

河南省生态环境、经济发展与科技创新 三系统耦合协调发展研究

田志强¹, 薛 臣², 谢双文², 温 建², 雷丽娟²

(1. 河南农业大学 科学技术处, 郑州 4500046; 2. 河南农业大学 信息与管理科学学院, 郑州 4500046)

摘要:为研究河南省生态环境、经济发展与科技创新三个系统之间的协调发展状况和影响因素,选取三个系统的多维度指标数据,利用熵值法和耦合协调度模型,实证分析了河南省2004—2020年三个系统综合发展水平和协调发展状况,然后将河南省与另30个省份2020年三个系统综合发展水平和协调发展状况进行比较分析。研究发现,生态环境保护落后普遍存在于中国各省份,相较于其他各省份,河南省生态环境综合发展水平非常落后;河南省2004—2020年三个系统耦合协调度上升主要受到经济发展和科技创新这两个系统之间协调发展的带动。最后提出相关建议。

关键词:生态环境;经济发展;科技创新;综合发展指数;耦合协调度;河南省

中图分类号:G31;X3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)14-0265-06

随着中国经济发展加快,如何让经济持续、快速和高质量发展成为中国关注的焦点。党的十九届六中全会通过的《中共中央关于党的百年奋斗重大成就和历史经验的决议》(以下简称《决议》)中强调必须实现创新成为第一动力、协调成为内生特点、绿色成为普遍形态等要求,最终推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革。实现高质量发展是我国经济社会发展历史、实践和理论的统一,是开启全面建设社会主义现代化国家新征程、实现第二个百年奋斗目标的根本路径。生态环境-经济发展-科技创新系统中三者存在相互促进、相互制约的关系,科技创新是经济发展的动力,也是保护环境的重要手段,但科技创新和经济发展的同时也会对生态环境造成一定程度的破坏,反过来,生态环境对科技、经济和人类社会造成影响。鉴于生态环境、经济发展和科技创新对社会发展的影响,已有学者展开相关研究。蒋文莉等^[1]研究了珠江三角2008—2018年生态环境-经济发展-科技创新系统耦合协调特征,发现各城市突破失调状态的瓶颈不同。彭朝霞和吴玉锋^[2]研究了我国2014年生态环境-经济发展-科技创新三系统关系,认为经济结构、经济效益与科技成果转化水平是影响耦合协调度

的突出因素。谭建伟和王宇^[3]研究了2011—2018年重庆市生态文明、科技创新与区域经济三系统协调发展关系,发现整体耦合协调发展水平在2011—2018年呈向上的趋势,两系统耦合协调发展水平与三系统耦合协调发展趋势基本一致,但稳定性略低于三系统。段新等^[4]对中国2002—2016年区域生态环境、经济发展和科技创新水平分析,发现生态环境、经济发展和科技创新总体上不断发展并呈阶段性特征。也有学者对三系统中的其中两个系统进行了研究。对于科技与经济系统,部分学者发现科技与经济耦合协调度逐年上升,科技创新与经济增长的协同发展对经济产出具有重要的推动作用^[5-7]。对于科技与环境系统,部分学者认为高技术产业发展对人类经济社会和生态环境等具有巨大影响,而科技创新是当前突破产业发展瓶颈的动力源泉,良好的区域科技创新有利于促进生态环境的治理和优化,反过来,良好的区域生态环境也会促进科技创新的生态化转型,两者之间相互联系、互为影响、耦合互动,共同促进区域朝着高质量生产、生活、生态化转变^[8-10]。对于环境与经济系统,张忆君和马骏^[11]发现2004年以后苏北还处在以牺牲环境换取经济发展的传统经济增长模式中,但并

收稿日期:2023-02-22

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(21A630017)。

作者简介:田志强(1976—),男,河南安阳人,河南农业大学科学技术处,助理研究员,研究方向为科技管理;通讯作者雷丽娟(1976—),女,河南许昌人,河南农业大学信息与管理科学学院,教授,研究方向为应用统计、科技评价。

