王雨枫,陈立民,江清阳,等.区域土地多功能利用测度及协同发展影响研究 [J]. 中国环境科学, 2025,45(8):4531-4537.
Wang Y F, Chen L M, Jiang Q Y, et al. Research on the measurement of multi-functional utilization of regional land and its Impact on coordinated development [J]. China Environmental Science, 2025,45(8):4531-4537.

区域土地多功能利用测度及协同发展影响研究

王雨枫 [1,2,3,4,5],陈立民 [1*],江清阳 [1],何佩云 [1],王 玮 [1] (1.西南交通大学,设计艺术学院/智慧城乡环境可持续研究所,四川 成都 611756；2.松辽流域水环境教育部重点实验室,吉林 长春 130118；3.北京建筑大学,城市雨水系统与水环境教育部重点实验室,北京 102616；4.西安市城镇低碳建设重点实验室,陕西 西安 710061；5.自然资源部数字制图与国土信息应用重点实验室,湖北 武汉 430079)

摘要：基于2000~2023年土地遥感监测数据,使用地理空间模型对长江经济带上游土地利用功能时空演变进行了定量解析,并对主要影响因素进行了针对性分析.结果表明流域经济带的生活功能面积持续增长,而生产功能面积减少,生态功能面积也减少.生产功能呈北高南低的空间分布,高低值的区域集聚性分布特征显著.生活功能水平由北到南呈高低相间分布,由平原地带向周围山地递减.生态功能水平与地形地貌呈显著相关,功能空间差异明显.主要影响要素包括自然与社会经济因素,其中人口增长与经济发展,农业技术与农业效益推动着土地“三生”功能的时空演变.研究结果对于区域土地利用及协同发展具有参考价值.

关键词：土地多功能利用；土地转移矩阵；影响因素；长江经济带上游
中图分类号：X171,F323.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2025)08-4531-07

Research on the measurement of multi-functional utilization of regional land and its Impact on coordinated development. WANG Yu-feng[1,2,3,4,5], CHEN Li-min[1*], JIANG Qing-yang[1], HE Pei-yun[1], WANG Wei[1] (1.School of Design/Smart urban and Rural Environmental Sustainability Research Institute, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China；2.Key Laboratory of Songliao Aquatic Environment, Ministry of Education, Changchun 130118, China；3.Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment (Beijing University of Civil Engineering and Architecture), Ministry of Education, Beijing 102616, China；4.Xi 'an Key Laboratory of Urban Low-Carbon Construction, Xi'an 710061；5.Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application, Minisitry of Natural Resources, Wuhan 430079, China). *China Environmental Science*, 2025,45(8)：4531~4537

Abstract：Based on land remote sensing monitoring data from 2000 to 2023, this study employed geospatial models to quantitatively analyze the spatiotemporal evolution of land use functions in the upper reaches of the Yangtze River Economic Belt. In addition, a targeted analysis was conducted on the key influencing factors. The results indicate a continuous increase in the area allocated to living functions, whereas areas associated with production and ecological functions have declined. The spatial distribution of production functions exhibits a distinct pattern of being higher in the north and lower in the south, with significant spatial clustering of high and low-value regions. The distribution of living functions alternates between high and low from north to south and decreases from surrounding plains toward mountainous areas. Ecological function levels are significantly correlated with topography and geomorphology, showing pronounced spatial differentiation. The primary influencing factors include both natural and socio~economic variables, among which population growth, economic development, agricultural technology, and agricultural efficiency collectively drive the spatiotemporal evolution of the "production-living-ecological" land use functions. The findings provide valuable insights for regional land use planning and coordinated development strategies.

