

黄河中下游河南省高质量发展与生态环境 耦合协调度时空格局研究

魏杰¹,刘丽娜²,马云霞¹,申进朝¹,王强³,王振峰¹

(1.河南省生态环境监测中心 河南省环境监测技术重点实验室,郑州 450046;

2.郑州大学 河南省超级计算中心,郑州 450053;3.河南大学 生命科学学院,河南 开封 475004)

摘要:科学认知经济高质量发展与生态环境保护之间的耦合协调关系,对于指导我国未来可持续发展具有重要的现实意义.以地处黄河中下游的河南省为研究区域,构建经济高质量发展和生态环境评价指标体系,运用耦合协调度模型分析了两者之间的协调发展情况,结果表明:(1)河南省各市生态环境指数值域范围为0.143~0.808,北部和中部地区相对较低,南部和西南部相对较高,地域分异特征明显;(2)通过分析2014至2018年河南省各市高质量发展指数,发现郑州市历年均在0.8以上,远高于其他城市;(3)2014至2018年河南省各市耦合协调度值介于0.34~0.73,主要处于勉强耦合协调和中级耦合协调阶段,南北地区差异明显.针对河南省经济发展和生态环境保护现状,可通过构建中原城市群“一核一副四轴四区”的空间格局,引领其他城市经济快速发展,同时,通过建设黄河中下游生态走廊,加强黄河中下游生态环境同治共保.

关键词:黄河中下游;高质量发展;生态环境;耦合协调度;河南省

中图分类号:X826

文献标志码:A

十九大报告提出了当前我国社会经济发展的新命题:中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,生态文明建设不仅是推动高质量发展的内在要求,更是关系中华民族永续发展的千年大计.科学认知“既要金山银山,又要绿水青山”的经济高质量发展与生态环境保护的耦合协调关系,对于指导我国未来可持续发展具有重要的现实意义^[1].经济发展与生态环境的交互作用关系一直是学术界研究的热点问题,研究尺度涉及全球^[2]、国家^[3]、省(州)^[4]、城市^[5]及典型生态区域^[6],采用的理论模型主要包括格兰杰因果(Granger Causality)^[7]、环境库兹涅茨曲线(EKC)^[8]、脱钩(Decoupling)^[9]、生态效率(Eco-efficiency)^[10]和耦合协调(Coupling Coordination)^[11]等.其中,耦合协调模型源于物理学,可以定量表征两个或两个以上系统间配合得当、和谐一致的程度,目前在城市化^[12]、生态环境^[13]、旅游^[14]和农业^[15]等领域得到广泛应用.

耦合协调度模型需首先构建评价系统的指标体系,其中,经济高质量发展是个新概念,国内学者们围绕经济高质量发展内涵进行了较为深入的研究,从多个角度构建了中国经济高质量发展指标体系^[16-17],并以黄河流域省级行政单元和城市群开展了实证研究^[18-19].生态环境主要根据“状态—压力—响应”理念构建指标体系,采用的生态环境评价指标体系没有统一标准,导致相关研究缺乏可比性^[20-21].目前围绕经济高质量发展与生态环境耦合协调关系取得一定进展,但依然存在以下不足.一是缺乏沿黄省份区域内部(地级市)之间高质量发展和生态环境耦合协调关系的研究.沿黄省份是黄河流域生态保护和高质量发展战略的执行单元,下属沿黄地市是着力点,厘清省份内部地市之间高质量发展和生态保护的耦合协调关系,是平衡区域内部之间差异,确保战略有效实施的前提.二是生态环境评价指标体系缺乏可比性.2006年原国家环境保护总局发布了《生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T 192-2006)》,并于2015年进行修订,出台了《生态环境

收稿日期:2021-04-19;修回日期:2021-07-15.

基金项目:国家自然科学基金(91851103);河南省重点研发与推广专项(科技攻关)项目(192102310273).

作者简介:魏杰(1981-),男,河南周口人,河南省生态环境监测中心工程师,研究方向为生态环境评价,E-mail:wijie@yeah.net.

通信作者:申进朝,77660837@qq.com.

状况评价技术规范(HJ 192—2015)》^[22],采用国家标准可进行不同研究区域之间的横向比较^[23]。

河南省地处黄河中下游,水资源和动植物资源丰富.小麦、烟草、芝麻产量均居全国首位.河南省是农业大省,亦是全国人口大省,同时肩负着国家经济发展战略西移,黄河中下游生态保护和高质量发展的艰巨任务,全省经济发展和生态环境保护面临严峻挑战.本研究基于耦合协调度理论模型,借鉴已有研究成果和国家相关标准,构建高质量发展和生态环境指标体系,分析河南省各市高质量发展和生态环境耦合协调关系的时空格局,研究结论将为黄河中下游生态保护和高质量发展,河南省生态环境相关政策制定等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河南省位于黄河中下游(31°23'N~36°22'N,110°21'E~116°39'E),全省总面积 16.7 万 km²,占全国总面积的 1.73%。地势西高东低,太行山、伏牛山、桐柏山、大别山沿省界在河南北、西、南部建立起生态屏障,中东部和西南部分别为黄淮海冲积平原和南阳盆地.气候类型属北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候,大部分地处暖温带,南部跨亚热带,具有四季分明,雨热同期和气候灾害频繁等特点。

1.2 数据来源

2014—2015 年遥感数据采用 Landsat8 OLI 影像,空间分辨率为 30 m,2016—2018 年遥感数据采用高分一号、二号影像,通过辐射定标、大气校正、几何校正和图像融合,生成空间分辨率为 2 m 和 4 m 的多光谱图像,依据以上影像通过人机交互解译获得土地利用数据^[24-25],用于计算生物丰度指数;NDVI 数据来源于 NASA 官网中 MOD13;DEM 数据为 30 m ASTER GDEM;水资源和土地侵蚀数据依据 2015—2019 年河南省水利厅《水资源公报》,用于计算水网密度指数和土地胁迫指数;二氧化硫等污染物排放数据采用河南省生态环境厅环境统计数据,用于计算污染负荷指数;构建高质量发展指标体系所需的经济和社会数据来自 2015—2019 年《河南省统计年鉴》。

