

生态敏感区村域尺度土地生态经济 系统的耦合协调发展研究 ——以重庆市江津区为例

张传华¹ 张凤太¹ 王钟书² 邓炜^{1, 31}

(1. 重庆理工大学 管理学院, 重庆 400054;

2. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042;

3. 重庆铁路投资集团有限公司, 重庆 400025)

【摘要】: 评估土地生态经济系统的耦合协调发展状况, 有助于揭示区域人地关系地域系统的动态演化规律, 促进土地资源可持续利用。以三峡库区生态敏感区江津区为例, 在剖析土地生态经济系统耦合机理的基础上, 构建土地生态经济系统耦合协调发展的评价指标体系, 通过土地综合评价和耦合协调度测度模型研究村域尺度土地生态经济系统的耦合协调发展特征。结果表明: (1) 江津区土地生态系统发展逐渐变坏, 总体表现出低等级村域空间挤压高等级村域空间的趋势, 且土地生态系统发展表现出明显的空间分异; (2) 江津区土地经济系统发展呈现向好趋势, 但土地经济系统发展具有较大的空间差异, 并呈现出显著的城乡分界; (3) 江津区土地生态经济系统的耦合协调发展朝着子系统相互促进的方向演进, 但全区整体的土地生态经济系统耦合协调水平还有待提升; (4) 江津区村域土地生态经济系统的耦合协调发展具有显著的空间差异, 高耦合协调的村域零星分布, 中、低耦合协调的村域广泛分布, 失调村域主要分布在城区范围之外。

【关键词】: 土地利用 耦合度 协调度 生态敏感区 江津区

【中图分类号】: F301.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)07-1547-11

土地利用与经济发展是一个人地交互系统, 土地一方面通过物质资源和空间承载为经济发展创造条件, 另一方面又通过自身状态及变化反映人类活动对土地自然生态系统的影响^[1~3]。一段时间以来, 我国经济高速增长伴随着许多不合理的开发利用活动, 造成生态空间压缩、土地质量下降、土地损毁退化、生态系统服务供给能力降低等一系列问题, 不仅严重制约土地资源的可持续利用, 更对区域生态安全格局构成威胁^[4~6]。特别是在流域、山地丘陵、海岸湿地等生态敏感区, 经济活动对土地自然生态系统的影响范围更广、程度更深、后果更为严重^[7, 8]。进入 21 世纪之后, 国家先后启动和持续实施了一系列生态建设工程, 旨

作者简介: 张传华(1978~), 男, 讲师, 主要研究方向为国土资源利用与开发研究. E-mail: 623680115@qq.com

基金项目: 国家社会科学基金西部项目(18XSH017); 国家社会科学基金青年项目(13CGL110); 重庆市教育委员会人文社会科学基金项目(19SKGH132)

在修复和保护土地生态,促进人地系统耦合协调发展^[9]。2016年,党中央和国务院进一步部署实施山水林田湖草生态保护修复工程,开展大规模国土绿化行动,促进高质量发展^[10]。可见,正确处理经济发展和土地利用、生态保护之间的关系已上升为国家战略。

生态敏感区是指对区域总体生态环境起决定作用的生态要素和生态实体,既是一个区域概念,又是一个系统概念,其核心反映的是一个入地关系敏感的复杂生态系统^[11]。由于生态要素结构单一、生态实体本底脆弱,生态敏感区对人类生产、生活活动具有特殊敏感性,极易受到人为的不当开发活动影响而产生生态负面效应^[12]。随着城乡社会经济转型以及乡村振兴战略的实施,生态敏感区面临的内外环境更为复杂,产业与生态博弈、发展与保护协同等问题也将更加突出。土地生态经济系统理论将区域生态环境保护与经济社会发展纳入一个协同分析框架,认为人工控制的土地经济系统和土地生态系统耦合构成土地生态经济系统,土地生态经济系统的平衡与协调是实现区域土地资源可持续利用基础^[13]。这对于正确处理以土地等资源要素为载体的生态保护和以经济活动为载体的社会发展之间的关系,促进生态敏感区可持续发展具有重要借鉴意义。

土地生态经济系统的概念源于西方生态经济学、景观生态学的发展,由我国著名学者王万茂扬弃提出^[14]。随后,学术界围绕土地生态经济系统的理论内涵^[15]、实践意义^[16]、稳定性^[17]等问题开展了大量研究工作,极大地推动了土地生态经济系统认知和土地学科的发展。土地生态经济系统耦合源于对系统演化过程的理解。从系统科学角度出发,土地生态经济系统的有序健康发展取决于土地生态系统与土地经济系统的相互作用关系,也即二者的耦合状态,土地生态经济系统耦合的最终目的在于实现土地生态系统与土地经济系统在结构、层次上的协调,在时间、空间上的耦合^[18]。因此,科学评估土地生态经济系统的耦合发展状态是推动系统健康有序发展的重要手段和前提^[19]。目前,国内外关于土地生态经济系统耦合协调发展的研究多聚焦于区域生态经济系统^[20,21]或生态经济效益^[22,23]等问题,鲜见将土地生态经济系统作为研究对象的研究。随着可持续发展观的不断传递,学者们虽然不断深化着土地生态与经济社会协同的发展理念,但当前研究仍存在诸多细微的问题有待拓展:一是土地生态经济耦合的评价因子未能充分考虑土地生态要素与经济社会要素的相关性,可获取数据有限,缺乏全面系统研究;二是研究的区域性未能得到充分重视,研究单元多以某个城市为代表,缺乏统筹城乡全域格局的全方位分析;三是研究空间尺度过大,不能充分反映土地生态经济系统的内涵及系统中多层次的人地作用关系,也无法反映人地交互过程中局地或微观尺度的土地生态问题及空间异质性和对系统发展的影响。

