

江淮生态大走廊国土空间“三生” 功能评价及耦合协调度分析

李安芹, 王丹, 朱勇

(扬州市职业大学 资源与环境工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: [目的] 探讨江淮生态大走廊国土空间“三生”功能时空特征和耦合协调关系,为该区未来高水平发展提供科学参考。[方法] 根据影响“三生”功能的因素,构建了评价指标体系,采用熵值法进行了功能评价,应用耦合协调度模型进行了耦合协调性分析。[结果] ①2010—2020年江淮生态大走廊生产功能从低等级快速增加到高等级;随着生产功能飞速增长,生活功能经历增长—下降—增长;生态功能经历下降—恢复;“三生”功能在空间上分布较均衡。②耦合指数和发展指数均快速增长,耦合指数增长速度超过发展指数。③耦合协调度时间上呈现快速增长趋势,从基本协调和轻度协调发展到较高协调和高度协调;空间上从有一定差异发展为较均衡。[结论] 2010—2020年江淮生态大走廊“三生”功能快速增长,从差异大逐渐向共生融合、有序发展演变,影响现状“三生”功能的主要是生活和生态功能的部分指标,经过一段时间高水平的发展之路,逐步提升生活质量和改善生态水平,未来才能达到高耦合—高级发展—高度协调的阶段。

关键词: 国土空间; 三生功能; 耦合协调度; 江淮生态大走廊

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)02-0361-11

中图分类号: F205, X24

文献参数: 李安芹, 王丹, 朱勇. 江淮生态大走廊国土空间“三生”功能评价及耦合协调度分析[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 361-371. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.02.041; Li Anqin, Wang Dan, Zhu Yong. Productive-living-ecological function evaluation and coupling coordination degree analysis in ecological corridor of Yangtze-Huaihe River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(2): 361-371.

Productive-Living-Ecological Function Evaluation and Coupling Coordination Degree Analysis in Ecological Corridor of Yangtze-Huaihe River

Li Anqin, Wang Dan, Zhu Yong

(Department of Resource & Environment Engineering, Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial characteristics and coupling coordination relationship of the productive-living-ecological function of land space for the ecological corridor of the Yangtze-Huaihe River were studied in order to provide a scientific reference for the future high-level development. [Methods] According to the factors affecting the productive-living-ecological function, an evaluation index system was constructed. The function was evaluated by the entropy method, and the coupling coordination degree model was used to analyze the coupling coordination. [Results] ① From 2010 to 2020, the score of the land space function in the ecological corridor of the Yangtze-Huaihe River increased rapidly from low level to high level. With the rapid growth of the production function, the living function exhibited a pattern of growth-decline-growth, and the ecological function exhibited a pattern of decline-recovery. The spatial distribution of the function was relatively balanced. ② The coupling index and the development index indicated rapid and sustained growth, and the coupling index growth rate was relatively fast. ③ The coupling coordination degree showed a rapid growth trend over time. It has developed from basic coordination and mild coordination to high coordination and higher coordination. Spatially, it has developed from a certain differentiation to a

收稿日期: 2022-04-06

修回日期: 2022-08-14

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“人—地—粮时空关联下的耕地‘数质空’耦合机理研究: 以淮海经济区为例”(42071229); 江苏省高校哲学社会科学项目(2022SJYB2176); 扬州市软科学项目(YZ2021209)

第一作者: 李安芹(1978—), 女(汉族), 陕西省扶风县人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事土地利用与国土资源管理研究。Email: 710935228@qq.com。

more balanced state. [Conclusion] From 2010 to 2020, the productive-living-ecological function of the Yangtze-Huaihe River ecological corridor increased rapidly, and the degree of coupling and coordination of the function evolved from mild coordination to high coordination. The cities in the area have developed from having large functional differences to exhibiting symbiotic integration and orderly development. The main factors affecting the function are the living function and ecological function indicators, indicating gradual improvement in the quality of life functions and the level of ecological functions. It will still be necessary to maintain a high-level development path so as to reach the stage of high coupling-advanced development-high coordination in the future.

Keywords: land space; productive-living-ecological function; coupling coordination degree; ecological corridor of Yangtze-Huaihe River

国土空间是指国家主权管辖下的地域空间,包括陆地、水域、领海等,按功能划分为生产空间、生活空间和生态空间,一般简称为“三生”空间。伴随着工业化、城镇化的快速推进,生产空间、生活空间挤压生态空间,许多地区面临着国土地资源短缺、生态环境污染、生态系统退化的危机和挑战^[1-3]。随着生产—生活—生态空间的用地竞争日益加剧,研究人员将土地利用多功能类型与国土空间开发格局相结合,将土地功能划分为生产功能、生活功能、生态功能^[4-5]。目前,我国经济已进入高质量发展的新阶段,随着城市建设用地不断扩张,人地矛盾、土地利用多功能性与社会经济发展、生态环境保护的矛盾更加突出^[6]。在科学划定“三生”空间的基础上,研究生产、生活、生态功能的耦合协调发展途径,提高土地利用效率与“三生”空间的开发质量,将成为今后研究的热点问题^[7]。由于受自然地理禀赋、社会经济发展水平不同的影响,地区功能差距显著;因此,“三生”优势功能和主导功能差异较大,相互影响程度及演变规律迥异。“三生”空间的耦合协调发展是构建合理的国土空间开发格局的前提,是缓解“三生”空间冲突,缩小地区功能差距,实现区域“三生”功能相互促进,共生融合,有序发展的基础;对促进国土空间规划水平以及优化区域发展政策等都具有重要的参考意义^[8]。

目前,涉及“三生”空间及其功能相关的主要理论:①国外主要有土地利用理论和城市发展理论。土地利用理论包括杜能圈、田园城市、集中城市、有机疏散等^[9]。城市发展的理论包括城市增长边界、绿带控制、交通引导型规划、紧凑城市、精明增长等方面展开了全面而深入的探讨。国外围绕土地利用方面的研究,推动了空间优化的理论与实践。②国内主要有“两山”理论、“三区三线”理论、“以水四定”理论,基于资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价的“双评价”理论等^[10]。相关的主要研究内容:有“三生”功能的内涵界定、用地分类体系和评价量化、功能识别、演化特征、国土空间优化等方面,土地利用多功能的