Key words：multi-functional utilization of land；land transfer matrix；influencing factors；the upper reaches of the Yangtze River economic belt

生态环境质量主要指一定时空范围内的生态系统承载物种生存能力水平,是反映区域内生态系统功能、生物多样性及人类活动强度的重要参考指标,其指数对于外界环境变化具有较强的敏感性[1].土地利用多样性是影响生态环境质量的重要因素,随着中国工业化、城镇化进程的不断推进,城镇发展战略引起了土地利用功能的重构[2].准确掌握土地

收稿日期：2025-02-27
基金项目：松辽流域水环境教育部重点实验室资助(JLJUSLKF042024009);城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室开放课题资助课题(USSWE2024KF01);西安市城镇低碳建设重点实验室(长安大学)水平提升项目资助(300102284501);自然资源部数字制图与国土信息应用重点实验室开放研究基金资助项目(ZRZYBWD202405);湖北经济学院数字金融创新湖北省重点实验室项目(DFIK2024Y09)
* 责任作者, 副教授, 512165426@qq.com

利用的多功能演变,是探究当前中国面临快速城镇化造成的环境问题根源,对于优化国土空间布局,提升生态环境质量具有重要的意义.

“三生”功能指生产功能、生活功能及生态功能,是中国新时代国土空间开发及优化的重要标志[3].判别土地利用的多功能属性可以量化地区土地利用主导功能及其他功能的分布特征[4].目前,国内外基于土地利用多功能视角对国土空间测度及优化布局等相关主题取得了一定的研究进展.主要包括“三生”功能空间的识别、分异特征、评价指标及影响机制等方面[5-6],土地利用多功能的识别由传统的定性描述转变为多指标体系构建的定量测度,主要包括综合指数、模糊综合评价、灰色关联及改进突变级数等方法[7-8].以传统的社会统计数据为基础的文献主要关注全国、省际、市级等宏观范畴,而随着空间测绘技术的发展及数据库的完善,遥感、土地利用变更调查等多元数据促使土地利用研究开始朝着县域、乡镇等微观范畴推进[9-10].由于“三生”功能涉及到生产、生活及生态等复杂要素,在地形地势的影响下,呈现出显著的不规律分布.土地利用转移矩阵能够揭示土地利用不同功能的相互转化,而土地多功能利用测度则能够直观反映出土地不同功能的地理分布特征,多元回归模型从宏观层面分析了不同影响因子对土地“三生”功能演变的影响程度.

长江经济带上游涵盖了四川、重庆、云南及贵州等 4 省市的 47 个地级市,区域总面积约为 113.84 万 km^2,境内多山地,地形起伏变化大,生态及矿产资源丰富,2023 年底城镇人口约 1.20 亿人,城镇化率约为 60.77%,人均 GDP 约为 76082 元.在经济快速发展的同时,城镇化、工业化快速推进引起了城镇用地无序扩张,土地资源流失,生态用地被大量占用等一系列问题.基于此,本研究使用 2000、2010 及 2023 年三期 Landsat 遥感数据及社会统计数据,运用土地利用转移矩阵、土地多功能评价及多元回归模型等方法,深入探讨 20 余年长江经济带上游土地利用转型的时空特征及影响因素,以期为区域国土空间格局优化、经济高质量发展提供理论和实证支持.

1 研究方法与数据

1.1 土地利用转移矩阵(LTM)

土地使用功能转变的程度能够经由 LTM 模型实现精确度量,将不同用途的 Landsat 以矩阵的形式组织起来,借助矩阵分析能够揭示土地使用结构的演变及其动态流转情况.计算公式如下:

$$\boldsymbol{S}=\begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:$\boldsymbol{S}_{ij}$ 为研究区初期、末期的 Landsat 土地利用数据;n 为土地利用的类型数;$i=1,2\cdots n$; $j=1,2\cdots n$.