非经济发展就会破坏生态环境,何红和王淑新^[12]通过研究区域中心城市旅游-经济-生态环境耦合协调关系,认为通过发展旅游产业可以促进当地经济发展。河南是一个地大物博、资源富足、环境优美、有巨大发展潜力的大省,通过统筹协调河南省生态环境、经济发展和科技创新的资源分配和加快相关政策出台等措施,让生态环境-经济发展-科技创新系统中三者形成协调互助、共同发展的局面,以达到经济持续、快速和高质量发展和人民生活质量提高的目标。因此,在借鉴前人已有研究的基础上运用熵值法和耦合协调度模型对 2004—2020 年河南省和另 30 个省份(因数据缺失,未包括港澳台地区)的生态环境、经济发展和科技创新三者之间的协调发展状况进行分析,最终得出结论并提出建议。

1 生态、经济和科技创新的耦合协调模型构建

1.1 数据来源

数据来源于《河南统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》和相关网站(表 1)。

1.2 确定指标权重

因为熵权法是一种客观赋权方法,利用归一化方法对指标标准化处理后,根据指标变异性的大小来客观确定权重,避免了人的主观因素干扰,能深刻反映指标的区分能力,很好地确定了权重。记 a_{ij} ($i=1,2,L,m;j=1,2,L,n$) 为第 j 项指标的第 i 个

数据。具体步骤如下。

1) 利用归一化方法对指标标准化处理^[13],有正向指标:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_{ij})}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})} \times 0.9 + 0.1 \quad (1)$$

逆向指标:

$$a'_{ij} = \frac{\max(a_{ij}) - a_{ij}}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})} \times 0.9 + 0.1 \quad (2)$$

2) 第 j 项指标的熵值为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

式中: $p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$, 表示第 j 项指标的第 i 个评价对象的特征比重, $k > 0, k = 1/\ln m, e_j > 0$ 。

3) 第 j 项指标的权重为

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (4)$$

式中: $g_j = 1 - e_j$, 表示第 j 项指标的差异系数。

1.3 计算各系统综合评价得分(发展指数)

设 U_1 、 U_2 和 U_3 分别表示生态、经济和科技创新系统的综合评价得分,则

$$U_k = \sum_{j=1}^n w_j a'_{ij}, \quad k = 1, 2, 3 \quad (5)$$

式中: a'_{ij} 为标准化后的数据值, w_j 为各指标的权重。

表 1 2004—2020 年 31 个省份三系统评价指标

耦合系统	一级指标	二级指标
生态环境系统	生态环境状况	人均森林面积/(ha·人 ⁻¹)、森林覆盖率/%、活立木总蓄积量/万 m ³ 、人均城市绿地面积/(ha·人 ⁻¹)、人均占有水资源量/(m ³ ·人 ⁻¹)
	生态环境压力	人均城市污水排放量/(t·人 ⁻¹)、人均化学需氧量排放量/(t·人 ⁻¹)、人均二氧化硫排放量/(t·人 ⁻¹)、人均一般工业固体废物产生量/(t·人 ⁻¹)
	生态环境修复	人均国家级自然保护区面积/(ha·人 ⁻¹)、人均人工造林面积/(ha·人 ⁻¹)、人均造林总面积/(ha·人 ⁻¹)
	生态环境响应	生活垃圾无害化处理率/%、地方财政节能环保支出/亿元、工业污染治理完成投资/万元、一般工业固体废物综合利用率/%
经济发展系统	经济规模	生产总值/亿元、人均生产总值/(元·人 ⁻¹)、公共预算收入/亿元、社会消费品零售总额/亿元
	经济活力	地区生产总值增长速度/%、第三产业增速/%、固定资产投资增长率/%、社会消费品零售总额增长率/%
	经济结构	第二产业生产总值占各地区 GDP 比例/%、第三产业生产总值占各地区 GDP 比例/%、进出口贸易总额占各地区 GDP 的比例/%
科技创新系统	科技规模	(R&D)人员数/人、(R&D)人员折合全时当量/(人·年)、万人(R&D)人员数/人
	科技投入	地方财政科学技术支出/亿元、(R&D)经费内部支出/万元、(R&D)经费投入强度/%、(R&D)经费内部支出占各地区 GDP 比例/%
	科技产出	技术市场成交额/亿元、国内专利申请授权量/项、高校(R&D)课题数/个