1.3 生态环境和高质量发展耦合协调度模型

1.3.1 评价指标体系构建

(1)生态环境状况指标体系

评价标准依据《生态环境状况评价技术规范》,以生物丰度指数(BI)、植被覆盖指数(VI)、水网密度指数(WI)、土地胁迫指数(LI)和污染负荷指数(PI)加权得到的生态环境指数作为生态环境评价指标,即生态环境指数(U)=0.35×生物丰度指数+0.25×植被覆盖指数+0.15×水网密度指数+0.15×(100-土地胁迫指数)+0.10×(100-污染负荷指数).各评价指标的计算方法如下。

生物丰度指数 = $A_{bio} \times (0.11 \times S_{耕地} + 0.04 \times S_{建设用地} + 0.35 \times S_{林地} + 0.21 \times S_{草地} + 0.28 \times S_{水域湿地} + 0.01 \times S_{未利用地}) / S$, 式中, A_{bio} 为生境质量指数的归一化系数,参考值为 511.264; $S_{耕地}$, $S_{建设用地}$, $S_{林地}$, $S_{草地}$, $S_{水域湿地}$ 和 $S_{未利用地}$ 分别表示耕地、建设用地、林地、草地、水域湿地和未利用地的面积, S 为区域总面积。

表 1 生态环境指标体系及权重

Tab. 1 Ecological environment index system and weight

指标类型	生物丰度指数	植被覆盖指数	水网密度指数	土地胁迫指数	污染负荷指数
指标性质	正向	正向	正向	负向	负向
指标权重	0.35	0.25	0.15	0.15	0.10

植被覆盖指数 = $NDVI_{区域均值} = A_{veg} \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}$, 式中, P_i 为 5~9 月像元 NDVI 月最大值的均值; n 为区域像元数; A_{veg} 为植被覆盖指数的归一化系数,参考值为 0.012。

水网密度指数 = $(A_{lak} \times S_{水域面积} / S + A_{riv} \times L_{河流长度} / S + A_{res} \times V_{水资源量} * / S) / 3$, 式中 A_{lak} 为水域面积的归一化系数,参考值为 591.791; $S_{水域面积}$ 为湖泊、水库、河渠和近海水域面积; S 为区域总面积; A_{riv} 为河流长度的归一化系数,参考值为 84.370; A_{res} 为水资源量的归一化系数,参考值为 86.387。

土地胁迫指数 = $A_{\text{ero}} \times (0.4 \times S_{\text{重度侵蚀}} + 0.2 \times S_{\text{中度侵蚀}} + 0.2 \times S_{\text{建设用地}} + 0.2 \times S_{\text{其他土地胁迫}}) / S$, 式中 A_{ero} 为土地胁迫指数的归一化系数, 参考值为 236.044; $S_{\text{重度侵蚀}}$, $S_{\text{中度侵蚀}}$, $S_{\text{建设用地}}$ 和 $S_{\text{其他土地胁迫}}$ 分别表示重度土壤侵蚀, 中度土壤侵蚀, 建设用地和其他土地胁迫所占的面积; S 为区域总面积。

污染负荷指数 = $0.20 \times A_{\text{NH}_3} \times O_{\text{氨氮}} / P + 0.20 \times A_{\text{COD}} \times O_{\text{COD}} / P + 0.20 \times A_{\text{SO}_2} \times O_{\text{SO}_2} / S + 0.10 \times A_{\text{YFC}} \times O_{\text{烟(粉)尘}} / S + 0.20 \times A_{\text{NOX}} \times O_{\text{氮氧化物}} / S + 0.10 \times A_{\text{SOL}} \times O_{\text{固体废物}} / S$, 式中 A_{NH_3} 为氨氮的归一化系数, 参考值为 40.176; A_{COD} 为 COD 的归一化系数, 参考值为 4.394; A_{SO_2} 为 SO_2 的归一化系数, 参考值为 0.064 9; A_{YFC} 为烟(粉)尘的归一化系数, 参考值为 4.090; A_{NOX} 为氮氧化物的归一化系数, 参考值为 0.510; A_{SOL} 为固体废物的归一化系数, 参考值为 0.075; $O_{\text{氨氮}}$, O_{COD} , O_{SO_2} , $O_{\text{烟(粉)尘}}$, $O_{\text{氮氧化物}}$ 和 $O_{\text{固体废物}}$ 分别表示氨氮, COD, SO_2 , 烟(粉)尘, 氮氧化物和固体废物的排放量; P 为区域年降水总量; S 为区域总面积。

(2) 高质量发展指标体系

按照评价指标选取的科学性、客观性、代表性和可操作性等原则, 同时借鉴前人研究成果^[26], 从经济城镇化、人口城镇化、社会城镇化、空间城镇化和城乡一体化 5 个方面选取 17 个分指标构建高质量发展评价指标体系。

表 2 高质量发展指标体系及权重

Tab. 2 High quality development index system and weight

指标类型	分指标	指标性质	权重	指标类型	分指标	指标性质	权重
人口城镇化	人口密度/(人·km ⁻²)	正向	0.100 8	社会城镇化	城镇居民人均可支配收入/元	正向	0.077 2
	城镇化率/%	正向	0.035 4		万人拥有医院床位数/张	正向	0.073 4
	三产就业人数占比/%	正向	0.060 6		万人拥有载客车辆/台	正向	0.052 9
	就业率/%	正向	0.025 0		教育经费占比/%	正向	0.045 8
经济城镇化	经济密度/(万元·km ⁻²)	正向	0.107 4	空间城镇化	人均拥有道路长度/km	正向	0.063 8
	人均 GDP/元	正向	0.048 7		建成区占比/%	正向	0.085 4
	三产占比/%	正向	0.062 2		人均拥有建成区面积/m ²	正向	0.083 3
	GDP 增速/%	正向	0.033 8	城乡一体化	人均可支配收入之比(农村=1)	负向	0.027 4
			人均消费之比(农村=1)		负向	0.016 9	

(3) 指标标准化处理方法

本研究采用极大-极小值方法对各个指标进行标准化处理, 具体公式如下:

当指标性质为正向时,

$$I' = (I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}), \quad (1)$$

当指标性质为负向时,

$$I' = (I_{\max} - I) / (I_{\max} - I_{\min}), \quad (2)$$

式中 I 表示指标的初始数值, I' 表示经过标准化处理的可加权变量, I_{\max} , I_{\min} 分别表示指标中的最大值和最小值。

1.3.2 耦合协调度模型

耦合协调度的计算公式为:

$$C = \left[\frac{U \times V}{(0.5U + 0.5V)^2} \right]^2, T = \alpha U + \beta V, D = \sqrt{C \times T}, \quad (3)$$

式中, U 为生态环境指数, V 为高质量发展评价指数; C 表示区域生态环境和高质量发展的耦合度, 取值范围为 0 ~ 1, C 值越大, 两者发展越耦合; T 为综合协调指数, 该指数能规避低质量发展—低生态环境导致的高耦合度值, α 和 β 为待定系数, 考虑高质量发展和生态环境对人类社会的同等重要性, 本研究均设置为 0.5; D 为耦合协调度指数, 其取值范围为 0 ~ 1, D 值越接近于 1, 说明两个系统的耦合协调度越高, 二者处于良性互动均衡发展状态。根据 D 值、 U 值和 V 值之间的关系, 将生态环境和高质量发展耦合协调发展类型划分为 5 类(表 3)。

表 3 生态环境和高质量发展耦合协调发展类型及特征

Tab. 3 Types and characteristics of coupling and coordinated development of ecological environment and high quality development

耦合协调度	发展类型	发展特征
$0 \leq D < 0.2$	严重失调	
$0.2 \leq D < 0.4$	中度失调	$U - V > 0.1$, 高质量发展系统滞后型;
$0.4 \leq D < 0.6$	勉强耦合协调	$-0.1 \leq U - V \leq 0.1$, 高质量发展系统与生态环境系统同步型;
$0.6 \leq D < 0.8$	中级耦合协调	$U - V < -0.1$, 生态环境系统滞后型
$0.8 \leq D \leq 1.0$	优质耦合协调	

2 结果与分析

2.1 生态环境综合评价

通过对生态环境指标体系的 5 个分指标:生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数和污染负荷指数等进行归一化处理,并加权计算后得到 2014—2018 年河南省各市生态环境指数(图 1 和表 4)。

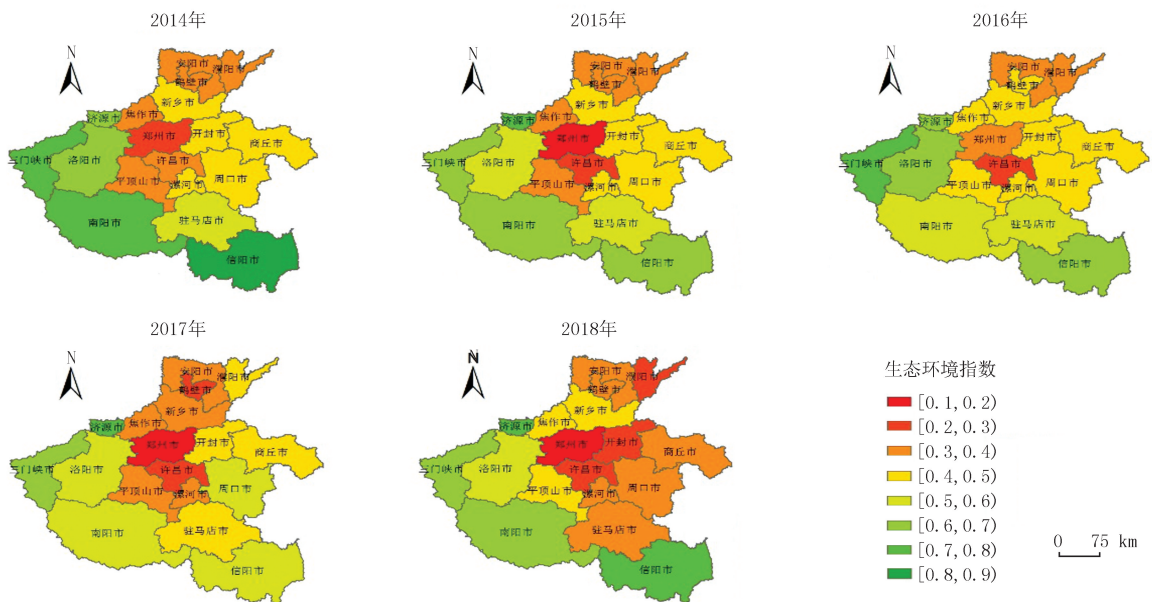


图1 2014—2018年河南省各市生态环境指数空间分布

Fig.1 Spatial distribution of eco-environmental index of cities in Henan Province from 2014 to 2018

表 4 2014—2018 年河南省各市生态环境指数

Tab. 4 Ecological environment index of cities in Henan Province from 2014 to 2018

地级市	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	地级市	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
郑州市	0.235	0.190	0.319	0.185	0.143	许昌市	0.317	0.283	0.299	0.228	0.214
开封市	0.401	0.406	0.437	0.412	0.268	漯河市	0.422	0.442	0.440	0.326	0.372
洛阳市	0.647	0.571	0.630	0.555	0.581	三门峡市	0.739	0.645	0.728	0.630	0.649
平顶山市	0.378	0.399	0.479	0.326	0.433	南阳市	0.705	0.664	0.569	0.542	0.628
安阳市	0.347	0.347	0.390	0.310	0.341	商丘市	0.432	0.410	0.443	0.462	0.327
鹤壁市	0.380	0.368	0.401	0.265	0.339	信阳市	0.808	0.689	0.644	0.560	0.715
新乡市	0.453	0.447	0.459	0.351	0.406	周口市	0.487	0.419	0.451	0.547	0.371
焦作市	0.371	0.340	0.434	0.332	0.411	驻马店市	0.582	0.593	0.508	0.470	0.386
濮阳市	0.354	0.335	0.388	0.400	0.280	济源市	0.606	0.741	0.606	0.713	0.759