1.2 土地多功能利用指数

表 1 评价指标

Table 1 Evaluation index

目标层	权重	准则层	指标层	指标的实际意义或计算方法	权重
生产功能	1/3	产业结构	产业结构层次化	一产比重+二产比重*2 +三产比重*3	0.17
			产业结构高级化	二产增长率 + 三产增长率	0.14
		产业效率	生产效率	BCC 模型	0.29
			全要素生产率	数据包络分析—麦奎斯特指数	0.17
		生产用地结构	生产用地比重	生产用地面积/总用地面积	0.23
生活功能	1/3	居民生活质量	人均收入水平	人均可支配收入	0.18
			人均消费水平	全国居民消费水平指数	0.24
		公共设施完善程度	人均医疗设施	人均卫生机构床位数(张/千人)	0.16
			路网密度	公路里程/土地面积(km/km^2)	0.22
		生活用地结构	生活用地比重	生活用地面积/总用地面积	0.20
生态功能	1/3	生态用地结构	生态用地比重	生态用地面积/总用地面积	0.04
		生态承载力	生态承载力强度	生态承载力方程	0.30
		生态环境质量	环境治理能力	生活污水处理率	0.53
			环境污染强度	空气质量指数	0.13

鉴于土地利用结构的复杂性和土地功能的多重交叉性,同一地块可能同时承担多种功能,在设计

土地多功能的评估指标框架时,除了展现土地使用模式外,还应全面考量其功能性和效益性[11].本研究选取产业效率、产业结构与生产用地配置来刻画生产功能,以公共设施的完备性、居民生活质量及生活用地布局体现生活功能,通过生态环境品质、生态承载能力以及生态用地安排反映生态功能,进而建立评估城市土地多功能协同度的指标框架(表 1).

确定评价指标的权重是将各评价指标对目标对象的影响重要程度量化,在评价土地多功能利用的功能值过程中,各项指标的权重系数直接关系到评价结果的准确性,为确保研究的可靠性,采用了客观的熵权法来确定各项影响因素的指标权重.计算公式如下:

$$U_i = \sum_{i=1}^{n} I_{ij} \cdot W_j \tag{2}$$

式中:U_i代表第 i 个评价单元的生产、生活或生态功能值;I_{ij}代表第 i 个评价单元在第 j 个指标上的标准化值;W_j代表第 j 个指标的指标权重值.

1.3　“三生”功能演变的影响因素

工业化、城镇化快速发展,促使人类活动强度提高,导致了土地多功能利用产生了较大的变化.随着长江经济带上游工业化与城镇化的加速推进,生态功能用地持续遭受生产功能用地及生活功能用地的侵占.国家西部发展战略、生态保护理念等宏观政策成为了区域土地开发的先决条件.而长江上游地势复杂,地形变化及水资源分布对土地利用的变化也产生一定的影响[12].基于此,从经济、社会及政策等方面,选择了总人口(X_1)、粮食总产(X_2)、农业机械总动力(X_3)、GDP (X_4)、城镇居民可支配收入(X_5)、社会消费品零售总额(X_6)、农林牧渔业增加值(X_7)、工业增加值(X_8)、房地产业增加值(X_9)和实际利用外资(X_{10})量对长江经济带上游土地利用演变进行多元回归分析.计算公式如下:

$$Y = a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \ldots + a_{10} \cdot X_{10} + b + \varepsilon_i \tag{4}$$

式中:a_i为影响因子的回归系数;b 为常数项;ε_i为残差.

1.4　数据来源

基本数据涵盖社会经济与地理空间领域,社会经济数据主要源自四川省、重庆市、云南省及贵州省的《统计年鉴》、《城市统计年鉴》(2000~2023),而某些缺失的数据则通过访问各级政府官方网站获取.土地利用数据集涵盖了 2000 年、2010 年以及 2023 年的信息,每项数据均以 30m*30m 的 Landsat 卫星遥感图像为单位,这些数据源自地理空间数据云平台.通过 GEE(Google Earth Engine)地理信息云平台,对影像的光谱波段、大地坐标系以及地面控制点等空间属性进行了系列校准操作.针对校正后的影像,依据其光谱反射特性、背景环境以及地形特征,通过人机协作解析与专家经验,将其划分为农业用地、工业用地、城市区域、乡村地区、森林、草地、水体以及其他用途土地等共计八类.