基于此,本文以三峡库区生态敏感区江津区为例,在剖析土地生态经济系统耦合机理的基础上,构建土地生态经济系统耦合协调发展的评价指标体系,并运用耦合协调度分析模型,融合土地利用、遥感监测、实地调查采样、农业农村统计等多源数据,分析2010~2018年江津区村域尺度的土地生态系统与土地经济系统的耦合协调关系及其时空演化格局,以期为区域人地系统耦合协调发展、国土空间格局优化、生态保护修复以及社会经济可持续发展等提供借鉴。

1 研究思路与方法

1.1 土地生态经济系统的耦合机理

土地生态经济系统是由人工主导的土地经济系统和以自然为基础的土地生态系统耦合构成的复合系统^[14],其耦合机理体现在自然生态要素和社会经济要素的有机连接上^[24],本质上反映的是一定地域范围内的人地相互作用关系。这种相互作用关系包含3个层次的内涵(图1)。

I:初级层次——基础供需。人类利用土地的原始动力在于获取基础物质资源和空间承载,或者说这种基础物质资源和空间的供需是伴随着人类活动自始至终的。原始社会,土地、河流、作物等资源主要满足人类最基本的生存需求,并提供简单的商品交换。至今,人类仍然通过对这些基础物质资源的直接或间接利用,不断创造衍生产品和使用价值,满足自身需求。这种基础供需构成了土地生态系统和土地经济系统耦合的内在动力^[25],但它从程度上一种简单的利用与被利用关系,不存在或很少存在人类活动对自然生态要素的主观改造。土地生态系统的供给能力取决于资源、环境、物质、空间的基本结构和功能,由于生态

系统本身具有脆弱性，一旦发生逆向演替或遭受不可恢复的破坏，人类将失去生存和发展的基础条件。从这个层面上说，土地生态系统始终是第一性的。

II: 中级层次——经济产出。随着城市的出现和商品经济的发展，人类对土地的需求由简单的物质供给上升到价值的生产和积累，经济利益与目标赋予了土地社会经济的属性。土地经济系统以提升要素使用效率和经济产出效益为目标推动自身发展，不可避免地通过要素投入影响着土地生态系统的状态^[26]，如产业结构会影响土地利用结构、生产方式会影响土地景观、格局等。相对于初级层次而言，人类与土地之间不再是简单的利用与被利用关系，而是一种需求导向下的投入产出关系，社会经济要素与自然生态要素通过投入产出建立联系，最终实现自然再生产和社会再生产的统一，推动系统向高层次发展^[27]。这一层次土地生态经济系统发展具有典型的经济驱动特征，系统中人地相互作用的程度会随着经济目标的提升而持续增强。但过高的经济需求一旦超过土地生态系统承载力，将会打破土地生态经济系统平衡，不仅不利于经济效益的持续增长，还会对土地生态环境造成破坏。

III: 高级层次——可持续生产与消费。随着可持续发展理念的深入以及土地生态环境问题的涌现，人们逐渐认识到单纯的投入产出关系不足以构成社会经济发展的持续动力，有必要推动土地生态经济系统更高层次的耦合演进。依托生产力发展、需求增长和技术、管理水平的提升，人们通过生产管理、土地改良、生态治理、规划保护等一系列手段改变生态要素的属性、控制投入产出的强度、调节生产结构，从而改变土地经济生态系统中社会要素与自然生态要素的相互作用方式与程度^[28]。在这一层次中，经济活动下的产出模式开始转化为可持续的生产与消费模式，土地生态系统与土地经济系统成为协同共生关系，人地相互作用程度不再单纯附和经济目标增长的规律，而是根据区域主体功能、社会经济发展水平、资源环境承载力等不同表现出空间和时间上的差异性，土地生态系统的属性、结构、功能等与土地经济系统要素、效率、目标等表现出较强的互适性。

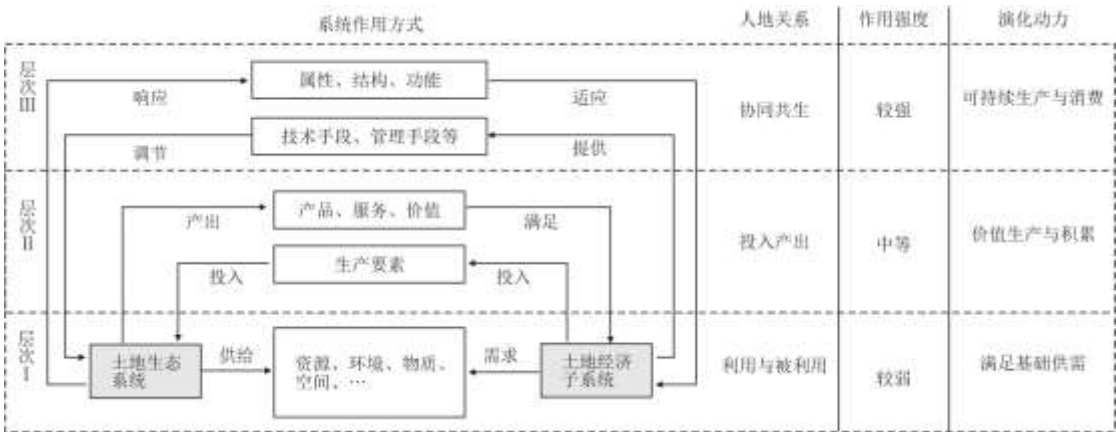


图 1 土地生态经济系统的耦合关系

1.2 土地生态经济系统耦合协调发展的测度指标

土地生态经济系统耦合协调发展的测度指标体系应尽可能全面反映土地生态子系统与土地经济子系统的属性、结构、功能与目标，并能揭示子系统间相互作用的方式、强度等演化特征，同时还要关照特殊人地关系地域系统(本文为生态敏感区)下的生态环境问题。为此，本文借鉴相关研究成果^[22, 29~31]，同时考虑数据的可获取性，从土地生态经济系统的内涵及其耦合机理出发，结合研究区自然要素属性、土地利用方式、投入产出结构、生态景观特征等方面的特征，构建土地生态经济系统耦合协调发展的测度指标体系(表 1)。指标权重运用层次分析法确定，通过层次分析法软件 yaahp10.0 实现，指标数据获取后按照指标属性，运用极值标准化方法进行标准化处理。

