

邱娟,陈钦萍,王波,等.黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调及影响因素[J].中国沙漠,2024,44(4):275-283.

# 黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展 耦合协调及影响因素

邱娟<sup>1</sup>,陈钦萍<sup>2</sup>,王波<sup>3</sup>,刘振滨<sup>4</sup>

(1.福建农业职业技术学院 经济管理学院,福建 福州 350007; 2.福州外语外贸学院 金融学院,福建 福州 350202;  
3.福建农林大学 经济与管理学院,福建 福州 350002; 4.山东工商学院 公共管理学院,山东 烟台 264005)

**摘要:**黄河流域农业生态保护和高质量发展离不开技术创新与绿色发展的协同,基于黄河流域9省(区)2009—2022年的面板数据,运用熵权法、耦合协调度模型以及Tobit模型,深入探讨黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展的耦合协调关系及其时空演变特征,并对影响二者耦合协调的主要因素进行剖析。结果表明:(1)黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调水平整体偏低,提升缓慢,且呈现出明显的下游>中游>上游的阶梯式特征。(2)二者之间耦合关系差异经历了扩大—平稳—增大的过程,缩小地区间差异和地区内差异是解决耦合协调发展不平衡的关键。(3)农村信息化、劳动力集聚、财政支农和种植业水平对整体耦合协调水平有显著正向影响,农业地位和产业结构则对二者协调关系产生显著负向影响。不同流域的影响因素存在明显的异质性。

**关键词:**黄河流域;技术创新;农业绿色高质量发展

**文章编号:** 1000-694X(2024)04-275-09

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00092

**中图分类号:** F323

**文献标志码:** A

## 0 引言

黄河流域是中国重要的农牧业生产基地<sup>[1]</sup>。随着时代的演进和现代化步伐的加快,该地区面临着生态环境脆弱、土壤退化、水资源短缺等问题<sup>[2]</sup>,严重制约着农业绿色高质量发展。技术创新是黄河流域生态保护和高质量发展的根本保证<sup>[3-4]</sup>,如何通过技术创新驱动绿色发展,成为黄河流域培育发展新动力及高质量发展的关键。目前,学者主要围绕黄河流域高质量发展效率评价<sup>[5]</sup>、人地系统耦合<sup>[6]</sup>、水资源效率<sup>[7]</sup>、生态环境评价<sup>[8]</sup>展开研究。研发投入对黄河流域地区高质量发展效率的影响<sup>[9]</sup>,碳排放、科技创新与产业结构化三者的关系<sup>[10]</sup>,黄河流域绿色科技创新竞争力时空分异演变及障碍因素<sup>[11]</sup>,受到一些学者的关注。关于技术创新与农业绿色高质量发展的相关研究较少,多以定性的内涵分析与策略框架为主,定量研究则多关于创新对绿色发展效率影响的提升<sup>[12]</sup>。另外,一些学者开始研

究新一代信息技术在黄河流域生态保护和高质量发展进程中的应用<sup>[13]</sup>、黄河流域生态保护和高质量发展需要设计合理的环境规制、用科技创新支撑区域内高质量发展<sup>[14]</sup>。

此外,关于农业绿色发展评价的研究,不同学者的指标体系及方法构建有所差异。有的立足于农业和整个食物生产—加工—消费系统,围绕社会、经济和生态环境3个维度构建农业绿色发展指标体系<sup>[15]</sup>;有的基于产业体系构建视角,从绿色生产、绿色经营和绿色产业3个维度构建农业绿色低碳发展指标体系<sup>[16]</sup>;有的在界定农业绿色发展内涵的基础上,从低碳生产、经济增收、安全供给3个维度构建评价农业绿色发展水平的指数<sup>[17]</sup>。农业绿色发展评价方法主要采用熵值法、泰尔指数、最小生成树法、层次分析法等研究方法,如运用熵值法对中国农业绿色发展水平<sup>[18]</sup>和中国13个粮食主产区农业绿色发展水平<sup>[19]</sup>进行综合评价,采用最小生成树法(MST)对中国2010—2017年30个省份的农业绿