注:仅“生态环境压力”对应的二级指标属性为负(逆),其余二级指标属性均为正。

1.4 耦合度函数

把生态、经济和科技创新三系统之间的耦合度记为 C , 计算公式为

$$C = \left[U_1 U_2 U_3 \left(\frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \right)^{-3} \right]^{1/3},$$

$$C \in [0, 1] \quad (6)$$

耦合度函数反映了系统之间的关联程度, 即耦合水平。耦合度函数值越大, 表明系统间的耦合水平越高; 耦合度函数值越小, 表明系统间耦合水平越低。

1.5 耦合协调度模型

由于耦合度函数只能反映系统间的相互作用程度, 不能反映系统之间的协调发展水平。为了得到系统间的协调发展水平, 构建耦合协调度模型为

$$D = \sqrt{CT}, \quad T = aU_1 + bU_2 + cU_3 \quad (7)$$

式中: D 为耦合协调度; T 为生态环境、经济发展和科技创新三系统的综合发展指数; a 、 b 、 c 为待定系数且满足 $a + b + c = 1$, 考虑生态环境、经济发展和科技创新三系统同等重要, 这里取 $a = b = c = 1/3$ 。 D 大小与三系统之间的耦合协调程度成正比。根据耦合协调度值的大小, 将耦合协调度等级划分如表 2 所示。

表 2 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度 D 区间	协调等级	耦合协调程度
(0.0, 0.1)	I	极度失调
[0.1, 0.2)	II	严重失调
[0.2, 0.3)	III	中度失调
[0.3, 0.4)	IV	轻度失调
[0.4, 0.5)	V	濒临失调
[0.5, 0.6)	VI	勉强协调
[0.6, 0.7)	VII	初级协调
[0.7, 0.8)	VIII	中级协调
[0.8, 0.9)	IX	良好协调
[0.9, 1.0)	X	优质协调

2 河南省历年生态、经济、科技创新耦合发展实证分析

利用式(5)和式(7)得到的计算结果如表 3 所示。为了更加直观地看出和分析三系统综合发展和协调发展状况, 利用表 3 数据画出图 1。

2.1 河南省生态环境、经济发展和科技创新综合发展指数分析

由表 3 可知, 2004—2020 年河南省生态环境综合发展指数从 0.356 1 上升到 0.637 9, 经济发展综合发展指数从 0.332 3 上升到 0.732 3, 科技创新综合发展指数从 0.1 上升到 1。由图 1 可知, 生态环境综合发展指数发展过程有上升有下降, 从 2017 年之后一直到 2020 年生态环境综合发展指数一直在下降, 是三系统中发展最不稳定的,

表 3 河南省 2004—2020 年三系统综合发展指数和协调发展指数

年份	生态环境综合得分	经济发展综合得分	科技创新综合得分	三系统耦合协调度
2004	0.356 1	0.332 3	0.1	0.477 4
2005	0.347 3	0.36	0.125 5	0.500 4
2006	0.329 4	0.362 5	0.149	0.510 9
2007	0.385 9	0.411 7	0.18	0.553
2008	0.403 4	0.403	0.193 2	0.561 7
2009	0.501 1	0.361 3	0.238 5	0.592 3
2010	0.426 5	0.411 1	0.270 9	0.601 8
2011	0.419 5	0.495 9	0.331 4	0.640 3
2012	0.406 1	0.531 3	0.379 4	0.658 9
2013	0.448 6	0.569 1	0.436 6	0.693 7
2014	0.633 7	0.596 3	0.470 6	0.749 9
2015	0.594 6	0.624 1	0.509	0.757 5
2016	0.759 6	0.653 7	0.547	0.804 8
2017	0.773 3	0.702 6	0.614 6	0.832 9
2018	0.767 7	0.753	0.693 7	0.858 7
2019	0.740 3	0.765 1	0.828 2	0.881 5
2020	0.637 9	0.732 3	1	0.880 8