2　结果分析

2.1　“三生”功能转型分析

为探讨长江经济带上游土地利用类型的时空演变,使用 ArcGIS 的空间分析工具对 2000、2023 年 2 期土地利用 Landsat 监测图进行叠加分析,获得了研究区 2000~2023 年间的不同土地类型转移模式及面积矩阵(表 2).从表 2 可知,长江经济带上游土地利用主要以林地、草地、农业及其他用地类型为主,分别约占总面积的 46.64%、26.03%、23.60 及 1.62%,水域、城镇、工业及农村等用地类型面积占比较小,总计约占总面积的 2.11%.2000~2023 年间 LTM 变化明显,从各类土地利用类型转换来看,面积净增长的主要有林地、工业、城镇、水域及农村等用地类型,其中林地面积增长主要来源于草地(4.31 万 km^2)及农业用地(3.47 万 km^2),工业面积增长主要来源于农业(0.27 万 km^2)及林地用地(0.07 万 km^2),城镇面积增长主要来源于农业(0.26 万 km^2)及农村用地(0.02 万 km^2),水域面积增长主要来源于农业(0.17 万 km^2)及林地用地(0.13 万 km^2),而面积净减少的主要有草地、农业及其他用地类型.其中草地面积减少主要流向林地(3.41 万 km^2)及农业用地(1.39 万 km^2),农业面积减少主要流向林地(3.35 万 km^2)及草地用地(1.63 万 km^2).

从“三生”功能时空动态变化看,20 余年,生活功能面积增加了 4218km^2,而生产功能面积减少了 1608km^2,生态功能面积减少了 2610km^2.生活功能面积增加的主要来源为城镇、农村用地,其中城镇用地增长较快,且呈加速趋势.生产功能面积减少的来源分为两部分,其中农业用地面积持续流出,呈现出加速趋势,而工业用地面积稳定增长,但是工业用地增加的面积远少于农业用地流出的面积.生产功能面积减少的来源分为两部分,其中草地、其他用地面积

持续流出,呈现出加速趋势,而林地、水域用地面积稳定增长,但是增加的面积远少于流出的面积.探讨“三生”功能演变的关键驱动因素,工业用地与城镇用地面积的扩张,主要归因于改革开放以来,中国经济快速增长背景下,城市化进程与工业生产活动对土地资源的大规模需求.农村生活用地的增长主要归因于 21 世纪初期农村人口的持续攀升、家庭户数的增多以及新住宅建设所占用的土地,这共同促成了农村生活区域面积的扩张[13].至 21 世纪初,工业经济基础薄弱,远未普及,外出务工现象并不盛行,大量农村劳动力投身于荒地开发,由此推动了农业用地面积的逐渐扩大.伴随中国经济的迅猛发展,越来越多的适龄农村人口选择外出务工,这不仅导致了农田的闲置与荒废,还伴随着城市化进程的加速推进,农田被不断侵占,从而使得农业用地面积在 21 世纪后呈现出减少的趋势.近年来,国家高度关注长江上游地区的农业生产和农村居民福祉,采取了多项举措,包括大幅降低农业税费、实施全面的农业生产支持与补贴政策,以及推动农业土地的标准化流转,这些措施有效提升了农田的使用效率和产出效益.水域生态用地的增长显著得益于生态保护政策的推行,中国已推出针对西部地区的水环境整治策略,并且各城市着重于构建水生生态系统.其他类型的用地显著缩减,主要归因于粗犷型的快速扩张模式,包括过度放牧、过度开垦以及粗放采矿等活动引发了土地退化问题.随着气候条件的演变,土地大面积出现了荒漠化和盐碱化现象.林地、草地生态区域的演变显著地受到了城市化进程的驱动.