土地生态子系统通过生态基础、生态结构、生态损毁与退化和生态建设与保护四个层面来反映。其中生态基础表征土地的自然质量和资源供给能力，揭示空间要素的基础特征及其变化，是一般土地生态系统评价必须考虑的基础性指标层，综合选取降水、土壤、地形、植被等 8 项指标来反映。生态结构表征土地生态系统的稳定性与适应能力，生态敏感区往往由于用地结构紊乱、景观格局单一等具备较强的生态脆弱性，因此选取土地利用类型多样性指数、土地利用格局多样性指数和斑块多样性指数来反映土地生态系统景观格局的复杂性，选取生态用地比例和城镇建设用地比例来综合反映用地结构以及生态空间与经济空间之间的竞争关系。生态损毁与退化揭示生态敏感区直接或间接的经济活动对土地生态系统产生的影响及程度。本文研究区位于西南喀斯特岩溶山区，除了不合理的开发利用活动造成的土地损毁外，自然灾害和土壤侵蚀也是造成区域生态退化的重要因素，因此选取生态用地年均退化率、土壤侵蚀程度等 4 项指标来反映。生态建设与保护表征社会经济要素对土地生态系统的改造情况，同时揭示生态敏感区经济活动对土地利用变化的响应及人地相互作用的协同水平，选取未利用土地开发与改良面积年均增加率等 4 项指标来反映。

土地经济子系统的状态通过投入、产出和管理 3 个层面来反映。其中投入产出是土地经济活动的核心，表征土地利用经济效益的大小和土地经济系统的运行水平，同时揭示了社会经济要素与自然生态要素相互作用的强度、深度和广度，参考土地经济评价的相关研究选取地均固定资产投资、地均 GDP 等 9 项指标来反映。管理是土地经济子系统运行发展不可或缺的要素，它不仅参与土地经济活动的全过程并影响着投入产出关系和结构的合理性，更反映土地经济系统的稳定性和可持续发展水平。同时，对于生态敏感区而言，产业结构的合理性、土地市场的稳定性以及土地利用的集约性等管理状况也会直接影响到土地生态系统结构以及人地作用强度，因此，本文围绕产业结构、土地市场及土地利用效率等综合选取了二、三产业产值占 GDP 比重、土地闲置率等 4 项指标。

表 1 村域尺度土地生态经济系统耦合协调发展测度指标体系

子系统层	状态层	权重	指标层	权重	指标属性
土地生态子系统	生态基础	0.25	年均降水量	0.0233	正向
			土壤有机质含量	0.0437	正向
			有效土层厚度	0.0364	正向
			土壤碳蓄积量	0.0331	正向
			坡度	0.0216	负向
			高程	0.0190	负向
			植被覆盖度	0.0351	正向
			生物量	0.0379	正向
	生态结构	0.25	土地利用类型多样性指数	0.0544	正向
			土地利用格局多样性指数	0.0308	正向
			斑块多样性指数	0.0308	正向
			生态用地比例	0.0724	正向
			城镇建设用地比例	0.0616	负向

	生态损毁与退化	0.25	挖损、塌陷、压占土地比例	0.0408	负向
			自然灾害毁土地比例	0.0408	负向
			生态用地年均退化率	0.0695	负向
			土壤侵蚀程度	0.0988	负向
	生态建设与保护	0.25	未利用土地开发与改良面积年均增加率	0.0988	正向
			人均林木蓄积量	0.0420	正向
			人口与生态用地增长弹性系数	0.0598	正向
			GDP 与生态用地增长弹性系数	0.0494	正向
土地经济子系统	投入	0.33	地均固定资产投资	0.0833	正向
			地均劳动力人数	0.0833	正向
			农作物播种面积	0.0833	正向
			单位耕地面积农药化肥施用量	0.0833	负向
	产出	0.33	地均 GDP	0.1104	正向
			农林牧渔总产值	0.0646	正向
			二、三产业增加值	0.0550	正向
			单位耕地面积粮食产量	0.0486	正向
			地均社会消费品零售总额	0.0550	正向
	管理	0.34	二、三产业产值占 GDP 比重	0.0833	正向
			工业用地交易价格指数	0.0833	负向
			土地闲置率	0.0833	负向
			土地流转率	0.0833	正向

1.3 土地生态经济系统耦合协调发展的测度模型

1.3.1 综合评价模型

运用多因素综合评价模型分别计算土地生态子系统和土地经济子系统的发展指数，公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^n (w_i \times Y_k) \quad (1)$$

式中：S 表示土地生态子系统(或土地经济子系统)的综合发展指数； w_i 表示单个指标相对于土地生态子系统(或土地经济子系统)的权重； Y_i 表示单个指标的标准化值。

1.3.2 耦合度模型

耦合度为物理学概念，表示两个或两个以上的系统或运动方式之间相互影响、相互作用的关系，借助耦合度函数可以揭示土地生态系统与经济发展系统之间相互作用、相互影响的内在协同机制^[32, 33]。耦合度的计算方法为：

$$C = \left\{ \frac{S_1 \times S_2}{((S_1 + S_2) / 2)^2} \right\}^k \quad (2)$$

式中：C 为耦合度； S_1 、 S_2 分别为土地生态系统发展指数与土地经济系统发展指数。C 的取值区间为[0, 1], C 越大，说明系统之间的耦合度越高，彼此联系越紧密；k 为调节系数，在实际运用中应使 $k \geq 2$ ，本文取 $k=2$ 。