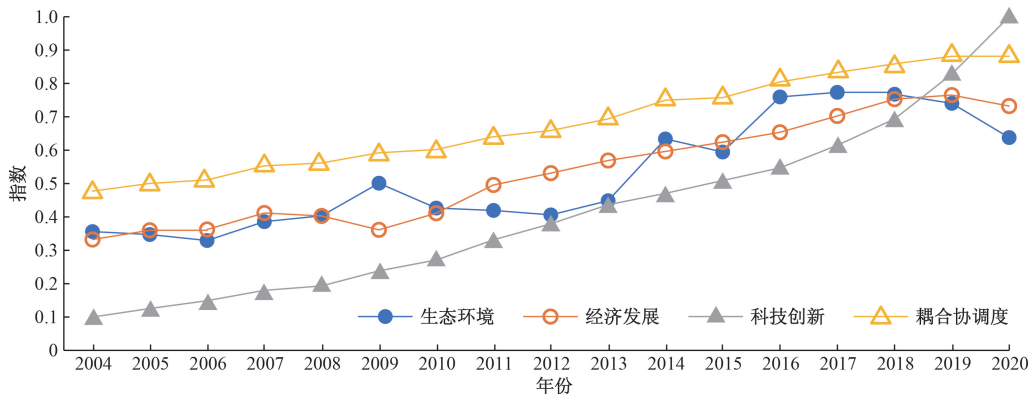


图 1 河南省 2004—2020 年三系统综合发展和协调发展状况

2004—2020年生态环境综合发展指数平均增长率为4.72%,发展趋势大致呈“峰谷型”;经济综合发展指数发展过程中只有2008年、2009年和2020年有所下降,其余年份均在上升,总体发展呈上升趋势,年平均增长率为5.31%;科技创新综合发展指数年年上升,年平均增长率远超生态环境和经济发展,达到了15.63%。总体上看,三系统都得到了较好的发展,其中科技创新的发展最为突出,经济次之,然后是生态环境。

2.2 河南省生态环境、经济发展和科技创新协调发展指数分析

由表3可知,2004—2020年河南省生态环境、经济发展和科技创新三系统的协调发展指数从0.447 4上升到0.880 1,年平均增长率为3.93%,协调程度从濒临失调发展到良好协调,一共跨越了4个协调等级,除了2019年和2020年有所下降,其余年份都在上升,三系统耦合协调度总体上呈上升趋势。其中2004—2006年、2009—2012年、2014—2015年、2017—2019年这些年间生态环境综合发展指数都是处于下降的状态,经济发展和科技创新综合发展指数处于上升状态;2007—2009年经济发展综合发展指数不断下降,其余系统综合发展指数上升,说明虽然有些年份系统发展情况不一,但这并不影响三系统耦合协调发展指数的上升。由图1还可以看出三系统综合发展指数曲线在2018—2019年交汇之后就向外分散,只有科技创新综合发展指数上升,结果导致2019—2020年即便科技创新水平得到了较大的提升,但随着生态环境和经济发展综合发展水平的下降,三系统的耦合协调度也有所下降。