定量识别、耦合协调时空分异及其驱动力^[11-14],得出很多有实用价值的研究成果^[10,12]。研究范围(尺度):宏观尺度指国家、省域,中观尺度指市县,微观尺度指乡镇村域,跨行政区域的城市群、经济带等尺度不多见^[15]。研究方法:①“三生”功能的识别主要有量化测算法和归并分类法。量化测算法为定量方法,通过构建评价指标体系实现对“三生”功能的量化识别;归并分类法与现有规划体系相衔接,是一种定性方法,大多凭主观经验判断识别土地功能^[10]。②“三生”功能值计算主要采用综合评价法,权重确定大部分采用熵权法。③“三生”功能耦合协调发展评价方法,例如耦合指数、发展指数、耦合协调度模型,基于 3 阶段的 DEA 模型的土地利用效率评价的耦合协调度模型^[16]。④基于 ArcGIS 的探索性空间数据分析法,例如 Moran's *I* 指数法探测“三生”功能的集聚情况;借助 Getis-Ord *G* 指数,采用自然断点法划分热点区、冷点区^[13,17]。⑤识别影响功能的主要障碍因子的障碍度模型^[17];探究系统协调发展制约因素的相对发展度模型^[18];确定比较优势功能的比较优势指数法,为空间优化奠定基础等^[13]。国内外学者针对“三生”空间的相关领域进行了丰富的研究,主要集中于“三生”功能综合评价、“三生”功能时空演变规律、国土空间适宜性评价等。但多数研究针对单一的用地功能展开的,针对多功能的土地利用功能研究偏少;较少关注多尺度下的“三生”功能分类体系的构建;也缺少基于功能视角的“三生”空间的耦合协调评价研究^[19]。已有研究多以土地利用为切入点,分析土地集约利用与城市化水平、生态文明建设、生态效率等耦合协调的时空演变分析^[20];强调生态空间保护和空间规划的严谨性,而忽略了生产、生活、生态 3 种空间功能的相互作用与协调发展,缺乏对“三生”空间耦合协调度分析^[21-22]。

江淮生态大走廊由南水北调工程东线水源地扬州市 2016 年提出,并已纳入国家《长江经济带生态环境保护规划》。江淮生态大走廊位于江淮平原上,串

联长江和淮河两大水系,连通邵伯湖、高邮湖、洪泽湖、骆马湖、南四湖,是长江、淮河与京杭大运河交汇带。江淮生态大走廊以京杭运河为主干线,以南水北调东线工程输水线路所流经的县市为依托;大部分的淮河水由淮河入江水道在扬州汇入长江,沿线的水质情况也关系到长江保护任务的落实。生态大走廊的建设是江淮地区呼应国家战略的举措,打造生态屏障、加快绿色发展的现实需要。“三生”空间的生态功能情况,特别是水环境和水安全将直接影响南水北调工程运营成效,以及长江、淮河和京杭大运河等水系的水体安全;而高品质宜居的生活功能和产业效率高、产业结构合理的生产功能是吸引人才落户和保证经济增长潜力的关键。通过建立江淮生态大走廊“三生”空间的功能评价体系,以耦合协调度为主要控制指标,优化空间布局,协调利用“三生”空间,对于推进江淮生态大走廊22个市县的生态文明建设和整个长江经济带北沿江地区经济发展具有重要的实用价值^[23-24],是实现区域社会经济可持续发展的重要路径^[25]。本文通过江淮生态大走廊“三生”功能和耦合协调关系研究,探究功能短板和不足,有针对性地制定国土空间发展对策,优化土地利用功能,旨在为提升国土空间开发利用效率,统筹区域发展、城乡发展,推动新型城镇化和乡村振兴战略,实现功能耦合协调的区域高质量发展提供参考^[26]。

1 研究区概况

江淮生态大走廊研究区域为扬州、泰州、淮安、宿迁、徐州5个地级城市,总计22个市县。扬州地区包括扬州市、宝应县、仪征市、高邮市;泰州地区包括泰州市、兴化市、靖江市、泰兴市;淮安地区包括淮安市、涟水县、盱眙县、金湖县;宿迁地区包括宿迁市、沭阳县、泗阳县、泗洪县;徐州地区包括徐州市、丰县、沛县、睢宁县、新沂市、邳州市^[26]。2020年江淮生态大走廊总面积42 221 km²,占江苏省总面积的约2/5;总人口2 770万人,占江苏省的1/3以上;地区生产总值26 681亿元,占江苏省的1/4以上;多年平均水资源量 2.60×10^{10} m³,占江苏省水资源总量约4/5;地形以平原为主、西北高而东南低。

2 数据与方法

2.1 数据来源

以2010—2020年作为研究时间段,数据来源于《江苏省各地级市统计年鉴2010—2020年》《江苏省各地级市国民经济和社会发展统计公报2010—2020年》《江苏省各地级市国土资源公报2010—2020年》

《江苏省各地级市水资源公报2010—2020年》《江苏省各地级市环境质量公报2010—2020年》和《江苏省各地级市土地利用总体规划(2006—2020年)修改方案》以及中国经济与社会发展统计数据库。

2.2 研究方法

国土空间是一个由水资源、土地资源、矿产资源、生态环境、社会经济等诸多要素等组成的极复杂地理系统,且各要素紧密联系、相互影响^[24]。针对以上特点,研究方法采用“三生”功能评价指标体系构建方法、原始数据标准化方法、熵权法计算指标的权重,综合价值法计算功能值,耦合协调度模型计算各功能的耦合性、功能发展性、耦合协调发展性。

2.2.1 “三生”功能评价指标体系构建

(1) 构建依据。参考文献出现频率高的指标和具有研究区特点的指标;相关的规范和规划,例如《土地利用现状分类(2017年版,GB/T21010-2017)》《长江经济带生态环境保护规划》《长江三角洲区域一体化发展规划纲要江苏实施方案》;结合江淮生态大走廊土地利用特点和社会经济统计数据和相关专业普查及公报数据,依据指标体系的科学性、代表性、可操作性、易获取性等原则,选择能代表“三生”功能的指标构建评价指标体系^[18,27]。

(2) 评价指标体系构建。生产功能侧重于选取提高生产效率和转变产业结构的指标,例如地均农业机械总动力,地均第三产业值、地均对外贸易额等,而地均水产品产量主要考虑当地的饮食习惯;生活功能侧重于选取能反映生活方便快捷情况、公共设施完善程度、收入水平高低等的指标,例如地均交通密度、万人拥有医疗床位数、居民人均可支配收入等;生态功能侧重于选取能反映快速城镇化和经济高速发展带来的主要的正面和负面指标,例如正面指标有人均公园绿地面积、地均绿化覆盖率;负面指标有地均污水排放量、万人工业SO₂及烟尘排放量等^[21]。“三生”功能评价体系的层级设计可归纳为:目标层、准则层、指标层。目标层为国土空间“三生”功能协调。准则层为生产功能、生活功能、生态功能。指标层为衡量各功能的具体指标^[1]。根据江淮生态大走廊市县的特点和收集的数据,选取相应的能表征生产功能、生活功能、生态功能的指标,建立了国土空间“三生”功能评价指标体系(表1)^[5,28]。

2.2.2 数据标准化与权重确定

(1) 数据标准化方法。由于单位及量纲不同,一些指标的数量级悬殊;因此,需要将原始数据进行标准化处理。不同性质的指标用不同的标准化方法,正向指标是值越大,功能越强(用“+”号表示),负向指