表 2 土地利用转型转移矩阵(km^2)

Table 2 Land use transformation and transfer matrix(km^2)

年份			2023								总计	面积变化
			生产功能		生活功能		生态功能					
			农业	工业	城镇	农村	林地	草地	水域	其他		
2000	生产功能	农业	213903	2771	2646	1961	34768	13932	1782	46	271808	−5852
		工业	45	239	69	7	45	33	3	0	440	4244
	生活功能	城镇	115	31	1665	13	37	14	31	1	1907	3302
		农村	987	76	255	1532	133	76	47	4	3110	916
	生态功能	林地	33587	785	245	241	446687	34185	1353	440	517525	8119
		草地	16329	730	255	235	43121	239797	1216	4594	306278	−12954
		水域	941	47	72	34	296	389	5295	56	7128	2684
		其他	49	5	1	2	557	4899	87	13155	18755	−459
		总计	265956	4685	5209	4026	525644	293324	9813	18296	1126952	0

2.2 “三生”功能分布格局特征

使用 Landsat 卫星监测数据,结合生态指数,计算出长江经济带上游“三生”功能的空间分布指数,并使用 ArcGIS 的自然断点法把指数值分为五类,完成空“三生”功能地理分布图(图 1).

2.2.1 生产功能呈北高南低的空间分布 长江经济带上游生产功能指数在 0.01~0.23 之间,高值、低值区聚集分布特征显著,总体特征如下:①生产 功能高值区与低值区数量占比接近,47 个地级市中、高值区、低值区域各占 36.17%及 44.68%,高、较高、中等、较低、低值区分别为 7 个、10 个、9 个、15 个和 6 个,且具有显著的正态分布特征.②高值区(0.17~0.23)沿四川东部呈带状分布,主要包括广安、德阳、资阳及自贡等,这些地区位于成渝城市群的结合地带,在成都与重庆两大城市快速发展的带动下,成渝中部地带的交通条件得到了较大的改善,形成了连接成都、重庆的产业链,工业产业发达,城镇化水平持续增长.③低值区(<0.03)主要集中在四川的西部及云南的西北部等地区,以阿坝州、甘孜州、迪庆州及丽江等地,呈现出斑块聚集现象,主要位于长江上游发源地,主要因为这些地区主要以山地为主,人口密度较小,主要以传统的农业种植产业为主,地区经济水平、工业化水平较低,人口密度较低,整体生产能力较弱.

2.2.2 生活功能水平由北到南高低相间分布,生活功能指数由中心平原地带向四周山地逐渐减小,遵循“中心~外围”模式[16].长江经济带上游生活功能指数在 0.01~0.08 之间,高值区、低值区数量差异较大,总体特征如下:①众数与平均值比较接近,表明生活功能水平相对集中,但是地区之间的离散程度扩大,如最大值成都为 0.08,最小值迪庆州为 0.01,平均值

为 0.04,表明区域内不同城市之间的生活功能存在明显的差异.②高值区(0.08)主要位于成都,长江经济带上游主要为山地,地势落差较大,在山地之间存在大小不等的平原地带,而成都平原是长江上游最大的平原区,四川省的自然资源、社会资源及政策资源等都倾向于此,城镇基础设施完善,形成了良好的城镇联动,因而宜居性较高.③低值区(0.01~0.02)主要分布于四川西部、云南西部及贵州东部等地区,包括阿坝州、甘孜州、临沧、铜仁及毕节等地级市,这些地区多为重要的生态功能保护区.④生活功能聚集特征的区域存在异常波动,高值区周围分布着很多低值区,主要与地形地貌及城市经济发展水平相关.绵阳,乐山及昆明等地生活功能相对较高,与成渝城市群的辐射带动有较大关系.