从表 4 可以看出,河南省各市生态环境指数值域范围为 0.143~0.808 之间,与其他城市相比,郑州市生

态环境指数相对较低,除2016年高于许昌市之外,其他年份均为全省最低.生态环境指数较高的为信阳市、济源市、南阳市和三门峡市.从空间分布上,河南省生态环境具有典型的区域特征,北部地区,如安阳市、鹤壁市和濮阳市生态环境指数均处于较低水平,2018年生态环境指数分别为0.341、0.339和0.280;中部地区生态环境指数最低,如郑州、许昌和开封市.河南省北部和中部地区耕地比例达67.7%,森林覆盖率低,建设用地比重大,人口密集,水资源相对匮乏,污染排放强度大,生态环境状况相对较差.相对而言,河南省南部和西南部的三门峡市、南阳市和信阳市生态环境指数较高,2018年生态环境指数分别为0.649、0.628和0.715.豫西山区,豫北王屋山、豫西秦岭、伏牛山和豫南大别山等山地丘陵地区,植被覆盖指数和生物丰度指数较高,森林覆盖率达38.7%,人口密度低,人类干扰较小,生态环境指数相对较高.

从生态环境指数的时间序列变化进行分析,发现河南省中部和东南部,如郑州、开封、商丘、周口和驻马店市等,生态环境指数存在先升高后降低的趋势.为进一步分析该现象,本研究对未进行归一化的分指标进行加权计算,得到原始生态环境指数(EU),并按照表5对原始生态环境指数的变化(ΔEU)进行分级,结果如图2和表6所示.

表5 原始生态环境指数变化度分级

Tab. 5 Levels of change degree of original eco-environmental status

级别	无明显变化	略有变化	明显变化	显著变化
变化值	$ \Delta EU < 1$	$1 \leq \Delta EU < 3$	$3 \leq \Delta EU < 8$	$ \Delta EU \geq 8$
描述	生态环境质量无明显变化	如果 $1 \leq \Delta EU < 3$, 则表明生态环境质量略微变好;如果 $-1 \geq \Delta EU > -3$, 则生态环境质量略微变差	如果 $3 \leq \Delta EU < 8$, 则表明生态环境质量明显变好;如果 $-3 \geq \Delta EU > -8$, 则生态环境质量明显变差;如果生态环境状况类型发生改变, 则生态环境质量明显变化	如果 $\Delta EU \geq 8$, 则表明生态环境质量显著变好;如果 $\Delta EU \leq -8$, 则生态环境质量显著变差

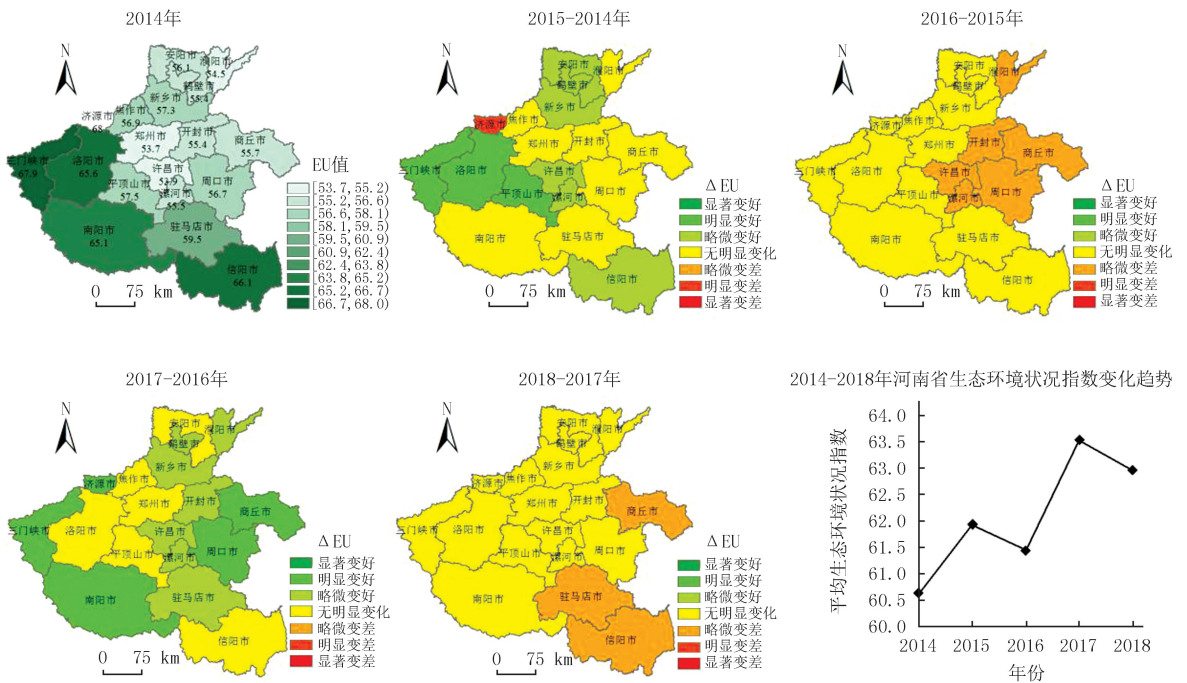


图2 2014-2018年河南省各市原始生态环境指数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of original eco-environmental index of cities in Henan Province from 2014 to 2018

从表6和图2可以看出,2014年18个地级市EU值范围为53.7~68.0,至2018年,EU值范围变化为54.8~75.3.其中,地级市生态环境状况为“优”、“良”和“一般”的个数分别为1、15和2,分别占河南省总面积的6%、88.4%和5.6%.通过分析原始生态环境指数的时间序列变化,发现河南省生态环境状况呈波动上升趋势,18个地级市中洛阳、平顶山、鹤壁、三门峡和南阳为明显变好,郑州、安阳、漯河、商丘和信阳为略微变好,其他地级市为无明显变化.分指标经过归一化处理以后计算的生态环境指数,反映的是各市之间的相对状况,中部、东部城市相对其他城市生态环境状况改善较小,因此生态环境指数呈现相对下降趋势.