3 31个省份三系统协调发展的差异分析

利用式(5)和式(7)获取的计算结果(表4),画出图2,然后将31个省份三系统综合发展指数和耦

合协调度按照经济综合发展指数降序排序得到图3。

3.1 31个省份三系统综合发展的差异分析

由表4和图2可知,2020年生态环境综合发展指数位列前三的分别是西藏、内蒙古和云南;经济

表4 中国31省份2020年三系统综合发展指数和协调发展指数

省份	生态环境综合得分	经济发展综合得分	科技创新综合得分	三系统耦合协调度
北京	0.253 6	0.626 4	0.697 8	0.693 1
天津	0.211 1	0.401	0.289 8	0.539 1
河北	0.311 2	0.356 5	0.237 3	0.545 4
山西	0.311 8	0.304 9	0.166 3	0.501
内蒙古	0.444 5	0.268	0.140 9	0.506
辽宁	0.249 3	0.338 2	0.242 8	0.523
吉林	0.305 6	0.265 2	0.178 7	0.493 7
黑龙江	0.352 1	0.224 4	0.165 3	0.485 3
上海	0.266 7	0.671 5	0.456 8	0.658 9
江苏	0.334 9	0.678 6	0.669 5	0.730 7
浙江	0.362 2	0.599 7	0.570 6	0.706 1
安徽	0.287 7	0.402 6	0.321	0.577 7
福建	0.319 8	0.468 9	0.294 2	0.594 4
江西	0.311 6	0.347 7	0.234 3	0.542 2
山东	0.328 6	0.532 4	0.430 7	0.649 9
河南	0.279 3	0.401 6	0.286 8	0.564
湖北	0.298 6	0.310 1	0.341 9	0.562 4
湖南	0.295 7	0.376 6	0.300 7	0.567 7
广东	0.362 3	0.737 3	0.825 3	0.777 3
广西	0.282 7	0.320 9	0.161 5	0.494 7
海南	0.245 6	0.302 8	0.119 9	0.455 4
重庆	0.279 4	0.393	0.231 6	0.542 3
四川	0.369 7	0.417	0.326 5	0.607 6
贵州	0.320 5	0.308 7	0.164 1	0.503 2
云南	0.398 5	0.317 3	0.164 3	0.524 3
西藏	0.676 5	0.244 7	0.1	0.504 9
陕西	0.320 9	0.335 3	0.284 4	0.559 2
甘肃	0.305 1	0.254 3	0.148 3	0.475 1
青海	0.352	0.202 5	0.112 8	0.447 6
宁夏	0.278 1	0.244	0.141 9	0.461 3
新疆	0.279 6	0.252 8	0.121 2	0.452 3

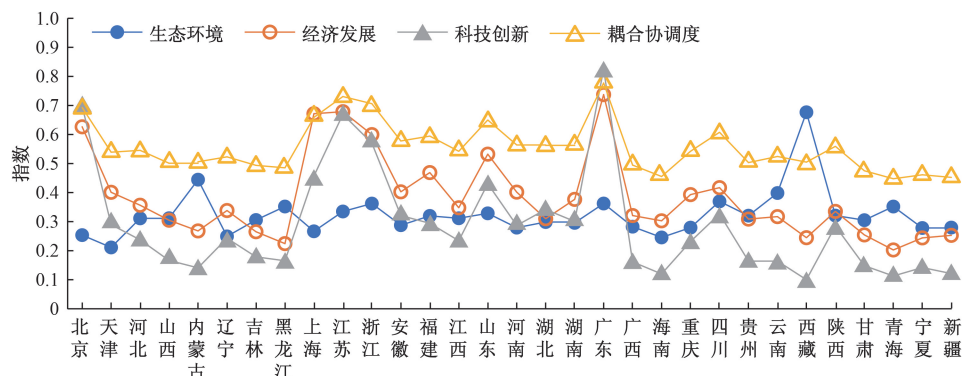


图2 中国31省份2020年三系统综合发展和协调发展状况

发展综合发展指数位列前三的省份分别是广东、江苏和上海;科技创新综合发展指数位列前三的省份分别是广东、北京和江苏。由图3可知,科技创新、耦合协调度与经济发展的走势大致都为向下的趋势,生态环境综合发展指数一直在0.3上下波动。事实上,将31个省份数据分别以经济发展和科技创新为关键词降序排序(限于篇幅原因,这里不再将图画出),发现经济发展、科技创新和三系统耦合协调度曲线走势都大致保持一致,唯有生态环境波动起伏。对于河南省,除了生态环境综合发展指数处于中等偏下的较低水平,其经济发展综合发展指数和科技创新综合发展指数都处于中等偏上的较高水平。