1.3.3 耦合协调度模型

耦合度模型反映系统之间的相互联系的紧密程度，但不能反映系统相互作用的水平和方向。因此，本文借鉴相关研究^[34, 35]，需引入耦合协调度模型，综合反应土地生态经济系统的耦合协调水平。耦合协调度计算方法为：

$$R = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

$$T = \alpha \times S_1 + \beta \times S_2 \quad (4)$$

式中：R 为耦合协调度；T 为系统间综合协调指数； α 、 β 为待定系数且 $\alpha + \beta = 1$ ，文本认为土地生态系统与土地经济系统相互作用，彼此同等重要，故取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。根据耦合协调度的大小变化可以判断系统的耦合协调发展状态。同时参考相关研究^[32, 36]，本文认为若耦合协调指数小于 0.4，系统即处于失调状态；若耦合协调指数大于 0.4，则按照等距离区间将土地生态经济系统划分为低耦合协调 ($0.4 \leq R < 0.6$)、中耦合协调 ($0.6 \leq R < 0.8$)、高耦合协调 ($R \geq 0.8$) 3 个发展类型。

2 研究区概况与数据

2.1 研究区概况

江津区位于重庆市西南部， $105^{\circ} 49' N \sim 106^{\circ} 38' N$ ， $28^{\circ} 28' E \sim 29^{\circ} 28' E$ ，地处三峡库区重庆段尾端，紧邻重庆主城区，不仅是主城区重要的生态屏障，更是整个三峡库区生态安全的咽喉部位。四面高山环抱，境内丘陵起伏，地貌以丘陵兼具低山为主，地势由南北向长江河谷逐级降低，海拔高度 178.5~1709.4m，幅员面积 3220.1km²。气候属北半球亚热带季风气候区，常年平均气温 18.4℃，年平均降雨量 971.5mm，年湿度 81%。江津区位于重庆市现代化都市圈内，紧邻重庆主城，区位优势明显、产业基础坚实。截止 2018 年底，全区全年实现地区生产总值 902.3 亿元，同比增长 10.0%，年末常住人口 138.7 万人，城镇化率 68.43%。围绕重庆重要的制造业基地、都市休闲度假旅游胜地、城郊特色效益农业示范基地等发展定位，江津区不断推进城市基础设施建设、产业融合和同城融城发展，发展势头迅猛。但由于地处三峡库区生态敏感地带，加之土地资源立体性强，土地生态问题日益严重。全区 25° 以上的坡耕地占耕地总量 1/5 以上，农田水利设施建设相对滞后，坡面水系紊乱，土壤侵蚀严重。森林、草地等生态用地与城镇用地布局不合理，生态屏障功能难以发挥，生态系统服务供给能力每况愈下。加之三峡后续工程对土地生态环境的持续干预，土地生态系统压力较大、可持续发展能力不强，亟待有序协调经济社会发展与土地利用和生态保

护之间的关系，维护区域生态安全。

2.2 数据来源与处理

本研究所需的土地利用数据来源于江津区土地利用变更调查数据库，从中提取土地利用类型、图斑位置、面积等信息，并将耕地、林地、园地、草地、湿地、水域、内陆滩涂和裸地认定为生态用地类型^[37]。降水数据来源于江津区气象站点年际观测数据，土壤数据来源于江津区土壤采样点年际监测数据，通过 ArcGIS10.2 地统计空间插值将其面向化。高程、坡度数据来源于江津区 1:1 万的数字高程模型 (DEM)。植被覆盖度、生物量数据来源于每年 7 月份的 MODIS/TerraNDVI 产品，空间分辨率为 250m×250m, 参考相关研究^[38,39]进行估算。景观格局指数以土地利用变更调查数据库中的地类图斑为基础，运用 Fragstats3.3 计算得出。土壤侵蚀数据来源于江津区 1:1 万土壤侵蚀数据库，从中提取土壤侵蚀程度指数。工业用地交易价格指数、土地闲置率、土地流转率来源于江津区国土部门历年调查统计数据，其中工业用地交易价格指数以镇为单位统计，土地闲置率、土地流转率以村为单位统计。其余社会经济数据来源于历年《江津区统计年鉴》和江津区国民经济和社会发展统计公报。数据获取后，通过 ArcGIS10.2 建立空间数据库进行整合，并统一各专题图件的空间投影坐标系 (Gauss_Kruger,Xian_1980_3_Degree_GK_Zone_35)。

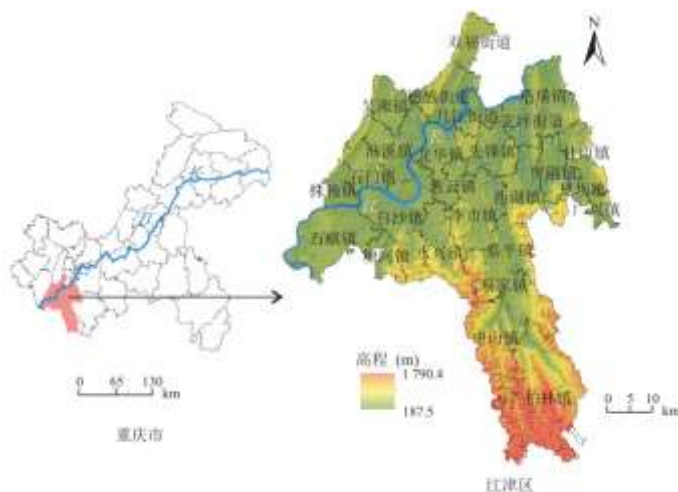


图 2 研究区区位示意图

3 结果分析

3.1 土地生态系统发展特征

根据式 (1) 计算土地生态系统的综合发展指数，运用自然断点法将江津区土地生态系统划分为 I、II、III、IV 4 个等级，分别表示“恶劣”、“较差”、“一般”、“良好”的系统发展状态 (图 3)，并统计不同等级村域出现的频次 (图 4)。总体而言，江津区土地生态系统发展呈现向坏趋势，高等级村域骤减，低等级村域明显增多。土地生态系统良好的村域经历了先大幅减少再小幅增加的发展过程，土地生态一般的村域经历了先大幅增加再大幅减少的发展过程，但总体表现出低等级村域空间挤压高等级村域空间的态势。从空间分布来看，土地生态系统发展较好的区域主要集中于中部偏西。以长江为界，长江南部的土地生态系统发展状态要优于北部，但长江南北土地生态系统等级均有不同程度的下降。其中下降幅度较大的区域主要分布在长江沿线流域，这里不仅分布着江津区城市建成区，也是江津区城镇的主要扩展范围，土地利用变化程度大，生态用地年均退化率高，土地利用的景观格局逐渐趋向均质化，生态结构单一，同时由于紧邻长江水系，是江津区生态最为敏感的区域。此外，江津区土地生态系统发展并未呈现出明显的城乡分界，城区内、城乡结合部以及乡村地域范围内的土地生态系统发展均呈现出