标是值越大,功能越差(用“—”号表示),标准化公式^[26-29]为:

$$\text{正向指标: } y_{ij} = (x_{ij} - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min}) \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } y_{ij} = (x_{i\max} - x_{ij}) / (x_{i\max} - x_{i\min}) \quad (2)$$

式中: y_{ij} 为标准化数据; $i=1,2,3\cdots m$, m 为指标个数; $j=1,2,3\cdots n$ (n 是样本数); x_{ij} 是原始数据; $x_{i\max}$, $x_{i\min}$ 分别为原始数据第*i*个指标的最大值和最小值。原始数据和标准化数据也可以用矩阵形式表示:

$$\mathbf{X}_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(2) 指标重要性通过指标赋权判断,分为主观赋权法与客观赋权法。主观赋权法以专家打分法、层次分析法为代表,指专家根据经验确定各指标权重,较

符合指标的实际重要性,但专家有可能失误。客观赋权法以主成分分析、熵值法、聚类分析为代表,根据统计特征客观判断指标的重要性,但可能与实际情况不符^[19]。为了能客观反映各个指标对目标层的影响程度,选择客观赋权法中的熵值法计算权重。计算指标的比重,数据标准化后,采用公式(4)计算指标的比重^[30]。

$$P_{ij} = \frac{y_{ij} + 0.0001}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} + 0.0001)} \quad (4)$$

式中: P_{ij} 是指标的比重值。

(3) 计算指标的信息熵值。

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (5)$$

式中: e_i 为信息熵值。

(4) 确定信息熵权重。根据信息熵值用下式计算指标的权重^[30]。

$$W_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^m (1 - e_i)} \quad (6)$$

式中: W_i 为信息熵权重。

表 1 国土空间“三生”功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of productive-living-ecological function of land space

目标层	准则层	指标层		指标性质	指标权重	
		评价指标(文献出现次数)	单位			
国土空间三生功能	生产功能	地均农业机械总动力(2)	10 ⁴ kW/km ²	+	0.037 8	
		地均粮食产量(5)	10 ⁴ t/km ²	+	0.033 6	
		地均肉类产量(4)	10 ⁴ t/km ²	+	0.025 0	
		地均水产品产量(0)	10 ⁴ t/km ²	+	0.037 1	
		地均固定资产投资(6)	10 ⁸ 元/km ²	+	0.043 9	
		地均对外贸易额(3)	10 ⁸ 元/km ²	+	0.034 8	
		地均第二产业产值(5)	10 ⁸ 元/km ²	+	0.037 8	
		地均第三产业产值(5)	10 ⁸ 元/km ²	+	0.043 3	
		地均 GDP(10)	10 ⁸ 元/km ²	+	0.039 9	
		地均交通密度(7)	km/km ²	+	0.028 1	
	生活功能	互联网宽带用户(2)	万户	+	0.048 0	
		居民恩格尔系数(2)	%	—	0.030 0	
		居民人均可支配收入(5)	元	+	0.032 5	
		居民人均住房面积(5)	m ²	+	0.031 7	
		万人拥有图书馆藏书数(5)	册	+	0.041 6	
		万人拥有医疗床位数(6)	张	+	0.035 1	
		人口密度(10)	人/km ²	+	0.086 3	
		生态功能	地均污水排放量(8)	10 ⁴ t/km ²	—	0.052 5
			万人工业 SO ₂ 排放量(5)	t	—	0.056 6
万人烟(粉)尘排放量(5)	t		—	0.049 7		
空气质量优良天数比例(1)	%		+	0.049 9		
工业固体废物综合利用率(5)	%		+	0.030 2		
人均公园绿地面积(5)	m ² /人	+	0.047 4			
地均绿化覆盖面积(6)	hm ² /km ²	+	0.047 0			

2.2.3 综合评价价值 用权重和标准化值相乘得到各功能的综合评价价值^[18],计算公式为:

$$F_j = \sum_{i=1}^m W_i \cdot Y_{ij} \quad (7)$$

式中: F_j 为第 j 年功能的综合评价价值。

综合评价等级划分依据:目前在国土空间“三生”功能综合评价方面还没有一个统一的评价等级标准。参考相关文献评价等级的基础上(2019 年鲁学孟划分为 4 个等级^[30];2021 年张炎文划分为 5 个等级^[31];2021 年张中秋划分为 10 个等级^[12]),咨询该领域专家学者的意见,结合江淮生态大走廊“三生”功能大小以及考虑与耦合指数、发展指数等级划分保持一致,得出等级划分标准。综合评价最小值为 0,最大值为 1,值越大功能越强; $[0,1]$ 之间采用均分的方式将综合评价分为 5 个等级,分别为 $0 \leq F \leq 0.2$,低等级; $0.2 < F \leq 0.4$,较低等级; $0.4 < F \leq 0.6$,中等级; $0.6 < F \leq 0.8$,较高等级; $0.8 < F \leq 1$,高等级^[12,30-31]。

2.2.4 耦合协调度模型

(1) 耦合指数模型。系统的相互作用、相互影响程度,用下式的耦合指数来反映^[31-32]。

$$C = k \times \left(\frac{U_1 \times U_2 \times \dots \times U_k}{(U_1 + U_2 + \dots + U_k)^k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (8)$$

式中: C 为系统耦合指数,各系统之间的耦合性, C 取值范围为 $[0,1]$; U_k 为第 k 个系统的综合评价价值。“三生”功能对应生产系统、生活系统、生态系统,总共 3 个系统;则上式中 k 取值为 3,公式简化为:

$$C = 3 \times \left(\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

式中: C 值越大表示“三生”空间功能的相互影响越强烈。 U_1, U_2, U_3 分别为生产功能、生活功能、生态功

能的综合评价价值。

(2) 发展指数模型。发展指数用各系统的综合评价价值乘以相应的系数计算^[20,33],计算公式为:

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \dots + \alpha_k U_k \quad (10)$$

式中: T 为发展指数, T 值越大则整体性越好, T 取值范围为 $[0,1]$; $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_k$ 为待定系数,反映系统的相对重要性, $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_k = 1$ 。功能同等重要时,则 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$ 上式简化为:

$$T = 1/3 U_1 + 1/3 U_2 + 1/3 U_3 \quad (11)$$

(3) 耦合协调度模型。各系统的耦合协调度的计算公式为^[27-29]:

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (12)$$

式中: D 为耦合协调度,反映各系统的耦合协调性, D 值越大耦合协调程度越高, D 取值范围为 $[0,1]$ 。

耦合指数和发展指数等级划分依据:尽管学术界对于耦合指数和发展指数划分没有统一的标准,而文献中关于耦合指数等级划分较多,发展指数等级划分非常少;但是,已有研究成果为等级划分提供了重要参考,耦合指数有划分为 3 个等级^[16],也有划分为 4 个等级^[6,19-20,27,32],还有划分为 5 个等级^[31-33];发展指数划分一般为 5 个等级^[6,33]。借鉴已有研究成果,并结合本研究区实际情况,将“三生”空间功能耦合指数、发展指数等级划分为 5 种类型。耦合指数和发展指数等级划分详见表 2^[27-28,34]。耦合指数取值范围为 $[0,1]$,当耦合指数为 0 时,“三生”功能互不影响,处于无序状态;为 1 时相互作用,耦合性强,处于有序状态。整体发展指数取值范围为 $[0,1]$,当发展指数为 0 时,“三生”功能整体综合评价得分是低等级,为发展落后阶段;为 1 时“三生”功能整体综合评价得分是高等级,为高级发展阶段^[11]。

表 2 国土空间“三生”功能耦合指数和发展指数等级划分

Table 2 Ranking of the productive-living-ecological function coupling index and development index of the land space

指数	取值范围	等级类型	主要特征
耦合指数	$0 \leq C \leq 0.2$	低耦合阶段	“三生”功能联系微弱, $C=0$ 时,“三生”功能互不影响,处于无序状态。
	$0.2 < C \leq 0.4$	拮抗阶段	“三生”功能相互制约,其中一个功能处于优势地位,其他功能受到抑制。
	$0.4 < C \leq 0.6$	磨合阶段	“三生”功能相互作用、相互影响,功能之间出现一定的耦合性。
	$0.6 < C \leq 0.8$	良好耦合阶段	“三生”功能相辅相成、相互配合,功能之间耦合性较好。
	$0.8 < C \leq 1$	高耦合阶段	“三生”功能相互促进,耦合性强,向有序状态发展。
发展指数	$0 \leq T \leq 0.2$	落后发展	“三生”功能综合评价得分分为低等级,整体为发展落后阶段。
	$0.2 < T \leq 0.4$	滞后发展	“三生”功能综合评价得分分为较低等级,整体为发展滞后阶段。
	$0.4 < T \leq 0.6$	初级发展	“三生”功能综合评价得分分为中等级,整体为初级发展阶段。
	$0.6 < T \leq 0.8$	较高级发展	“三生”功能综合评价得分分为较高等级,整体为较高级发展阶段。
	$0.8 < T \leq 1$	高级发展	“三生”功能综合评价得分分为高等级,整体为高级发展阶段。

耦合协调度等级划分详见表 3^[27-28,34]。严重失调是一种功能占主导地位,“三生”功能发展极不协调,

耦合性差;例如,生产功能占主导地位,生活功能、生态功能恶化,功能失调。轻度失调是一种功能为优势

功能,其他两种功能为劣势功能,但其带来一系列问题,3种功能仍不能协调发展;基本协调是开始逐渐转变生产方式、生活方式,采取保护生态环境的措施,开始重视和解决“三生”功能不协调带来的各种问题,

“三生”功能均有提升;较高协调是生产以集约型为主,生活宜居性和生态环境得到很大改善,协调性和互动性好;高度协调是“三生”功能相互促进、共生融合,国土空间有序协调发展^[1,6,11]。

表 3 国土空间“三生”功能耦合协调度等级划分

Table 3 Grading of the coordination degree of the productive-living-ecological function coupling in the land space

取值范围	等级类型	主要特征
$0 \leq D \leq 0.3$	严重失调	“三生”功能只有一个占主导地位,例如,生产功能占主导地位,生活、生态空间被挤压,出现生活不便和生态恶化问题,“三生”功能失调
$0.3 < D \leq 0.5$	轻度失调	“三生”功能的一个功能为优势地位,例如生态功能为优势地位,生活功能不高,生产功能低下,“三生”功能不协调
$0.5 < D \leq 0.7$	基本协调	通过转变生产方式、提高生活空间质量或改善生态环境,修复由于生产功能、生活功能、生态功能不协调带来的各种问题
$0.7 < D \leq 0.85$	较高协调	集约型生产为主,生活宜居性和生态环境得到很大改善,“三生”功能协调性、互动性好
$0.85 < D \leq 1$	高度协调	“三生”功能相互促进,共生融合,国土空间有序发展

3 结果与分析

3.1 国土空间“三生”功能时空特征分析

3.1.1 “三生”功能时间特征分析 根据 2010—2020 年江淮生态大走廊 5 个地级市评价指标的统计数据,计算国土空间“三生”功能的评价值如图 1 所示。图中的均值指 22 个市县的平均值。2010—2020 年 22 个市县的“三生”功能变化状况为:①生产功能值。都呈现显著增加的趋势。2010 年均为低等级并且值较小,2015 年均为中等等级,2020 年为高等级和较高等级,总体呈现一直显著增加的趋势;2010 年生产功能低的主要原因是农业机械化程度不高、粮食产量低,固定资产投资、对外贸易额第二产业、第三产业值均较小。以 2010 年为基准年、2015 年农业机械化程度提高、粮食产量增加,固定资产投资、对外贸易额、第二产业、第三产业值均明显增加;2020 年第三产业值大幅增加,农业机械化程度、第二产业值、固定投资额也均显著增加。②生活功能值。2010 年均为低等级和较低等级,2015 年为中等等级和较低等级,2020 年为高等级和较高等级,总体呈现先上升再下降又上升的趋势,在 2013 年前后有一个转折点。2010 年生活功能值较低的主要原因是互联网宽带用户少,居民人均可支配收入和住房面积小,万人拥有图书馆藏书数和医疗床位数不足。以 2010 年为基准年、2013 年左右生活功能值下降的原因是人口密度明显减少,居民恩格尔系数变大,用于购买食品的支出占个人消费支出总额变多,地均交通密度和万人拥有图书馆藏书数减少;2020 年互联网宽带用户、居民人均可支配收入和住房面积大幅提高,万人拥有图书馆藏书数和医疗床位数显著增加;但是,还不能完全满足日益增长的高

品质生活功能的需求。③生态功能值。2010 年均为中等等级,2015 年大部分为较低等级,2020 年主要为较高等级,总体呈现先下降又上升的趋势,在 2015 年前后有一个转折点。总体来看,随着生产功能的持续快速增加,经济发展促进了医疗床位数、图书馆藏书数、人均住房面积以及互联网宽带用户的增加,生活功能得到较大提高。随着生产功能增加,生态功能在 2015 年前经历了显著下降,主要是工业 SO_2 排放量、烟尘排放量、污水排放量显著增加,优良天气数下降明显;2015 年以后,随着节能减排措施日益严格和环境执法力度加大,生态功能显著回升。今后应按照碳中和碳达峰目标改善生态功能。