表 6 2014—2018 年河南省各市原始生态环境指数评价结果

Tab. 6 Evaluation results of original eco-environmental status of Henan Province from 2014 to 2018

地级市	2014	2015	2016	2017	2018	地级市	2014	2015	2016	2017	2018
郑州市	53.7	54.4	54.7	55.2	55.2	漯河市	55.5	56.9	55.3	57.0	56.5
开封市	55.4	55.5	53.7	55.8	55.2	三门峡市	67.9	70.9	70.5	75.0	75.3
洛阳市	65.6	70.3	70.3	69.5	70.0	南阳市	65.1	64.4	64.3	68.6	68.2
平顶山市	57.5	61.9	61.7	62	62.0	商丘市	55.7	55.9	53.3	57.9	56.9
安阳市	56.1	58	58.6	59.5	58.8	信阳市	66.1	68.9	69.8	70.2	68.4
鹤壁市	55.4	57.8	58.3	60.2	59.3	周口市	56.7	57.0	55.0	58.2	57.4
新乡市	57.3	58.5	57.6	58.7	57.9	驻马店市	59.5	59.6	59.1	61.5	60.4
焦作市	56.9	57.4	57.7	57.9	57.6	济源市	68.0	61.8	62.0	66.3	66.4
濮阳市	54.5	54.3	53.1	55.5	54.8	河南省	60.6	61.9	61.4	63.5	62.9
许昌市	53.9	55.6	54.1	55.3	54.8						

2.2 高质量发展综合评价

通过对高质量发展指标体系的 17 个分指标进行归一化处理,并加权计算后得到 2014—2018 年河南省各市高质量发展指数(图 3 和表 7)。

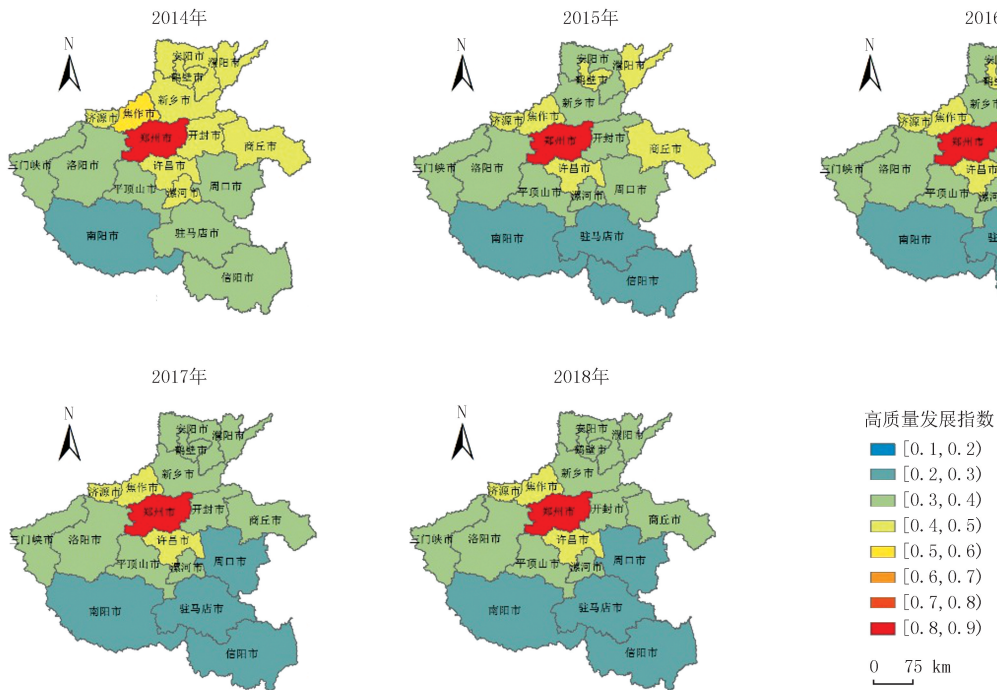


图3 2014—2018年河南省各市高质量发展指数空间分布

Fig.3 Spatial distribution of high quality development index of cities in Henan Province from 2014 to 2018

从 2014—2018 年河南省各市高质量发展指数来看,郑州市作为中原城市群的中心,其经济发展遥遥领先于其他城市,高质量发展指数历年均在 0.8 以上.郑州市的快速发展对周围地级市有明显的带动作用,如焦作、开封、洛阳和新乡等市,中原城市群作为国内经济发展新增长极,成为与长江中游城市群南北呼应、共同带动中部地区崛起的核心增长区域和支撑全国经济发展的新空间.空间分布上,高质量发展指数存在明显差异,河南省南部地区,如南阳、信阳、驻马店和周口等市高质量发展指数相对较低,2018 年其值分别为 0.257、0.299、0.273 和 0.257;中北部地区,除郑州市高于 0.8 之外,其他各市高质量发展指数均介于 0.30~0.45 之间。

表7 2014—2018年河南省各市高质量发展指数

Tab. 7 High quality development index of cities in Henan province from 2014 to 2018

地级市	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	地级市	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
郑州市	0.829	0.856	0.857	0.859	0.859	许昌市	0.483	0.437	0.442	0.432	0.424
开封市	0.402	0.377	0.355	0.311	0.329	漯河市	0.428	0.352	0.347	0.335	0.336
洛阳市	0.358	0.384	0.391	0.397	0.379	三门峡市	0.320	0.322	0.306	0.323	0.318
平顶山市	0.326	0.303	0.302	0.333	0.324	南阳市	0.282	0.261	0.246	0.255	0.257
安阳市	0.407	0.382	0.388	0.393	0.379	商丘市	0.433	0.409	0.396	0.336	0.344
鹤壁市	0.455	0.407	0.401	0.399	0.385	信阳市	0.300	0.268	0.249	0.279	0.299
新乡市	0.441	0.390	0.395	0.376	0.378	周口市	0.379	0.312	0.299	0.239	0.257
焦作市	0.503	0.490	0.478	0.477	0.445	驻马店市	0.329	0.279	0.269	0.271	0.273
濮阳市	0.451	0.431	0.419	0.381	0.358	济源市	0.447	0.450	0.456	0.450	0.433

2.3 耦合协调度综合评价

通过(3)式,计算获得2014—2018年河南省各市耦合协调度指数.从表8中可以看出,2014—2018年河南省各市耦合协调度值介于0.34~0.73之间,全省仅平顶山市呈现波动上升趋势,其他区域呈稳定或下降趋势.例如,三门峡市2014年耦合协调度值为0.614,2015—2017年呈现小幅波动,2018年仍为0.614,总体保持稳定;开封市2014年耦合协调度值为0.634,2018年降为0.541.根据高质量发展和生态环境耦合协调发展类型,各市主要处于中度失调、勉强耦合协调和中级耦合协调3个阶段,其中,中度失调仅出现在2018年郑州市,其他城市均处于勉强耦合协调和中级耦合协调阶段(图4).