较大的空间差异。

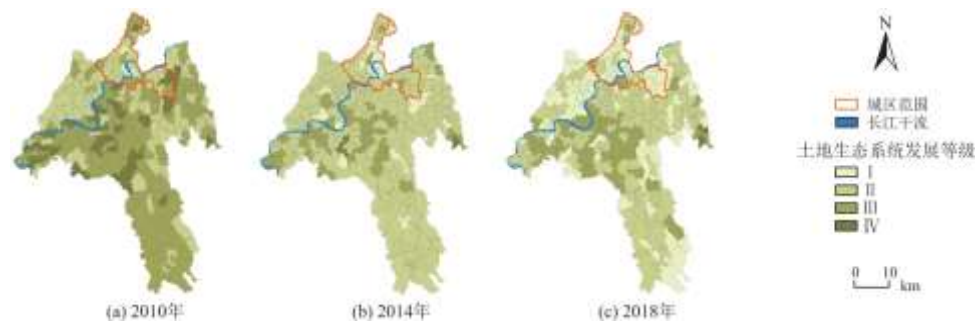


图 3 江津区土地生态系统发展特征

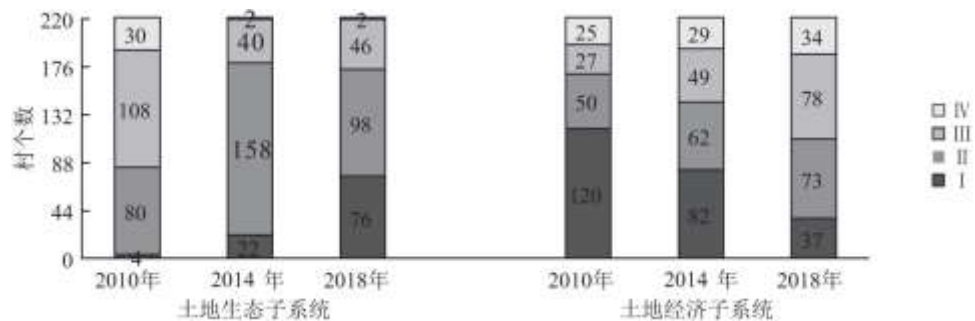


图 4 江津区村域土地生态系统与土地经济系统发展等级频次统计

3.2 土地经济系统发展特征

同样根据式(1)计算土地经济系统的综合发展指数，运用自然断点法将江津区土地生态系统划分为 I、II、III、IV 四个等级，分别表示“恶劣”、“较差”、“一般”、“良好”的系统发展状态(图 5)，并统计不同等级村域出现的频次(图 4)。总体而言，江津区土地经济系统发展呈现向好趋势，中、高等级村域平稳增长，低等级村域显著下降。从空间分布来看，江津区土地经济系统的发展状态同样具有较大的空间差异，但相对于土地生态系统而言，土地经济系统发展呈现出显著的城乡分界，城区范围内的土地经济系统优于城区范围外，且土地经济系统良好的村域基本上都集聚在城区范围内，尤以双福街道和德感街道最为明显。这里是江津区城市核心区和经济发展中心，商业、服务业集中，又是双福工业园和德感工业园两大工业园区的所在地，土地投入产出效益高，劳动力吸纳能力强，土地集约利用程度强，因此土地经济系统长期处于较高的发展水平。此外，随着城乡一体化、特色农产品需求增加以及农业政策的扶持，江津区中部和南部的农业集中区，通过提高土地流转率实现了适度规模经营，农业基础设施建设和新技术的应用也使得土地压力有所下降，其土地经济系统也表现出不同程度的向好发展态势。

3.3 土地生态经济系统的耦合协调发展特征

根据式(2)、式(3)、式(4)计算江津区土地生态经济系统的耦合协调发展指数，进一步按照前文所述标准划分土地生态经济系统的耦合协调发展水平(图 6)，并以村域为单位进行频次统计(图 7)。总体而言，江津区土地生态经济系统的耦合协调发展朝着子系统相互促进的方向演进。2010~2018 年，土地生态经济系统失调的村域明显减少，处于低耦合协调水平的村域经历了先增加后减少的过程，中耦合协调水平的村域则平稳增加，而处于高耦合协调水平的村域基本未发生变化。值得注意的是，江津区大部分地区的土地生态经济系统处于中、低耦合协调水平，高耦合协调的村域较少，且朱昌镇的板桥居委、利民居委、振兴

居委、桥坪村，广兴镇的红塘村、彭桥村、沿河村，塘河镇的石龙门村这 8 个村域始终处于失调状态，说明全区整体的土地生态经济系统耦合协调水平还有待提升。从空间分布来看，村域土地生态经济系统的耦合协调发展具有显著的空间差异，高耦合协调的村域零星分布，中、低耦合协调的村域广泛分布，失调村域主要分布在城区范围之外。从城乡分界来看，城区范围内土地生态经济系统的耦合协调水平有所下降，城区范围外的土地生态经济系统耦合协调水平整体有较大提升。