3.2 中国31个省份三系统协调发展的差异分析

由表4可知,2020年三系统耦合协调度值位列前三的省份分别是广东、江苏和浙江;河南位列11,在中国31个省份中处于较高位次,但也只是达到了勉强协调。由图3可知,三系统耦合协调度值较高的省份经济发展综合发展指数和科技创新综合发展指数也较高。相似地,河南省生态环境综合发展指数很低,但其经济发展综合发展指数和科技创新综合发展指数较高,三系统耦合协调度值也很高,从而可以推断出河南省2020年三系统较高的耦合协调度值主要受到经济发展和科技创新二者协调发展紧密的影响。通过与其他省份相比,河南省生态环境保护建设比较落后,这将制约河南省未来三系统耦合协调度发展的提升。

4 结论与建议

利用熵值法和构造的耦合协调度模型实证分析了河南省2004—2020年生态环境、经济发展和科技创新的综合发展指数和三系统的耦合协调度以及31个省份2020年生态环境、经济发展和科技创

新的综合发展指数和三系统的耦合协调度。通过分析图表数据得到了以下结论和建议。

4.1 结论

第一,2004—2020年河南省生态环境、经济发展和科技创新三个系统都得到了一定程度的发展,三个系统间的协调发展程度也在不断提高,直到2020年,三个系统的协调发展程度已经达到了良好协调。

第二,相较于生态环境而言,2004—2020年河南省三个系统耦合协调度与经济发展和科技创新联系更为紧密,三系统的耦合协调度发展受到生态环境建设落后的制约。

第三,2004—2020年河南省经济发展和科技创新水平稳步上升,而生态环境发展水平一直在波动,在2016年之后生态环境发展水平一直下降,这直接影响了三系统的耦合协调度。

第四,与中国其他省份相比,河南省经济和技术的发展都处于较高的水平,但生态环境发展水平垫底。

总的来说,河南省生态环境发展水平无论与自身的科技创新发展水平和经济发展水平相比还是与中国其他省份的生态环境发展水平相比,都处于落后水平,这与河南省工作重心和政策导向等因素有关。因此,若2020年之后河南省生态环境发展水平不得到提升,即使经济发展和科技创新得到发展,三个系统之间的耦合协调度很可能不会得到提升。生态文明建设是关系中华民族永续发展的千年大计,“人与自然和谐共生”是当今世界的主题,应加大环境保护力度和投入,促进三系统耦合协调度提升。

4.2 建议

因为生态环境、经济发展和科技创新有着紧密

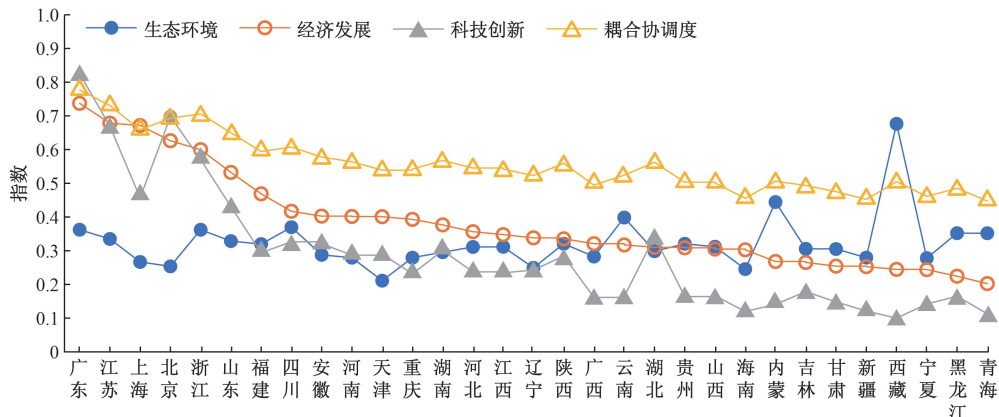


图3 按照经济发展综合指数降序排序情况

联系,经济发展为科技创新和环境保护提供资金来源,科技创新助推经济发展并为环境保护提供技术支持,环境保护则是助推经济高质量发展的新引擎等。为促进河南省生态环境、经济发展和科技创新进一步协调发展,有关部门应出台相关政策,加大环境治理的力度,坚持环境保护与经济同时发展,同时经济和科技的发展也不能落后。坚持生态环境、经济发展和科技创新三个系统同步发展,相互促进,早日实现三系统优质协调发展。