表8 2014—2018年河南省各市耦合协调度

Tab. 8 Coupling coordination dispatching of cities in Henan province from 2014 to 2018

地级市	2014	2015	2016	2017	2018	地级市	2014	2015	2016	2017	2018
郑州市	0.501	0.430	0.607	0.421	0.346	许昌市	0.605	0.573	0.586	0.520	0.503
开封市	0.634	0.625	0.623	0.589	0.541	漯河市	0.652	0.622	0.619	0.575	0.594
洛阳市	0.651	0.665	0.675	0.671	0.662	三门峡市	0.614	0.618	0.600	0.619	0.614
平顶山市	0.590	0.582	0.593	0.574	0.603	南阳市	0.573	0.551	0.538	0.549	0.549
安阳市	0.610	0.602	0.624	0.584	0.598	商丘市	0.658	0.640	0.645	0.616	0.579
鹤壁市	0.641	0.621	0.633	0.553	0.599	信阳市	0.588	0.558	0.538	0.575	0.592
新乡市	0.669	0.644	0.650	0.602	0.625	周口市	0.648	0.592	0.588	0.531	0.542
焦作市	0.646	0.623	0.674	0.615	0.653	驻马店市	0.623	0.575	0.564	0.564	0.557
濮阳市	0.626	0.609	0.634	0.624	0.556	济源市	0.709	0.725	0.714	0.724	0.714

从发展类型上,郑州市属于较为严重的生态环境滞后型,2014—2018年高质量发展指数和生态环境指数之间均存在较大差值(0.54~0.72);焦作市和许昌市也属于生态环境滞后型,程度相对较轻(0.13~0.21);洛阳、三门峡、信阳、周口、济源和驻马店等市均属于高质量发展滞后型,其他地级市为同步型(图5).

3 结论

本文以黄河中下游河南省为例,构建了高质量发展和生态环境评价指标体系,并利用耦合协调度模型进一步分析了两者的协调发展情况,结果表明:1)通过分析原始生态环境指数的时间序列变化,发现2014至2018年河南省生态环境状况呈波动上升趋势,平均值约增加2.3.分指标经过归一化处理以后,由于区域之间生态环境改善的差异性,导致部分地区生态环境指数呈下降趋势;2)2014至2018年河南省各市高质量发展指数,郑州市历年均高于0.8,遥遥领先于其他地级市;3)2014—2018年河南省各市主要处于勉强耦合协调和中级耦合协调阶段,2018年18个地级市中,3个属生态环境滞后型,6个属高质量发展滞后型,9个属同步型.

河南省沿黄城市高质量发展和生态环境多为中级耦合协调阶段,高质量发展滞后型、生态环境滞后型和

同步型 3 种发展类型并存,经济发展和生态环境均有较大的提升空间.一方面,通过构建“一核一副四轴四区”网络化、开放式、一体化发展的空间格局,以郑州市作为中原城市群建设核心,引领沿黄地区其他地级市经济快速发展.另一方面,加强黄河中下游生态环境同治共保,恢复受农业活动强烈影响的嫩滩湿地,改善黄河中下游河流生态系统结构和功能,提升生物多样性.

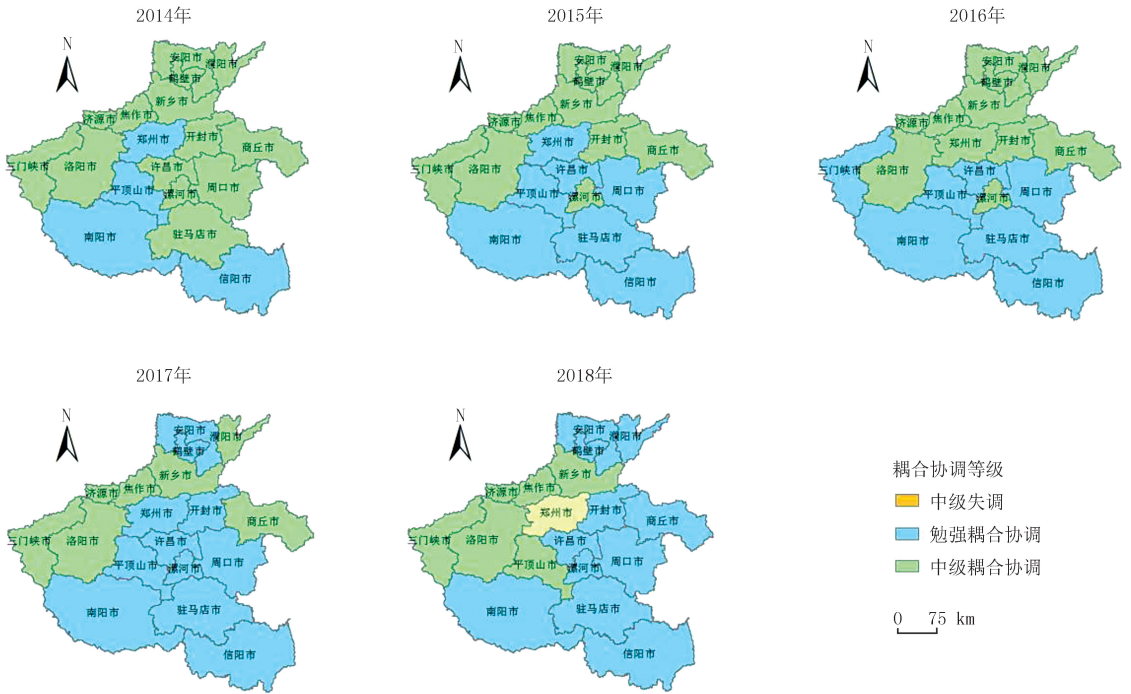


图4 2014-2018年河南省各市耦合协调发展指数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of coupling coordinated development index of cities in Henan Province from 2014 to 2018

