乡发展转型与城镇村一体化多级融合的趋势更加明显^[38,39],原有的梯度格局将更加显现。

(3)三峡库区用地格局变化的驱动因子,社会经济与政策因素起到主导作用。其中,三峡工程建设、移民安置、快速城镇化与城乡发展转型导致建设用地不断扩张。在农业结构调整、退耕还林等政策影响下,库区林地面积显著增加,坡耕地面积持续减少,表现为生态恢复趋势,总体向生态经济复合型转变,人地关系也从不协调的矛盾状态逐步趋向协调共生。

在退耕还林、森林保护工程等生态治理政策驱动下,近30年三峡库区植被生态恢复趋势明显。伴随着快速城镇化,城镇发展及基础设施建设占用大量耕地,建设用地迅速扩张和耕地因占用减少,带来库区人地矛盾加剧的状况会长期存在,人地系统协调将面临着巨大挑战,面向新时期生态文明建设、乡村振兴战略,科学推进库区系统治理和协同发展任重道远。因此,亟需深入开展三峡库区用地格局变化和入地系统科学研究,探明入地系统协调目标和入地系统协调的科学路径,为三峡库区乃至我国同类型其他地区的国土空间优化与可持续发展提供科学参考。

参考文献:

- [1]刘彦随.现代人地关系与人地系统科学[J].地理科学,2020,40(8):1221-1234.
- [2]WATERS C N,ZALASIEWICZ J,SUMMERHAYES C,et al.The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene [J].Science,2016,6269(351):137-147.

-
- [3]刘彦随. 区域土地利用优化配置[M]. 北京: 学苑出版社, 1999.
- [4]刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程[J]. 资源科学, 2015, 37(1):1-8.
- [5]傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4):441-446.
- [6]LIU Y S, LI Y H. Revitalize the world' s countryside [J]. Nature, 2017, 548:275-277.
- [7]吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统[J]. 经济地理, 1991, 11(3):1-6.
- [8]孟菲, 谭永忠, 陈航, 等. 中国耕地“非粮化”的时空格局演变及其影响因素[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1):97-106.
- [9]李小建, 许家伟, 海贝贝. 县域聚落分布格局演变分析——基于 1929-2013 年河南巩义的实证研究[J]. 地理学报, 2015, 70(12):1870-1883.
- [10]刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7):1290-1304.
- [11]ZHANG X L, WU Y Z, SHEN L Y. An evaluation framework for the sustainability of urban land use:A study of capital cities and municipalities in China [J]. Habitat International, 2011, 35(1):141-149.
- [12]刘彦随, 李进涛. 近 30 年中国沿海围垦土地利用格局及其驱动机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(6):761-774.
- [13]张佰林, 高江波, 高阳, 等. 中国山区农村土地利用转型解析[J]. 地理学报, 2018, 73(3):503-517.
- [14]韩武波, 贾薇, 白中科. 村庄与人口搬迁对平朔矿区景观格局变化的影响[J]. 中国土地科学, 2015, 29(5):93-97.
- [15]LI S C, ZHANG Y L, WANG Z F, et al. Mapping human influence intensity in the Tibetan Plateau for conservation of ecological service functions [J]. Ecosystem Services, 2018, 30:276-286.
- [16]刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5):533-540.
- [17]BRAAK C. Canonical correspondence analysis:A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986, 67(5):1167-1179.
- [18]杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别——以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(6):1077-1087.
- [19]胡毅, 乔伟峰, 何天祺. 江淮生态经济区土地利用格局及生态系统服务价值变化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(11):2450-2461.
- [20]龙花楼, 曲艺, 屠爽爽, 等. 城镇化背景下中国农区土地利用转型及其环境效应研究: 进展与展望[J]. 地球科学进展, 2018, 33(5):455-463.

-
- [21]陈昌玲, 许明军, 诸培新, 等. 近 30 年来江苏省农村居民点时空格局演变及集约利用变化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(10):2124-2135.
- [22]GARBARINO M, LINGUA E, WEISBERG P J, et al. Land-use history and topographic gradients as driving factors of subalpine *Larix decidua* forests[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(5):805-817.
- [23]邓华, 邵景安, 王金亮, 等. 多因素耦合下三峡库区土地利用未来情景模拟[J]. 地理学报, 2016, 71(11):1979-1997.
- [24]LIU Y S, LIU X Q, LIU Z J. Effects of climate change on paddy expansion and potential adaption strategies for sustainable agriculture development across Northeast China [J]. Applied Geography, 2022, 141, 102667.
- [25]LI Y R, ZHANG X C, CAO Z, et al. Towards the progress of ecological restoration and economic development in China's Loess Plateau and strategy for more sustainable development[J]. Science of the Total Environment, 2021, 756, 143676.
- [26]NAGENDRA H, LUCAS R, HONRADO J P, et al. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats [J]. Ecological Indicators, 2013, 33:45-59.
- [27]刘彦随, 冯德显. 三峡库区土地持续利用潜力与途径模式[J]. 地理研究, 2001, 20(2):139-145.
- [28]LIU Y S, ZHENG X Y, WANG Y S, et al. Land consolidation engineering and modern agriculture: A case study from soil particles to agricultural systems [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(12):1896-1906.
- [29]韩博, 金晓斌, 孙瑞, 等. 基于冲突—适配视角的土地利用可持续性评价[J]. 地理学报, 2021, 76(7):1763-1777.
- [30]邹利林, 刘彦随, 王永生. 中国土地利用冲突研究进展[J]. 地理科学进展, 2020, 39(2):298-309.
- [31]刘彦随, 方创琳. 区域土地利用类型的胁迫转换与优化配置——以三峡库区为例[J]. 自然资源学报, 2001(4):334-340.
- [32]李裕瑞, 李怡, 范朋灿, 等. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治对乡村人地系统的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(5):241-250.
- [33]王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- [34]刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4):637-650.
- [35]李琳娜, 璩路路, 刘彦随. 乡村地域多体系统识别方法及应用研究[J]. 地理研究, 2019, 38(3):563-577.
- [36]刘彦随, 龙花楼, 李裕瑞. 全球乡城关系新认知与人文地理学研究[J]. 地理学报, 2021, 76(12):2869-2884.
- [37]刘彦随, 冯巍仑, 李裕瑞. 现代农业地理工程与农业高质量发展: 以黄土丘陵沟壑区为例[J]. 地理学报, 2020, 75(10):2029-2046.

[38]刘彦随. 新时代乡村振兴地理学研究[J]. 地理研究, 2019, 38 (3):461-466.

[39]LIU Y S. Urban-Rural Transformation Geography[M]. Springer Nature, Singapore, 2021.