参考文献

- [1] 蒋文莉,黄何,蔡盼心,等.珠三角生态-经济-科技创新系统耦合协调特征及发展对策[J].科技管理研究,2021,41(11):63-69.
- [2] 彭朝霞,吴玉锋.我国生态-经济-科技系统耦合协调发展评价及其差异性分析[J].科技管理研究,2017,37(4):250-255.
- [3] 谭建伟,王宇.生态文明、科技创新与区域经济系统耦合协调研究——以重庆市为例[J].重庆理工大学学报(社会科学版),2022,36(1):97-107.
- [4] 段新,戴胜利,廖凯诚.区域科技创新、经济发展与生态环境的协调发展研究——基于省级面板数据的实证分析[J].科技管理研究,2020,40(1):89-100.
- [5] 王震,冯晓光.河北省科技创新与经济协调发展的实证研究[J].华北理工大学学报(社会科学版),2021,21(2):26-31.
- [6] 肖田野,罗广宁,陈丹华.区域科技创新与经济发展耦合协调度研究——以广东为例[J].科技管理研究,2017,37(15):21-28.
- [7] 杨武,杨森.中国科技创新与经济发展耦合协调度模型[J].中国科技论坛,2016(3):30-35.
- [8] 冯俊华,王倩,郑广文.黄河流域高技术产业科技创新与生态环境耦合协调研究[J].人民黄河,2022,44(7):1-7.
- [9] 郭爱君,杨春林,钟方雷.我国区域科技创新与生态环境优化耦合协调的时空格局及驱动因素分析[J].科技管理研究,2020,40(24):91-102.
- [10] 田立涛,王少剑.珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展研究[J].生态学报,2022,42(15):6381-6394.
- [11] 张忆君,马骏.基于耦合模型的苏北地区生态环境与经济协调发展研究[J].环境科技,2016,29(3):11-15.
- [12] 何红,王淑新.区域中心城市旅游-经济-生态环境耦合协调关系测度与对比——以丹江口库区及上游地区中心城市为例[J].陕西理工学院学报(自然科学版),2016,32(5):85-92.
- [13] 赵冉,韩旭.高等教育、创新能力与经济增长耦合协调发展及空间演进分析[J].黑龙江高教研究,2019(2):23-29.

Research on the Coordinated Development of Ecological Environment, Economic Development and Scientific and Technological Innovation in Henan Province

TIAN Zhiqiang¹, XUE Chen², XIE Shuangwen², WEN Jian², LEI Lijuan²

(1. Department of Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China;

2. School of Information and Management Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In order to study the coordinated development status and influencing factors among the three systems of ecological environment, economic development and scientific and technological innovation in Henan Province, the comprehensive development level and coordinated development status of these three systems were empirically analyzed in Henan Province from 2004 to 2020 by selecting multi-dimensional index data, entropy method and coupling coordination model. Then the comprehensive development level and coordinated development of the three systems were compared and analyzed between Henan Province and other 30 provinces in China in 2020. It is found that the backwardness of ecological environment protection generally exists in all provinces in China. Compared with other provinces, the comprehensive development level of ecological environment in Henan Province is very backward. From 2004 to 2020, the increase of the coupling coordination degree of the three systems in Henan Province is mainly driven by the coordinated development between economic development and scientific and technological innovation. Finally, relevant suggestions are put forward.

Keywords: ecological environment; economic development; scientific and technological innovation; comprehensive development index; coupling coordination degree; Henan Province