3.1.2 “三生”功能空间特征分析 根据“三生”功能计算值对 2010 年和 2020 年的空间变化进行了对比(图 2)。从图 2 看出,2010 年生产功能分布均衡,除了徐州的新沂县为较低等级外,其余全部为低等级;2020 年生产功能分布较不均衡,为较高等级和高等级两类,以高等级为主。根据图 2 可知,2010 年生活功能分布较均衡,为较低等级和低等级两类,以较低等级为主,所占比例 77%;2020 年生活功能分布均衡,除了仪征和扬州为高等级外,全部为较高等级。仪征和扬州为高等级主要是互联网宽带用户数、居民人均可支配收入、居民人均住房面积增加快速,而居民恩格尔系数小于 0.3,为最富裕阶段。2010 年生态功能分布基本均衡,为较低等级、中等等级和较高等级 3 类,以中等等级为主,所占比例 45%;2020 年生态功能分布较不均衡,为中等等级、较高等级和高等级 3 类,以较高等级为主,所占比例 73%;高等级的只有邳州和泰州;睢宁、宿迁、涟水和高邮为中等等级,生态功能有待提高。

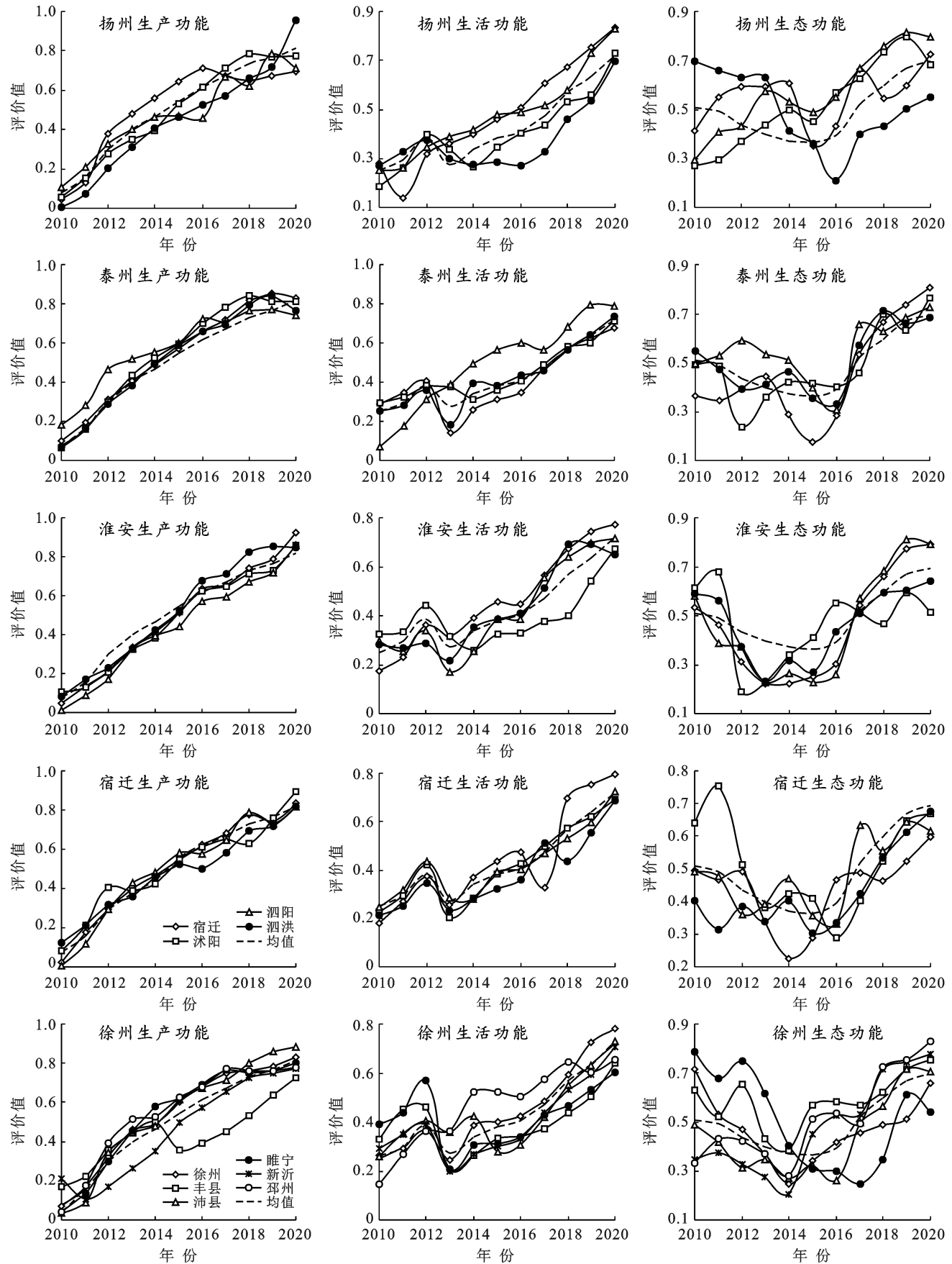


图 1 江淮生态大走廊 2010—2020 年“三生”功能比较

Fig.1 Comparison of the functions of productive-living-ecological in the Jianghuai Ecological Corridor from 2010 to 2020