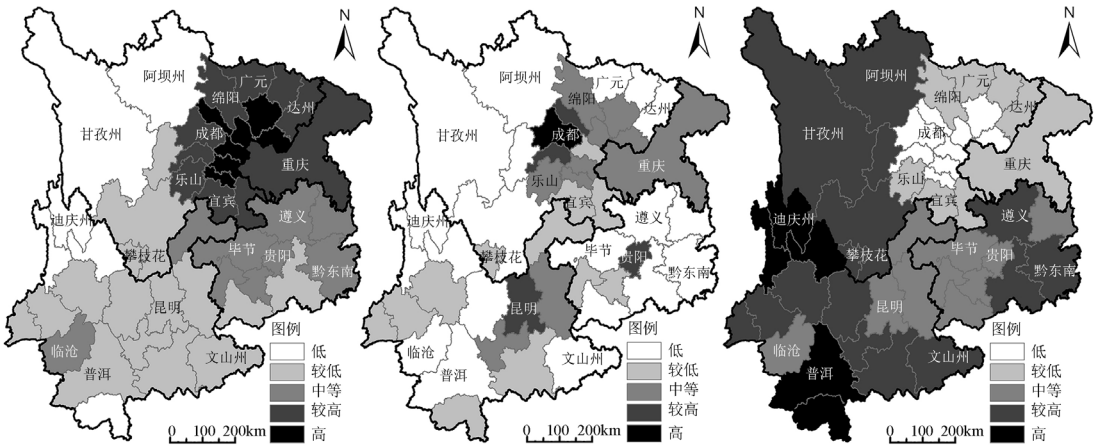


图 1　“三生”功能地理分布

Fig.1　Geographical distribution of the production~life~ecology function

a.生产功能　b.生活功能　c.生态功能

2.2.3　生态功能水平与地形地貌呈显著相关　长江经济带上游生态功能指数在 0.05~0.66 之间,且生态功能呈现出规律性变化趋势,总体特征如下:①生态功能的地理分布梯度差异显著.生态功能的高、中、低值区域数量分别为 20 个、10 个、17 个.最高值怒江州为 0.66,最小值资阳为 0.05,平均值为 0.27,标准差为 0.21.②高值区在四川西部、云南西部等高原山地等地区聚集,主要为阿坝州、甘孜州、迪庆州及普洱等,这类地区地势险峻,植被丰富,水网密集.③低值区域主要位于四川省东部、重庆市等地,包括广安、成都、自贡以及重庆等城市,其水系网络密度相对较小.近年来,这些地区的土地开发活动显著增强,导致其原有的生态系统服务功能有所下降.

3　协同发展驱动因素

3.1　自然地理因素

长江经济带上游的地形地貌及气候条件是“三生”功能空间分布的先决条件,自然资源禀赋的差异导致了不同城市的发展路径差异.长江上游地区地形复杂,山地占比面积较大,因此长江流域形成的水道、港口成为了重要的交通网络,大宗货物常采用水运在长江流域进行运输,形成了重要的贸易线,比如重庆等城市充分利用长江流域的水路优势,与武汉、上海等形成了密切的经济带.生活用地只能集中在地势平坦、土壤肥沃的平原地带,如成都、昆明等.而大部分城市只能依山就势建造,生活用地面积狭小且利用度高,城市与山地生态环境融合,形成了西部地区独特的山地城镇,比如重庆、贵阳等.此外,地形因素还间接地影响了城市气候,平原地区海拔低、土壤肥沃,交通便利,更适合农作物的大面积种植,而山地地区农作物的单位产量相对较低.

3.2　社会经济因素

“三生”功能的演变本质上是土地利用功能的变化,自然因素决定了“三生”功能分布的先天禀赋,而经济发展、区域政策等人工因素对于土地利用的影响力较大,且具有可操作性.基于此,选取 2000、2010 及 2023 年长江经济带上游 47 个城市的 10 项代表社会经济、区域政策等水平的指标.使用 SPSS 对相关数据进行主成分分析,探究影响长江经济带上游

“三生”功能演变的主要推动因素.对 3 个年份的数据进行分析[14](表 3),由表 3 结果可知,第一、第二主成分对总体方差的累计解释均超过了 80%,因此,本次分析提取前 2 位的主成分,保证数据能够反映出数据的完整信息.