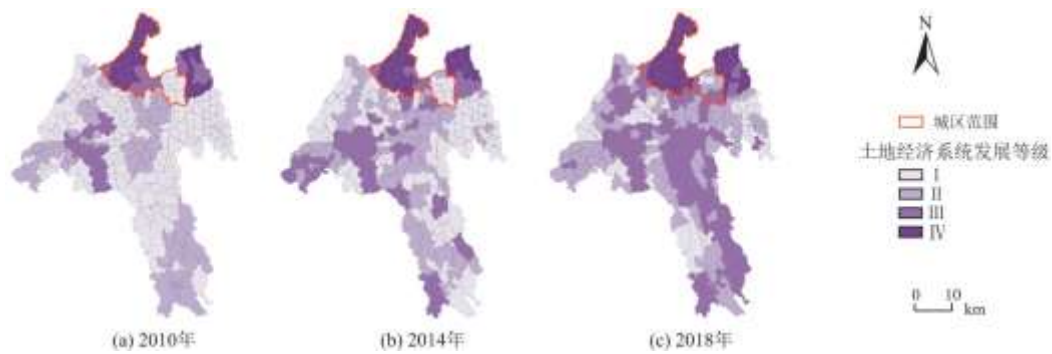


图 5 江津区土地经济系统发展特征

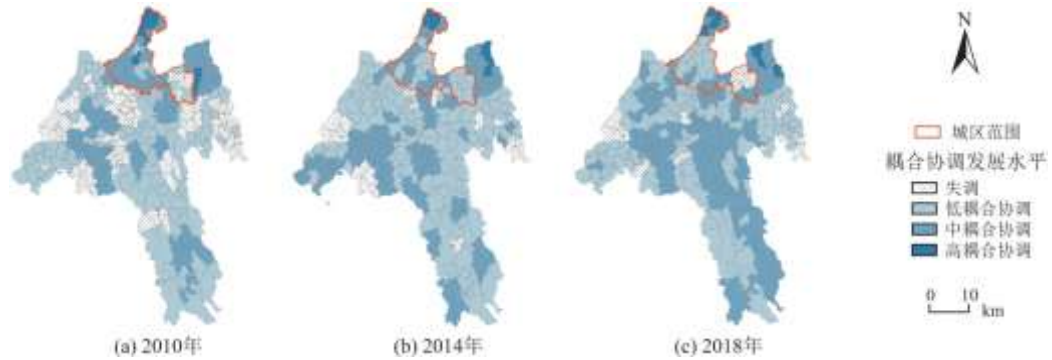


图 6 江津区土地生态经济系统的耦合协调发展特征

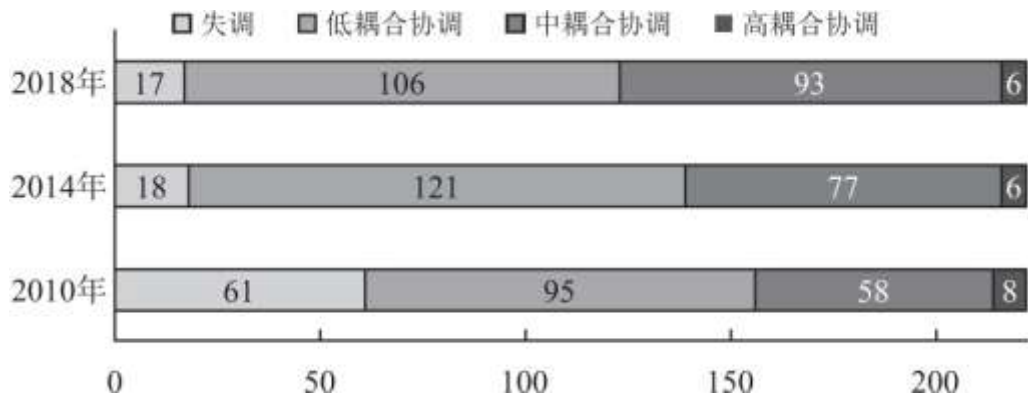


图 7 江津区村域土地生态经济系统耦合协调发展水平频次统计

为进一步剖析土地生态经济系统的发展变化特征，本文将 2010～2018 年分为前(2010～2018 年)、后(2014～2018 年)两个

时期，分别计算不同时期耦合协调度的变动幅度(图 8),并对江津区 222 个村域样本变动幅度的离散统计量进行了统计分析(表 1)。可以发现，相对于前一时期，后一时期的样本最大值、最小值和极差均有所下降，说明土地生态经济系统耦合协调水平的高低差距逐步收缩。但后一时期的变异系数显著提高，数据离散程度增大，说明村域土地生态经济系统耦合协调水平的变化差异更为突出。图 8 反映了前后两个时期耦合协调度变动幅度的空间分布情况，后一时期耦合协调水平下降的区域明显增多，耦合协调水平变化的空间差异明显增强。

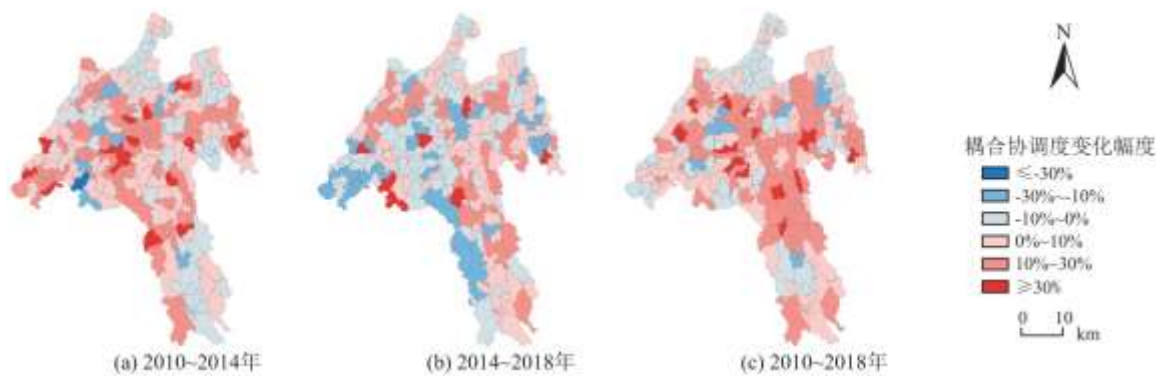


图 8 江津区土地生态经济系统的耦合协调发展变化特征

表 2 江津区村域土地生态经济系统耦合协调度变化幅度统计量

统计量	2010~2014 年	2014~2018 年	2010~2018 年
最大值	58.98	49.82	58.87
最小值	-31.21	-25.13	-21.62
极差	90.19	74.95	80.49
样本均值	9.41	1.34	9.81
标准差	13.87	12.69	13.23
变异系数	1.47	9.46	1.35