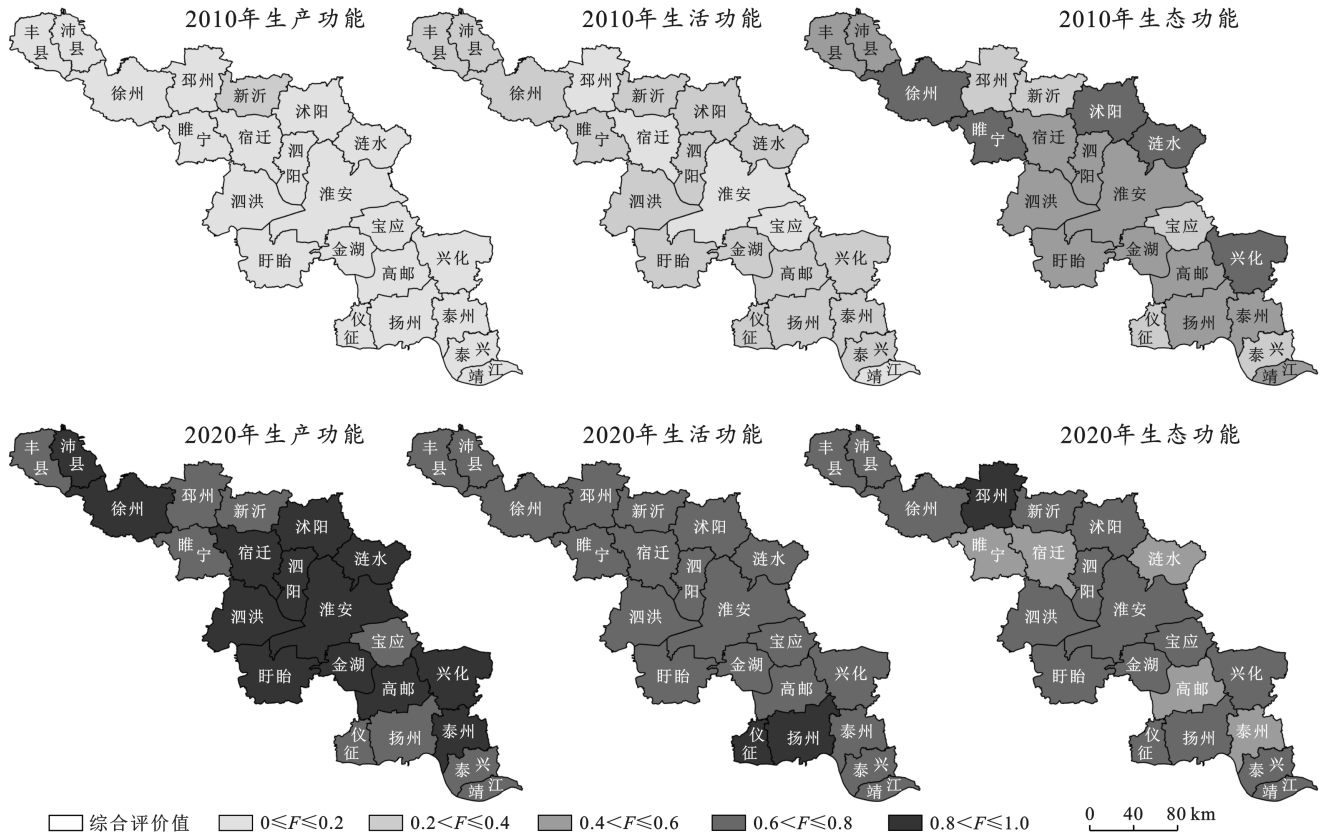


图 2 江淮生态大走廊“三生”功能空间对比

Fig.2 Comparison of productive-living-ecological function space of Jianghuai Ecological Corridor

3.2 “三生”功能耦合协调分析

根据 2010—2020 年 5 个地级市(扬州、泰州、淮安、宿迁、徐州市)的统计数据,计算国土空间“三生”功能的耦合指数、发展指数详见表 4。

3.2.1 耦合指数分析 根据表 4 的耦合指数的计算结果,从空间来看:江淮生态大走廊 22 个市县,2010 年 6 个为高耦合阶段(宝应、仪征、泰州、泗洪、丰县、新沂县),11 个为良好耦合阶段(扬州、淮安等),3 个为磨合阶段(盱眙、宿迁、睢宁),2 个为拮抗阶段(高邮、泗阳);以良好耦合为主。2015 年和 2020 年 22 个全部为高耦合阶段,2020 年均接近于 1。根据表 4 和图 1 所示,从时间来看,耦合指数 2010 年都是最低的,主要是 2010 年生产功能值都是低等级并且值较小,而生态功能都是中等级,生产功能和生态功能值相差大。以 2010 年为基准年、2015 年耦合指数增长较快;2020 年耦合指数接近于 1,“三生”功能耦合性强,接近有序状态。耦合指数增长最快的是高邮,增长 253%;增长最慢的是新沂,增长 2%。从整个江淮生态大走廊来看,耦合指数平均值 2010、2015 和 2020 年分别为 0.702、0.969、0.994;2010—2020 年平均增长 62%,主要是 2010—2015 年增长快。“三生”功能从相辅相成、相互配合,功能耦合性较好的良好耦合

阶段向相互促进、耦合性强、有序状态发展的高耦合阶段演变。根据图 1 和表 4 来看,尽管 2010 年徐州市新沂县的生产、生活和生态功能均为较低等级,但由于等级相同;因此,耦合指数较高为 0.980。2015 年新沂地区的生产功能为中等级、生活和生态功能均为较低等级,“三生”功能仅相差一个等级;因此,耦合指数较高为 0.977。2020 年新沂的生产、生活和生态功能均为较高等级;因此,耦合指数较高为 0.980。可以看出,“三生”功能为低等级或高等级,耦合指数值都有可能是高值,等级为高耦合阶段。验证了已有的研究成果,耦合指数的大小不能反映“三生”功能协调水平的高低^[11,27]。

3.2.2 发展指数分析 研究区发展指数计算结果详见表 4。根据表 4 和图 2 所示,从空间上看,2010 年 2 个地区为落后发展阶段(宝应和邳州),19 个为滞后发展阶段,1 个为初级发展阶段(遂宁);2015 年 5 个地区为滞后发展阶段(高邮、泰州、盱眙、金湖和泗洪),17 个地区为初级发展阶段;2020 年 2 个地区(睢宁、涟水)为初级发展阶段,20 个为高级发展阶段。从时间来看,2010 年发展指数以滞后发展阶段为主,主要是生产功能为低等级,生活功能是低等级或较低等级,生态功能是中等级,导致发展指数较小。2015

年发展指数增加,以初级发展阶段为主,生产功能和生活功能均为中等级为主,生态功能较低等级为主,主要是生产功能值增加较快;2020 年发展指数增长较快,以较高级发展阶段为主,主要是生产功能为高等级和较高等级,生活功能和生态功能较高等级为主。发展指数增长最快的是邳州,增长 340%;增长最慢的是睢宁,增长 59%。总体来看,发展指数 2010 年滞后发展阶段为主,2015 年初级发展阶段为主,2020 年较高级发展阶段为主。江淮生态大走廊发展

指数平均值 2010,2015 和 2020 年分别为 0.279,0.430 和 0.743,从 2010—2020 年平均增长 167%,主要是 2015—2020 年增长快;总体从滞后发展—初级发展—较高级发展阶段演变,今后需要向高级发展阶段演变。可以看出,“三生”功能均为低等级或较低等级时,发展指数值以落后或滞后发展阶段为主;“三生”功能均为高等级或较高等级时,发展指数值以较高级或高级发展阶段为主。验证了已有的研究成果,发展指数的大小反映“三生”功能协调水平的高低^[1,3,30]。

表 4 国土空间“三生”功能耦合指数和发展指数

Table 4 Functional coupling index and development index of productive-living-ecological foundation in land space