收稿日期:2024-06-19; 改回日期:2024-07-12

资助项目:山东省软科学一般项目(2023RKY06015)

作者简介:邱娟(1979—),女,辽宁阜新人,硕士,从事农林经济研究。E-mail: 94234038@qq.com

通信作者:王波(E-mail: 83695363@qq.com)

色发展指数进行实证分析<sup>[20]</sup>,采用泰尔指数综合评价天津市<sup>[21]</sup>、长江经济带<sup>[22]</sup>、黄河流域<sup>[23]</sup>等区域的农业绿色发展水平。

综上,在技术创新与农业绿色发展方面已有丰富的研究,为本文开展技术创新与农业绿色高质量发展协调性研究提供了理论基础与逻辑起点。但无论是实证研究,还是理论分析,主要考察技术创新对绿色发展的单向影响,尚未有学者系统全面考察黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展间的协调互动关系,也没有对技术创新与农业绿色高质量发展的协调关系进行科学测算与深入分析。因此,本文利用耦合协调度模型,使用面板数据,测度黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展的耦合协调度。基于测算的耦合协调度数据,进一步采用面板 Tobit 模型分析影响耦合协调度的因素,为创新驱动农业绿色高质量发展的战略提供决策依据。

## 1 研究设计

### 1.1 研究区域

黄河流域是中国重要的生态安全区域,也是粮食生产核心区。黄河发源于青藏高原,依次流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等9省(区),最后注入渤海,流域总面积达到79.5万km<sup>2</sup>(含内流区面积4.2万km<sup>2</sup>)。2022年黄河流域9省(区)农业总产值达到48 165.85亿元,占全国农业总产值的30.86%,农作物播种面积占全国的34.3%。专利申请授权数为791 088,占全国的18.3%。参照李魁明等<sup>[23]</sup>的研究,将青海、四川、甘肃、宁夏以及内蒙古划为黄河上游地区,山西、陕西划为黄河中游地区,河南、山东划为黄河下游地区,深入探析黄河流域技术创新与农业绿色高质量发展之间的耦合协调效应。

### 1.2 评价指标体系构建

借鉴蒋天颖等<sup>[24]</sup>、华坚等<sup>[25]</sup>研究结果,从创新投入、创新产出和创新环境3个层次衡量黄河流域9省(区)的技术创新水平。其中,投入主要考虑经费投入、人力资本及政府支持情况;产出主要以技术市场交易额和国内专利申请授权数衡量;创新环境是支撑技术创新的各种基础要素和条件,以信息、文化及经济视角衡量。反映技术创新的指标通常

针对省域或更广泛区域的整体技术创新,包括研发投入、专利产出、技术市场活跃度等。囿于数据可得性,基于全社会领域选取反映技术创新的指标,虽然不专门针对农业领域,但整体技术创新水平的提升往往也会对农业领域的技术创新产生影响<sup>[26]</sup>。

为促进农业绿色高质量发展,中央及地方颁布了相关政策。基于政策文件及已有研究<sup>[15,18]</sup>,本文从资源利用、环境友好、质量高效3个维度构建农业绿色高质量发展指标体系。资源利用是农业绿色高质量发展的基本载体,从资源支撑和资源节约两个角度进行考虑,采用单位耕地面积农机总动力和人均耕地面积代表农业资源支撑,以节水灌溉面积比例、复耕指数及单位产值农业用水量代表农业资源节约。环境友好是农业绿色高质量发展的应有之义,强调的是绿色与低碳。为此,选取化肥、农药、农膜的使用强度反映农业的低碳生产,采用湿地面积占比、自然保护区占比以及森林覆盖率反映区域生态保育情况。质量高效是农业绿色高质量发展的重要目标,强调安全供给,促进农产品供给由满足“量”的需求向更加注重“质”的需求转变,同时提升农民收入,可用产出效率和产出成果两个维度来衡量,用农林牧渔业总产值/第一产业从业人员、农业总产值/耕地面积和1-(农业产值/农林牧渔业总产值)来衡量产出效率,用农村居民人均可支配收入和绿色食品认证数来衡量产出成果。