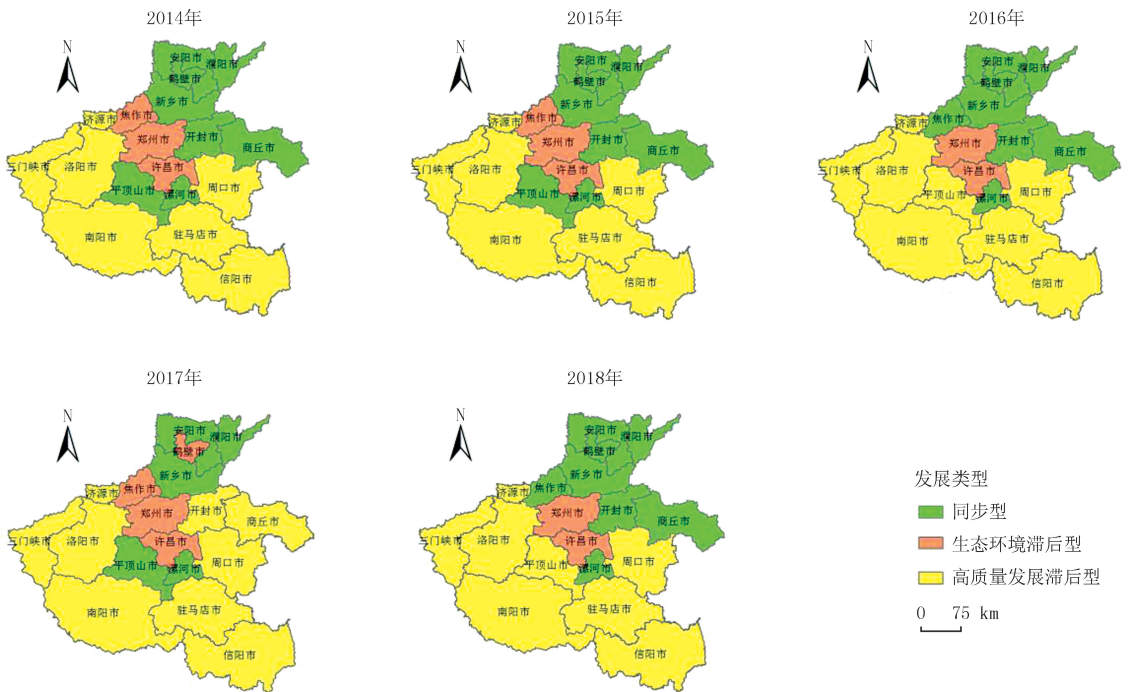


图5 2014-2018年河南省各市发展类型空间分布

Fig.5 Spatial distribution of development types of cities in Henan province from 2014 to 2018

参 考 文 献

- [1] 王育宝,陆扬,王玮华.经济高质量发展与生态环境保护协调耦合研究新进展[J].北京工业大学学报(社会科学版),2019,19(5):84-94.
WANG Y B,LU Y,WANG W H.New research progress on the coordinated coupling of high-quality economic development and ecological environmental protection[J].Journal of Beijing University of Technology(Social Sciences Edition),2019,19(5):84-94.
- [2] ANDRÉE B P J,CHAMORRO A,SPENCER P,et al.Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation,pollution and carbon emission[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews,2019,114:109221.
- [3] AZAM M,KHAN A Q,OZTURK I.The effects of energy on investment, human health,environment and economic growth:empirical evidence from China[J].Environmental Science and Pollution Research,2019,26(11):10816-10825.
- [4] WANG Y F,GENG Q J,SI X H,et al.Coupling and coordination analysis of urbanization,economy and environment of Shandong Province,China[J].Environment,Development and Sustainability,2021,23(7):10397-10415.
- [5] HE J Q,WANG S J,LIU Y Y,et al.Examining the relationship between urbanization and the eco-environment using a coupling analysis: Case study of Shanghai,China[J].Ecological Indicators,2017,77:185-193.
- [6] 饶清华,林秀珠,李家兵,等.流域社会经济与水环境质量耦合协调度分析[J].中国环境科学,2019,39(4):1784-1792.
RAO Q H,LIN X Z,LI J B,et al.Analysis of coupling coordination between social economy and water environment quality in river basin [J].China Environmental Science,2019,39(4):1784-1792.
- [7] HOFFMANN R,LEE C G,RAMASAMY B,et al.FDI and pollution:a granger causality test using panel data[J].Journal of International Development,2005,17(3):311-317.
- [8] DOGAN E,INGLESI-LOTZ R.The impact of economic structure to the environmental Kuznets curve(EKC)hypothesis:evidence from European countries[J].Environmental Science and Pollution Research,2020,27(11):12717-12724.
- [9] SHUAI C Y,CHEN X,WU Y,et al.A three-step strategy for decoupling economic growth from carbon emission:Empirical evidences from 133 countries[J].Science of the Total Environment,2019,646:524-543.
- [10] PICAZO-TADEO A J,BELTRÁN-ESTEVE M,GÓMEZ-LIMÓN J A.Assessing eco-efficiency with directional distance functions[J].European Journal of Operational Research,2012,220(3):798-809.
- [11] LAI Z Z,GE D M,XIA H B,et al.Coupling coordination between environment,economy and tourism;a case study of China[J].Plos One, 2020,15(2):e0228426.
- [12] 吕梦婷,王宏卫,杨胜天,等.艾比湖流域城镇化与水土资源效益测评及协调性分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2019,47(1): 80-87.
LYU M T,WANG H W,YANG S T,et al.Evaluation and coordination analysis of urbanization and land and water resources efficiency in Ebinur Lake Basin[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2019,47(1):80-87.
- [13] YAO L,LI X L,LI Q,et al.Temporal and spatial changes in coupling and coordinating degree of new urbanization and ecological-environmental stress in China[J].Sustainability,2019,11(4):1171.
- [14] LIU J S,LI C,TAO J Q,et al.Spatiotemporal coupling factors and mode of tourism industry,urbanization and ecological environment:a case study of Shaanxi,China[J].Sustainability,2019,11(18):4923.
- [15] CAI J,LI X P,LIU L J,et al.Coupling and coordinated development of new urbanization and agro-ecological environment in China[J].Science of the Total Environment,2021,776:145837.
- [16] 马茹,罗晖,王宏伟,等.中国区域经济高质量发展评价指标体系及测度研究[J].中国软科学,2019(7):60-67.
MA R,LUO H,WANG H W,et al.Study of evaluating high-quality economic development in Chinese regions[J].China Soft Science, 2019(7):60-67.
- [17] 李金昌,史龙梅,徐蕊婷.高质量发展评价指标体系探讨[J].统计研究,2019,36(1):4-14.
LI J C,SHI L M,XU A T.Probe into the assessment indicator system on high-quality development[J].Statistical Research,2019,36(1): 4-14.
- [18] 石涛.黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调度及空间网络效应[J].区域经济评论,2020(3):25-34.
SHI T.Spatial correlation network and regional connected effect of coupling coordination degree between ecological protection and high-quality economic development in the Yellow River regions[J].Regional Economic Review,2020(3):25-34.
- [19] 刘琳轲,梁流涛,高攀,等.黄河流域生态保护与高质量发展的耦合关系及交互响应[J].自然资源学报,2021,36(1):176-195.
LIU L K,LIANG L T,GAO P,et al.Coupling relationship and interactive response between ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J].Journal of Natural Resources,2021,36(1):176-195.
- [20] 王军,陈振楼,许世远.长江口滨岸带生态环境质量评价指标体系与评价模型[J].长江流域资源与环境,2006,15(5):659-664.
WANG J,CHEN Z L,XU S Y.Index system and model for evaluation of ecological and environmental quality in the Yangtze estuary-coastal zone[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2006,15(5):659-664.
- [21] 李崧,邱微,赵庆良,等.层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究[J].环境科学,2006,27(5):1031-1034.