地区	耦合指数				发展指数			
	2010 年	2015 年	2020 年	增长率/%	2010 年	2015 年	2020 年	增长率/%
扬州	0.698	0.970	0.997	43	0.246	0.482	0.751	205
宝应	0.837	0.985	0.999	19	0.171	0.442	0.728	327
仪征	0.914	0.999	0.998	9	0.216	0.479	0.780	260
高邮	0.276	0.980	0.975	253	0.323	0.370	0.734	128
泰州	0.877	0.892	0.996	14	0.251	0.353	0.771	208
兴化	0.741	0.977	0.999	35	0.282	0.456	0.761	170
靖江	0.746	0.984	0.999	34	0.249	0.521	0.753	202
泰兴	0.731	0.975	0.999	37	0.290	0.443	0.730	151
淮安	0.655	0.954	0.997	52	0.252	0.406	0.830	230
涟水	0.797	0.981	0.978	23	0.348	0.417	0.683	97
盱眙	0.423	0.961	0.997	136	0.297	0.351	0.789	165
金湖	0.748	0.965	0.992	33	0.318	0.395	0.713	124
宿迁	0.567	0.965	0.989	74	0.233	0.428	0.742	218
沭阳	0.727	0.989	0.991	36	0.317	0.447	0.751	137
泗阳	0.383	0.978	0.993	160	0.249	0.444	0.718	189
泗洪	0.890	0.969	0.996	12	0.245	0.382	0.727	196
徐州	0.673	0.971	0.995	48	0.349	0.447	0.757	117
丰县	0.871	0.971	0.998	15	0.377	0.419	0.707	88
沛县	0.622	0.939	0.995	60	0.260	0.404	0.773	198
睢宁	0.562	0.945	0.986	75	0.406	0.413	0.647	59
新沂	0.980	0.977	0.999	2	0.284	0.415	0.750	164
邳州	0.719	0.996	0.995	38	0.171	0.554	0.754	340
平均值	0.702	0.969	0.994	64	0.279	0.430	0.743	167

3.2.3 耦合协调度分析 江淮生态大走廊耦合协调度计算结果见图 3。根据图 3 和表 4 的计算结果可以看出,江淮生态大走廊耦合协调度划分如下:2010 年严重失调区 1 个(高邮),轻度失调区 18 个(沛县、徐州、宿迁等),基本协调区 3 个(丰县、新沂、涟水);2015 年较高协调区 2 个(邳州、靖江),基本协调区 20 个(沛县、徐州、宿迁等);2020 年较高协调区 6 个(丰县、睢宁、泗阳、涟水、金湖、高邮),高度协调区 16 个(沛县、徐州、宿迁等)。从时间上看,耦合协调度 2010 年轻度失调为主,耦合协调度 2015 年基本协调为主和 2020 年高度协调为主。2010—2020 年,江淮

生态大走廊地区耦合协调度总体为较快增长阶段,说明“三生”功能的相互协调作用增强^[6,11]。从空间上看,耦合协调度 2010 年有 3 个分区类型,主要为轻度失调区类型,所占比例 82%;2015 年有 2 个分区类型,主要为基本协调区,所占比例 91%;2020 年有 2 个耦合协调度分区类型,主要为高度协调区,所占比例 73%。结合前面耦合指数和发展指数的研究结果来看,江淮生态大走廊各地区 2010 年耦合指数良好发展阶段为主,而发展指数主要为滞后发展阶段;因此,发展指数偏低导致耦合协调度轻度失调为主,主要原因是生态功能为优势地位,生活功能不高,生产

功能低下。2015 年和 2020 年耦合指数全部为高耦合阶段,而发展指数 2015 年以初级发展阶段为主,2020 年以较高级发展阶段为主;因此,发展指数差异是造成耦合协调度 2015 年以基本协调为主,2020 年高度协调为主,明显不同的主要原因。从 2010—2015 年,随着生产方式转变,生产功能快速增长,生活功能提高,但生态功能明显下降;因此,耦合协调度

以基本协调为主;2020 年,生产功能、生活功能、生态功能主要为高等级,较高等级;因此,耦合协调度以高度协调为主,“三生”功能相互促进、共生融合,国土空间向有序协调发展。总体上看,江淮生态大走廊地区国土空间“三生”功能演变规律为:从轻度失调为主动演变为基本协调为主,再演变为高度协调为主,耦合协调度提高了 2~3 个等级。

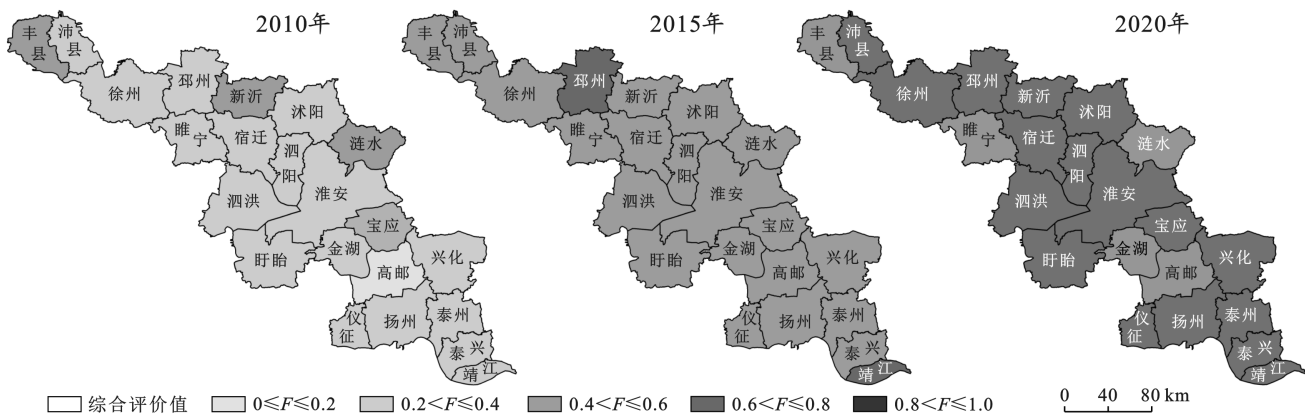


图 3 江淮生态大走廊“三生”功能耦合协调度分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of productive-living-ecological function coupling coordination degree in the Jianghuai Ecological Corridor

4 结论与对策建议

4.1 结论

(1) 2010—2020 年,江淮生态大走廊地区国土空间生产功能值一直显著增加,生活功能值先上升再下降又上升。生态功能值先下降又上升。随着生产功能快速增长,生活功能增长较慢,生态功能先受到抑制,后期开始恢复。总体上,各功能都呈增加的趋势。从空间上看,2010 年生产功能均衡、生活功能分布均衡、生态功能较不均衡;2020 年生产功能较不均衡,生活功能分布均衡,生态功能较不均衡。

(2) 2010—2020 年,江淮生态大走廊各地区“三生”功能耦合指数全部演变为高耦合阶段,生产功能、生活功能、生态功能相互影响、相互促进达到最高等级。江淮生态大走廊地区发展指数总体为较快增长阶段,生活功能、生态功能有待提高。

(3) 江淮生态大走廊“三生”功能从轻度失调为主动演变为基本协调为主,再到高度协调为主;说明经历了生产和生活功能低以及生态功能中等级导致的“三生”功能不协调;到逐渐转变生产方式,开始重视和恢复由生产、生活或生态功能等级低或等级相差大带来的耦合协调性差的问题;逐渐实现“三生”功能共生融合,生活和生态环境质量变好,国土空间向有序协调发展。