### 1.3 研究方法

耦合协调度模型。协调指系统演变过程中各个子系统及其构成要素各种质的差异部分在组成统一整体时表现出的相互配合、促进彼此良性发展的属性<sup>[27]</sup>。如果技术创新与农业绿色高质量发展相互协调,就能充分利用耦合互动作用,实现两者同步快速优质发展。参照现有研究<sup>[28]</sup>,计算技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调度,并根据技术创新与农业绿色高质量发展子系统综合序参量的大小关系分为技术进步( $U_1 > U_2$ )和绿色发展( $U_1 < U_2$ )两种协调特征。

$$C = [(U_1 \times U_2) / ((U_1 + U_2) / 2)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (2)$$

$$D = (C \times T)^{1/2} \quad (3)$$

式中: $U_1$ 和 $U_2$ 分别表示技术创新和农业绿色高质量发展综合序参量,基于表1构建的指标体系,采用熵权

表 1  技术创新与农业绿色高质量发展评价指标体系				
Table 1  Evaluation index system of technological innovation and agricultural green high-quality development				
子系统	准则层	指标层	属性	权重
技术创新	创新投入	R&D 经费支出占 GDP 比重(%)	正向	0.059
		R&D 人员折合全时当量(人年)	正向	0.148
		科技支出费用 /公共财政支出(%)	正向	0.056
	创新产出	技术市场交易额(亿元)	正向	0.280
		国内专利申请授权数(项)	正向	0.204
	创新环境	互联宽带接入端口(万个)	正向	0.131
		公共图书馆总藏量(万册)	正向	0.098
		GDP 增速(%)	正向	0.024
农业绿色 高质量 发展	资源利用	农业机械总动力/耕地面积( $\text{kW}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	正向	0.088
		耕地面积/第一产业从业人员( $\text{hm}^2\cdot\text{人}^{-1}$ )	正向	0.102
		节水灌溉面积/耕地灌溉面积(%)	正向	0.038
		农作物播种面积/耕地面积(%)	负向	0.034
		农业总用水量/农业总产值( $\text{m}^3\cdot\text{万元}^{-1}$ )	负向	0.007
	环境友好	农药使用量/农作物总播种面积( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	负向	0.016
		农膜使用量/农作物总播种面积( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	负向	0.014
		化肥使用量/农作物总播种面积( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	负向	0.027
		湿地面积占辖区面积比重(%)	正向	0.075
		自然保护区面积占辖区面积比重(%)	正向	0.196
	质量高效	森林覆盖率(%)	正向	0.065
		农林牧渔业总产值/第一产业从业人员( $\text{万元}\cdot\text{人}^{-1}$ )	正向	0.050
		农业总产值/耕地面积( $\text{万元}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	正向	0.072
		1-农业产值/农林牧渔业总产值(%)	正向	0.039
		农村居民人均可支配收入(元)	正向	0.045
		绿色食品认证数(个)	正向	0.133

法计算得出的综合指数值,以该值来表征。 $C$ 表示耦合度,取值 0~1,值越大,说明系统之间有序配合,紧密相关。 $D$ 为耦合协调度,用以表现技术创新与农业绿色高质量发展之间耦合协调发展水平的阶段性,由于二者之间同等重要,故 $\alpha$ 与 $\beta$ 值均为 1/2。两者均取值 0~1,参照已有研究,具体的耦合协调等级划分如表 2 所列。

面板 Tobit 模型。技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调度为 0~1,属于受限因变量,普通最小二乘法估计会导致参数估计量有偏且不一致的问题,无法准确反映各因素的影响效应。Tobit 模型可以有效解决受限变量的回归问题,因此构建 Tobit 模型识别耦合协调演化的影响因素。技术创新与农业绿色高质量耦合协调发展受多种因素限制,在协

表 2  耦合协调等级划分	
Table 2  Classification of coupling coordination levels	
耦合协调度值	协调等级
(0,0.1)	极度失调
[0.1,0.2)	严重失调
[0.2,0.3)	中度失调
[0.3,0.4)	轻度失调
[0.4,0.5)	濒临失调
[0.5,0.6)	勉强协调
[0.6,0.7)	初级协调
[0.7,0.8)	中级协调
[0.8,0.9)	良好协调
[0.9,1]	优质协调