- LI S, QIU W, ZHAO Q L, et al. Applying analytical hierarchy process to assess eco-environment quality of Heilongjiang Province[J]. Environmental Science, 2006, 27(5): 1031-1034.
- [22] 中华人民共和国生态环境部. 生态环境状态状况评价技术规范(HJ192-2015)[EB/OL]. [2021-04-01]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fg-bz/bz/bzwb/stz1/201503/t20150324_298011.shtml.
- [23] 王彦芳, 裴宏伟. 1980—2015年河北坝上地区生态环境状况评价与对策研究[J]. 生态经济, 2018, 34(1): 186-190.
WANG Y F, PEI H W. Evaluation on eco-environment quality of Bashang region in Hebei Province from 1980 to 2015[J]. Ecological Economy, 2018, 34(1): 186-190.
- [24] 蔡建楠, 何甜辉, 黄明智. 高分一、二号卫星遥感数据在生态环境监测中的应用[J]. 环境监测与预警, 2018, 10(6): 12-18.
CAI J N, HE T H, HUANG M Z. The application of GF-1 and GF-2 satellite remote sensing data to ecological environment monitoring [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2018, 10(6): 12-18.
- [25] 刘金榜, 李建松, 柯晓龙, 等. ArcGIS支持下高分辨率遥感影像解译效率提高方法[J]. 测绘地理信息, 2014, 39(6): 54-58.
LIU J B, LI J S, KE X L, et al. A method of improving the efficiency of interpretation of high resolution images based on arc GIS[J]. Journal of Geomatics, 2014, 39(6): 54-58.
- [26] 韩冬. 国家中心城市高质量发展与生态环境耦合协调度及空间格局演进研究[J]. 生态经济, 2021, 37(6): 158-164.
HAN D. Research on the coupling coordination degree and spatial pattern evolution of high-quality development and ecological environment of national central cities[J]. Ecological Economy, 2021, 37(6): 158-164.

Spatial temporal pattern of coupling coordination degree between high quality development and ecological environment in Henan Province in the middle and lower reaches of the Yellow River

Wei Jie¹, Liu Lina², Ma Yunxia¹, Shen Jinchao¹, Wang Qiang³, Wang Zhenfeng¹

(1. Henan Key Laboratory of Environmental Monitoring Technology, Henan Ecological Environment Monitoring Center, Zhengzhou 450046, China; 2. Henan Province Supercomputing Center, Zhengzhou University, Zhengzhou 450053, China; 3. School of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Scientifically understanding of the coupling and coordination relationship between high-quality economic development and ecological environment protection is of great practical significance to guide China's future sustainable development. In this paper, Henan Province, which is located in the middle and lower reaches of the Yellow River, was taken as the research area to construct the evaluation index systems of high-quality development and ecological environment, and the development of coordination between them was analyzed by using the coupling coordination model. The results showed that: (1) the range of eco-environmental index in Henan Province was 0.143—0.808, the northern and central regions were relatively low, the south and the southwest were relatively high, and the regional differentiation was obvious; (2) By analyzing the high quality development index of Henan Province from 2014 to 2018, it was found that Zhengzhou was above 0.8 over the years, far ahead of other cities; (3) From 2014 to 2018, the coupling coordination degree of each city in Henan Province ranged from 0.34 to 0.73, mainly in the stage of barely coupling coordination and intermediate coupling coordination, with obvious differences between the north and the south. In view of the current situation of economic development and ecological environment protection in Henan Province, the rapid economic development of other cities can be led by constructing the spatial pattern of "one core, one vice, four axes and four districts" in the Central Plains Urban Agglomeration. At the same time, the ecological environment should be jointly managed and protected by constructing the ecological corridor in the middle and lower reaches of the Yellow River.

Keywords: the middle and lower reaches of the Yellow River; high quality development; ecological environment; degree of coupling and coordination; Henan Province