(4) 目前,江淮生态大走廊国土空间呈现高度耦合—较高级发展阶段—高度协调为主的发展阶段,“三生”功能中的生活功能和生态功能是影响发展指数的主要原因。今后,要从提高居民人均可支配收入、万人拥有医疗床位数和图书馆藏书数入手,提升生活功能质量;未来继续严格降低污水排放量、工业 SO_2 排放量、工业烟尘排放量,增加公园绿地面积和绿化覆盖面积是提高生态功能的关键。江淮生态大走廊还有一段高水平的发展之路,才能达到高度耦合—高级发展阶段—高度协调的高质量阶段。

4.2 对策建议

(1) “三生”功能耦合协调性复杂,在不同时间和不同地区相互影响、相互作用的程度不同;高度协调的情况下也存在耦合指数或发展指数不是最高等级的情况,原因是“三生”功能值等级的高低和差异大小对“三生”功能值耦合指数和发展指数影响很大,从而影响“三生”功能耦合协调性。

(2) “三生”功能主导功能和非主导功能、优势功能和非优势功能并不是固定的并相互转化。不同地区的社会发展阶段、资源环境承载力和国家政策不同,引起“三生”功能不协调和演变的评价指标不同;因此,评价指标体系应该在保持相对稳定的基础上,因地制宜和动态调整更换相应的评价指标,使分析结果能真实反映“三生”功能短板和演变特征。

(3) 在国土空间规划和双评价的基础上,加强区域中心城市的辐射带动作用,从区域角度强化生态环境保护,提高公共基础设施及生活配套服务一体化,发掘土地的区域集约利用潜力,充分发挥土地资源的多功能作用,实现区域的国土空间“三生”功能耦合协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] 王成,唐宁.重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].地理研究,2018,37(6):1100-1114.
- [2] 黄安,许月卿,卢龙辉.“生产—生活—生态”空间识别与优化研究进展[J].地理科学进展,2020,39(3):503-518.
- [3] 郑惠,周兴,黄冬婷,等.2009—2018年广西城市化与城市土地集约利用时空耦合协调发展[J].水土保持通报,2021,41(1):267-275.
- [4] 单薇,金晓斌,冉娜,等.江苏省土地利用“生产—生活—生态”功能变化与耦合特征分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1541-1549.
- [5] 林树高,陆汝成,刘少坤,等.基于“三生”空间的广西边境地区土地利用格局及多功能演变[J].农业工程学报,2021,37(5):265-272.
- [6] 李强,苏迎庆,冯珍珍.汾河流域三生空间功能耦合协调研究[J].中国水土保持科学,2021,19(5):115-125.
- [7] 袁刚,陈文波,于少康.县域三生空间多尺度划定与功能主导性研究[J].江西农业大学学报,2021,43(4):931-941.
- [8] 冉娜.江苏省国土空间“三生”功能评价及耦合协调特征分析[D].江苏南京:南京大学,2018.
- [9] 黄曼.三大城市群三生空间演变特征分析及功能分区[D].湖北武汉:武汉大学,2019.
- [10] 张斯琦.长三角城市群“三生”空间定量识别与时空演变特征研究[D].江苏徐州:中国矿业大学,2021.
- [11] 梅思雨,乔观民,周倩,等.浙江省城乡土地利用效率及耦合关系演变[J].水土保持通报,2020,40(4):295-302.
- [12] 张中秋,劳燕玲,何彩珍.土地利用多功能机制及其耦合协调时空分异:以广西为例[J].农业资源与环境学报,2021,38(2):317-331.
- [13] 李欣,殷如梦,方斌,等.基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1833-1843.
- [14] 张景鑫.基于“三生空间”的区域国土空间利用质量及耦合协调度评价研究:以苏南城市群为例[D].江苏南京:南京农业大学,2017.
- [15] 朱润苗,陈松林.基于“三生”功能的福建省国土空间特征及优化研究[J].水土保持通报,2021,41(4):323-330.
- [16] 刘超,罗建美,霍永伟,等.陕西省县域土地利用效益与城镇化的时空变化及协调性分析[J].水土保持研究,2020,27(3):320-327.
- [17] 雷勋平, Qiu R, 刘晨.土地集约利用与城镇化协调发展评价及障碍因子诊断[J].农业机械学报,2020,51(6):138-149.
- [18] 张军涛,翟婧彤.中国“三生空间”耦合协调度测度[J].城市建设与发展,2019,292(11):38-44.
- [19] 胡毅,乔伟峰,万懿,等.江苏省县域土地利用效益综合评价及其分异特征[J].经济地理研究,2020,40(11):186-195.
- [20] 付永虎,姚莹莹,刘俊青,等.江苏城市土地利用结构及其效率与城市化耦合协调性测度与评估[J].中国农业大学学报,2020,25(9):187-199.
- [21] 张军涛,翟婧彤.中国“三生空间”耦合协调度测度[J].城市问题,2019(11):38-43.
- [22] 李欣,殷如梦,方斌,等.江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J].自然资源学报,2019,34(11):2363-2377.
- [23] 段亚明,许月卿,黄安,等.“生产—生活—生态”功能评价研究进展与展望[J].中国农业大学学报,2021,26(2):113-124.
- [24] 江东,林刚,付晶莹.“三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析[J].自然资源学报,2021,36(5):1085-1101.
- [25] 吴兆丹,华钰,吴奕卓.科技支撑江淮生态大走廊水环境治理的问题与路径[J].水利经济,2020,38(1):68-73.
- [26] 吉婷婷,王细元.江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合特征及其影响因素研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(2):107-113.
- [27] 庞丽,周兴,韦芦桂.2009—2018年广西国土空间“三生”功能评价及耦合协调性分析[J].水土保持通报,2021,41(1):237-251.
- [28] 林树高,陆汝成,叶宗达,等.广西城市土地集约利用与生态文明建设耦合时空分异[J].水土保持研究,2021,28(2):301-318.
- [29] 白玉娟,洪增林,薛旭平,等.关中平原城市群土地集约利用与生态文明建设耦合性研究[J].水土保持研究,2021,28(3):272-279.
- [30] 鲁学孟,刘学录,张晶,等.甘肃省庆阳市土地集约利用与土地利用结构的耦合协调关系[J].水土保持通报,2019,39(6):240-246.
- [31] 张焱文,王枫.2009—2018年广东省土地生态安全与经济发展耦合协调分析[J].水土保持研究,2021,28(1):242-249.
- [32] 罗佳欣,崔佳,刘岩芳.城市土地集约利用与生态效率耦合协调分析[J].中国国土资源经济,2021,81(2):81-89.
- [33] 马文博,陈昱.人口城镇化与土地城镇化的耦合协调关系及空间差异[J].统计与决策,2020,36(12):114-116.
- [34] 陈晓丽,罗玛诗艺.长江经济带“三生”空间功能耦合协调的时空演化特征研究[J].国土资源科技管理,2019,36(6):1-12.