使用最大方差法对 2000、2010 及 2023 年的主成分荷载进行旋转分析,结果表明,总人口(X_1)、GDP(X_4)、城镇居民可支配收入(X_5)、社会消费品零售总额(X_6)、工业增加值(X_8)、房地产业增加值(X_9)和实际利用外资(X_{10})与第一主成分呈高度正相关.而粮食总产(X_2)、农业机械总动力(X_3)和农林牧渔业增加值(X_7)则与第二主成分呈现高度正相关.部分数据与第一主成分、第二主成分呈现出不同方向的关联(表 4).根据多元回归模型的分析,影响长江经济带上游“三生”功能变化的社会因素可以经一步归纳为人口与经济、农业与技术.具体而言,20 年间长江经济带上游常住总人口共增加了 1055 万人,为了提高城镇化率,改善居民居住条件,城镇用地快速扩张.产业结构调整与经济发展为基础设施建设投入了大量的资源,其中工业产业、房地产产业的产值分别增加了 13 倍及 29 倍.第二主成分中的主要因素为农业与技术,随着农业现代化发展,技术水平提高了耕地的边际效用与单位生产率,在耕地面积、农业从业人口减少的背景下,基本保证了粮食需求增加的供需平衡[15].在经济效益的驱使下,近年来,长江经济带上游的第一产业农林渔牧产值增速缓慢,主要源于农业生产占地广且单位经济价值远低于工业用地及建设用地.在经济发展为主的大背景下,各城市为了追求经济效益的最大化,促使城镇用地占用了耕地,水域等,导致城市生态环境质量下降.虽然技术的发展,提高了耕地的粮食单产,但是耕地面积的减少及大量的弃耕耕地,导致长江经济带上游粮食总产量增长放缓,粮食的供需出现了危机,政府部门需要通过合理的土地整治,农业补贴等措施改善当前面临的农业生产困境.

表 3 载荷统计

Table 3 Load statistics

变量指标	2000		2010		2023	
	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分
总人口	0.82	0.51	0.85	0.03	0.84	0.24
粮食总产	−0.06	0.87	−0.09	0.86	−0.17	0.82
农业机械总动力	0.03	0.86	0.02	0.84	0.90	−0.16
GDP	0.94	0.08	0.92	−0.46	0.93	−0.14
城镇居民可支配收入	0.87	0.21	0.79	−0.31	0.68	−0.33
社会消费品零售总额	0.94	0.02	0.73	−0.31	−0.24	0.83
农林牧渔业增加值	0.16	0.86	−0.24	0.93	0.42	0.32
工业增加值	0.91	0.11	0.84	−0.20	−0.12	0.75
房地产业增加值	0.89	−0.13	0.81	0.25	0.75	0.37
实际利用外资	0.90	−0.11	0.70	−0.41	0.82	−0.42

表 4 主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix

2000		2010		2023	
方差百分比(%)	累积方差贡献率(%)	方差百分比(%)	累积方差贡献率(%)	方差百分比(%)	累积方差贡献率(%)
64.15	64.15	57.69	57.69	56.13	56.13
26.23	90.38	29.32	87.01	26.08	82.21

4 结论

4.1 从“三生”功能时空动态变化看,生活功能面积增加了 4218km^2,而生产功能面积减少了 1608km^2,生态功能减少了 2610km^2.生活功能面积增加的主要来源为城镇、农村用地,其中城镇用地增长较快,且呈加速趋势.生产功能面积减少,工业用地增加的面积远少于农业用地流出的面积.生产功能面积减少,林地、水域增加的面积远少于草地、其他用地流出的面积.

4.2　生产功能呈北高南低的空间分布.生产功能指数在 0.01~0.23 之间,高低值区聚集分布特征显著.生活功能水平由北到南高低相间分布,生活功能指数由平原地带向周围山地逐渐减小,遵循“中心~外围”原则.生态功能水平与地形地貌呈显著相关.长江经济带上游生态功能指数在 0.05~0.66 之间,生态功能空间地区差异明显.

4.3　影响长江经济带上游“三生”功能演变的主要要素包括自然因素与社会经济因素,其地形复杂,生活用地只能集中在地势平坦、土壤肥沃的平原地带,生态用地主要位于高原山地.社会经济因素主要包括人口与经济、农业与技术,推动了生产型建设用地扩张.