通过以上分析可知，研究期间江津区土地生态经济系统的发展状态持续向好，失调区域显著收缩，但总体而言土地生态经济系统的耦合协调发展仍处于中低水平，仍有较大提升空间。同时，尽管总体趋势良好，但土地生态子系统与土地经济子系统却表现出差异化发展态势，具体表现为土地经济系统发展水平的提升伴随着部分区域土地生态系统发展水平的下降，导致整个土地生态经济系统发展的空间差异和空间不均衡性逐渐增强，一定程度上制约了区域土地资源的可持续利用与入地关系的协调发展。

未来江津区应着力提升土地生态经济系统的耦合协调发展水平，同时重点关注土地生态经济系统的空间发展不均衡现象，结合土地生态系统与土地经济系统发展的现实矛盾，因时因地施策，实现经济空间与生态空间的自组织演化，促进土地生态经济系统持续健康发展。具体而言，在城区范围内，应重点解决由土地经济较快发展导致的土地生态质量下降问题，严格控制工业园区排放标准，持续修复受损土地，加强长江岸线水生态治理与消落区生态环境保护，并依托重点城市生态源地进一步优化城市景观格局，构筑城市-滨江生态安全屏障。在城区范围外的广大乡村区域，应在加强植被恢复与生态廊道建设的基础上，做

好面源污染防治、生物多样性维护以及水土保持工程,不断完善区域生态系统结构,同时围绕三峡后续工程推进移民安置和产业扶贫,积极推进种植业结构调整及品种改良,围绕生态农业园区建设优化农业结构和布局,优化国土空间格局,并加快建立区域自然资源有偿使用制度,促进乡村自然资本的加快增值,实现生态经济的协同发展。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以土地生态经济系统耦合机理为基础,融合多源数据,通过构建土地综合评价和耦合协调度测度模型,对江津区 2010~2018 年土地生态系统、土地经济系统及其二者之间的耦合协调发展特征进行分析,得出以下主要结论:

(1)江津区土地生态系统发展呈向坏趋势,高等级村域骤减,低等级村域明显增多,总体表现出低等级村域空间挤压高等级村域空间的态势。土地生态系统呈现明显的空间分异现象,长江南部的土地生态系统发展状态优于北部,但长江南北土地生态系统等级均有不同程度的下降,且下降幅度较大的区域主要分布在长江沿线。土地生态系统发展并未呈现出明显的城乡分界。

(2)江津区土地经济系统发展呈现向好趋势,中、高等级村域平稳增长,低等级村域显著下降。从空间分布来看,江津区土地经济系统的发展状态同样具有较大的空间差异,并呈现出显著的城乡分界,城区范围内的土地经济系统优于城区范围外,且土地经济系统良好的村域基本上都集聚在城区范围内,尤以双福街道和德感街道最为明显。

(3)江津区土地生态经济系统的耦合协调发展朝着子系统相互促进的方向演进,但大部分地区的土地生态经济系统处于中、低耦合协调水平,高耦合协调的村域较少,仍有部分村域始终处于失调状态,全区整体的土地生态经济系统耦合协调水平还有待提升。村域土地生态经济系统的耦合协调发展具有显著的空间差异,高耦合协调的村域零星分布,中、低耦合协调的村域广泛分布,失调村域主要分布在城区范围之外。

4.2 讨论

土地生态经济系统的发展要以土地生态系统健康有序为第一原则,充分尊重土地自然生态要素多样性、脆弱性、景观连续性等基本特质,以不破坏土地生态基础和结构为准则,并对已经损毁或退化的土地积极开展保护修复。与以往研究相比,本文细化了土地生态系统评估指标体系,不仅全面反映了土地生态经济系统的要素、属性、结构和功能,更揭示了土地生态子系统与土地经济子系统的相互作用关系以及江津区生态敏感区的特殊生态环境问题,同时融合了遥感数据、土壤数据、气象数据、调查数据等多源数据,并缩小了研究尺度,有助于揭示小尺度土地生态经济系统的连续变化过程及其空间异质性。从研究结果来看,江津区土地生态经济系统的发展在村域尺度表现出较强的空间异质性,同时既表现出与重要生态要素的空间关联(土地生态子系统优劣与长江水系分布相关),也突破了传统城乡界限的束缚(土地生态子系统和土地生态经济系统均未呈现明显的城乡分界),并且在城市内部、乡村内部等局地尺度表现出了明显的空间分异。土地生态系统具有生态要素关联性和空间连续性,土地生态基础较好的区域其土地生态经济系统不一定发展越好,而土地经济发展较快的区域其土地生态经济系统也不一定发展越差,土地生态经济系统的发展是土地生态系统和土地经济系统相互作用、彼此共生的结果,取决于系统中自然生态要素和社会经济要素的相互作用方式和程度,这也在一定程度上印证了土地生态经济系统的耦合机理。

受数据可获取性的限制,本文构建的土地生态经济系统耦合协调发展测度指标体系没有考虑城乡在生态环境基础、土地利用结构以及社会经济活动等方面的细微差异,以村域为单元的耦合协调发展研究仍属于全域评估的范畴,与精细评估还存在一定差距。在今后的研究中,有必要进一步细化评估单元到栅格,加强部门间基础数据的共享和对接,创新数据整合方式和方法,突破行政界限和城乡壁垒,分析评估对象的连续性变化特征和细微空间差异,为生态安全预警、生态红线划定以及土地政策精准落地提供参考。

参考文献:

- [1]DUCAN J K, BRICE W M, MICHEL J B, et al. Valuing fresh water salmon habitat on the west Coast of Canada[J]. Journal of Environment Management, 2003, 69:261-273.
- [2]HORMANN G, HORN A, FOHRER N. The evaluation of land-use options in message catchments Prospects and limitations of eco-hydrological models[J]. Ecological Modeling, 2005, 187:3-14.
- [3]WANG Z M, ZHANG B, ZHANG S Q. Study on effects of land use change on ecosystem service values of Jilin Province[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(1):55-61.
- [4]张虹波, 刘黎明. 土地资源生态安全研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2006, 25(5):77-85.
- [5]赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设[J]. 生态学报, 2016(36):6335.
- [6]黄烈佳, 杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8):1780-1790.
- [7]刘钺, 康慕谊, 吕乐婷. 海南岛海岸带土地生态安全评价[J]. 中国土地科学, 2013, 27(8):75-80.
- [8]陈磊, 姜海, 陈文宽, 等. 生态约束下的湖滨土地利用研究——以四川省仁寿县黑龙滩镇为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1):231-240.
- [9]罗明, 于恩逸, 周妍, 等. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略[J]. 生态学报, 2019, 39(23):8692-8701.
- [10]吴钢, 赵萌, 王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究[J]. 生态学报, 2019, 39(23):8685-8691.
- [11]达良俊, 李丽娜, 李万莲, 等. 城市生态敏感区定义、类型与应用实例[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2004(2):97-103.
- [12]张治华, 徐建华, 韩贵锋. 生态敏感区划分指标体系研究[J]. 生态科学, 2007, 26(1):79-83.
- [13]王万茂, 李俊梅. 土地生态经济系统与土地资源持续利用研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2):147-149.
- [14]王万茂, 高波, 夏太寿, 等. 论土地生态经济学与土地生态经济系统(上)[J]. 地域研究与开发, 1993(3):5-10, 63.
- [15]王万茂, 高波, 夏太寿, 等. 论土地生态经济学与土地生态经济系统(下)[J]. 地域研究与开发, 1993(4):1-4.
- [16]黄贤金. 论土地生态经济学与国土空间用途管制——兼论王万茂教授《土地生态经济学》的学科贡献[J]. 中国土地科学, 2018, 32(2):1-5.
- [17]周迎雪, 李贻学, 孙仪阳. 基于 TOPSIS 的聊城市土地生态经济系统稳定性分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6):26-31.
- [18]吴次芳, 陈美球. 土地生态系统的复杂性研究[J]. 应用生态学报, 2002(6):753-756.

-
- [19]吕晓,刘新平.农用地生态经济系统耦合发展评价研究——以新疆塔里木河流域为例[J].资源科学,2010(8):108-113.
- [20]臧玉珠,彭慧,周生路,等.苏南地区土地生态质量空间分异及其与经济发展协调性评价[J].水土保持研究,2015,22(3):188-192,197,351.
- [21]代杰.湖南省土地生态安全与经济发展耦合协调分析[J].农村经济与科技,2019,30(7):42-45.
- [22]梁红梅,刘卫东,刘会平,等.深圳市土地利用社会经济效益与生态环境效益的耦合关系研究[J].地理科学,2008(5):636-641.
- [23]曹堪宏,朱宏伟.基于耦合关系的土地利用效益评价——以广州和深圳为例[J].中国农村经济,2010(8):58-66,79.
- [24]张兆福,魏朝富,谢德体.土地生态经济系统运行机制及其调控研究[J].生态经济,2006(6):60-63.
- [25]UEHARA T,NAGASE Y,WAKELAN W.Integrating economics and system dynamics approaches for modelling an ecological-economic system[J].Systems Research & Behavioral Science,33(4):515-531.
- [26]DU X D,JIN X B,YANG X L,et al.Spatial pattern of land use change and its driving force in Jiangsu Province[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2014,11(3):3215-3232.
- [27]WANG J,LIN Y F,GLENDINNING A,et al.Land-use changes and land policies evolution in China's urbanization processes[J].Land Use Policy,2018,75:375-387.
- [28]CRECENTE R,ALVAREZ C,FRA U.Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia[J].land use policy,2002,19(2):135-147.
- [29]李保杰,顾和和,纪亚洲.矿区土地复垦景观格局变化和生态效应[J].农业工程学报,2012,28(3):251-256.
- [30]HONG W Y,GUO R Z,SU M,et al.Sensitivity evaluation and land-use control of urban ecological corridors:A case study of Shenzhen,China[J].Land Use Policy,2017,62:316-325.
- [31]LEMAN N,RAMILI M F,KHIROTDIN R P K.GIS-based integrated evaluation of environmentally sensitive areas (ESAs) for land use planning in Langkawi,Malaysia[J].Ecological indicators,2016,61(FEB. PT. 2):293-308.
- [32]毕国华,杨庆媛,刘苏.中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展[J].经济地理,2017,37(1):50-58.
- [33]GENG Y Q,MAIMAITUOXUN M,ZHANG H.Coupling coordination of water governance and tourism:measurement and prediction[J].Discrete Dynamics in Nature and Society,2020,DOI:10.1155/2020/3683918.
- [34]LI Y F,LI Y,ZHOU Y,et al.Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment[J].Journal of Environmental Management,2012,98:127-133.
- [35]GENG Y Q,TAN Y Q.Measurement and prediction:coupling coordination of finance and air environment [J].Discrete

Dynamics in Nature and Society, 2020, DOI:10.1155/2020/8673965.

[36] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. 地理学报, 2012, 67(10):1299-1307.

[37] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8):1243-1254.

[38] 苗正红, 刘志明, 王宗明, 等. 基于 MODIS NDVI 的吉林省植被覆盖度动态遥感监测[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(3):387-393.

[39] 渠翠平, 关德新, 王安志, 等. 基于 MODIS 数据的草地生物量估算模型比较[J]. 生态学杂志, 2008(11):2028-2032.