5　建议

随着工业化、城镇化进程加快,当前长江经济带上游生态用地流失严重,而生产、生活用地结构不合理,土地利用效率低下.基于此,应该加强四川西部、云南西部等上游的生态环境保护,同时注重重庆、贵州流域的生态环境完整性,防止城市快速扩张导致生态用地破碎化现象,保证流域的生态系统稳定健康发展.加强流域经济带统一管理,构建长江经济带上游共建共治共享机制.

参考文献：

[1] 黄贤凤,勾　容,苏维词.贵州省生态系统服务权衡/协同与簇情景模拟 [J]. 中国环境科学, 2025,45(2):966−980.
Huang Xianfeng, Gou Rong, Su Weici. Scenario simulation of ecosystem service trade−off/synergy and cluster in guizhou province [J]. China Environmental Science, 2025,45(2):966−980.

[2] Wu W, Zhang J, Bai Y, et al. Aboveground biomass dynamics of a coastal wetland ecosystem driven by land use/land cover transformation [J]. Remote Sensing, 2023,15(16):3966.

[3] 王雨枫,曹洪军.东北地区城镇一体化时空分异及影响机制 [J]. 中国人口·资源与环境, 2022,32(3):145−150.
Wang Yufeng, Cao Hongjun. Spatio−temporal differentiation and influence mechanism of urban integration in northeast China [J]. China Population, Resources and Environment, 2022,32(3):145−150.

[4] Yufeng W. Analysis on the evolution of spatial relationship between population and economy in the beijing−tianjin−hebei and shandong region of China [J]. Sustainable Cities and Society, 2022,83:103948.

[5] Li S, Liu Y, Wei G, et al. Carbon surplus or carbon deficit under land use transformation in China? [J]. Land Use Policy, 2024,143:107218.

[6] 李　岩,林安琪,吴　浩,等.顾及空间尺度效应的城市土地利用变化精细化模拟 [J]. 地理学报, 2022,77(11):2738−2756.
Li Yan, Lin Anqi, Wu Hao, et al. Fine simulation of urban land use change considering spatial scale Effect [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(11):2738−2756.

[7] Erb K H, Gingrich S, Krausmann F, et al. Industrialization, fossil fuels, and the transformation of land use [J]. Journal of Industrial Ecology. 2008,12(5/6):686−703.

[8] Mishra A, Humpenöder F, Churkina G, et al. Land use change and carbon emissions of a transformation to timber cities [J]. Nature Communications, 2022,13(1).

[9] Mishra A, Humpenöder F, Churkina G, et al. Land use change and carbon emissions of a transformation to timber cities [J]. Nature Communications, 2022,13(1).

[10] 王雨枫,曹洪军.中国城市群城镇综合发展测度及影响因素 [J]. 中国软科学, 2022,(4):87−94.
Wang Yufeng, Cao Hongjun. Measurement and influencing factors of comprehensive urban development in China's urban agglomerations [J]. China Soft Science, 2022,(4):87−94.

[11] Schielein J, Börner J. Recent transformations of land−use and land−cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon [J]. Land Use Policy, 2018,76:81−94.

[12] Rahman M A, Ahsan S, Hartschuh J, et al. Soil Phosphorus Partition and Transformations Under Diverse Land Uses [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2024,55(15):2232−2247.

[13] Wang Y. Spatial–temporal evolution of “Production−Living−Ecologica” function and layout optimization Strategy in China: a case study of Liaoning Province, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023,30(4):10683−10696.

[14] Liu Y, Li J, Yang Y. Strategic adjustment of land use policy under the economic transformation [J]. Land Use Policy, 2018,74:5−14.

[15] 吴皓晴,刘子刚.吉林省生态系统碳储量影响因素分析 [J]. 中国环境科学, 2024,44(3):1706−1717.
Wu Haoqing, Liu Zigang. Analysis of influencing factors of ecosystem carbon storage in jilin province [J]. China Environmental Science. 2024,44(3):1706−1717.

作者简介：王雨枫(1989−),男,四川绵阳人,助理教授,博士,主要从事城市生态模拟,资源配置管理研究.lyfq2018@foxmail.com.