调发展过程中既受到政府宏观调控的影响,也受到市场资源调配影响。借鉴已有研究<sup>[29-30]</sup>并结合实际,将耦合协调度作为被解释变量,将农业地位、农村信息化、劳动力集聚、产业结构、财政支农及种植业水平作为解释变量,运用Tobit模型解释各因素对两系统耦合协调发展的影响,具体见表3。

表3 影响因素变量选取与说明  
Table 3 Selection and explanation of influencing factors

变量类型	变量名称	变量符号	变量说明	单位
被解释变量	耦合协调度	<i>D</i>	基于耦合协调度模型获得	—
解释变量	农业地位	<i>agstu</i>	第一产业产值/地区生产总值	%
	农村信息化	<i>infor</i>	农村互联网入户率	%
	劳动力集聚	<i>res</i>	人口密度	人·km <sup>-2</sup>
	产业结构	<i>stru</i>	第三产业产值/地区生产总值	%
	财政支农	<i>gov</i>	农林牧渔支出/一般财政支出	%
	种植业水平	<i>agps</i>	种植业增加值/农林牧渔业增加值	%

基于黄河流域9省(区)的面板数据,建立受限因变量Tobit模型:

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 agstu_{it} + \beta_2 infor_{it} + \beta_3 res_{it} + \beta_4 stru_{it} + \beta_5 gov_{it} + \beta_6 agps_{it} + u_i + \delta_{it} \quad (4)$$

式中: $D_{it}$ 为耦合协调度; $\beta_0$ 为常数; $agstu$ 代表农业地位; $infor$ 代表农村信息化; $res$ 代表劳动力集聚; $stru$ 代表产业结构; $gov$ 代表财政支农; $agps$ 代表种植业水平; $u_i$ 为个体效应; $\delta_{it}$ 为随机误差项。

1.4 数据来源

选取黄河流域9省(区)2009—2022年的面板数据进行研究,技术创新数据来源于《中国科技统计年鉴》,农业绿色高质量发展数据来源《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国绿色食品统计年报》以及黄河流域9省(区)的统计年鉴,个别数据缺失利用线性插值法补充。

2 结果与分析

2.1 技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调时间演变

2009—2022年,技术创新与农业绿色高质量发展水平呈现逐年上升趋势,年均增长率分别为10.66%、3.72%,说明技术创新的发展速度快于农业绿色高质量发展(表4)。现阶段二值的比值小于1,说明技术创新滞后于农业绿色高质量发展,二者的非均衡性发展使得耦合协调水平不能得到进一步的提升,由此可见,提升二者耦合协调水平关键在于推动技术创新。但从发展速度来看,二者的发展

水平将逐步拉近,未来二者的耦合协调水平将进一步提升。

从耦合度看,二者之间的耦合度均大于0.8,说明技术创新与农业绿色高质量发展之间呈现出高耦合关系,也证实了创新是绿色发展的关键支撑,绿色则是创新的重要方向和目标。从耦合协调度看,技术创新与农业绿色高质量发展的耦合协调水平稳健上升,均值由2009年的0.3711上升到2022年的0.5558,经历了轻度失调、濒临失调到勉强协调3个发展阶段,逐步向高级协调转化。由此可见,技术创新系统与农业绿色高质量发展系统均表现出稳定的增长态势,且二者的相互作用与相互提升效果也在持续增强,这与中国大力推行的创新战略与绿色发展政策密不可分,体现了政策引导与市场需求的有机结合,推动可持续发展战略的深入实施。但现阶段依然处于高耦合—低协调状态,需要进一步推动技术创新与农业绿色高质量发展的深度融合。

2.2 技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调空间演变

由图1可以看出,2009—2022年黄河流域上中下游技术创新与农业绿色高质量发展的耦合协调度存在明显的空间差异。上游区域耦合协调度在2009—2022年整体呈明显上升趋势,中游和下游则表现出缓慢上升趋势。但总体来说,技术创新与农业绿色高质量发展呈现出总体水平较低、升级慢的特点。这主要因为黄河流域生态环境脆弱、土地退化、水土流失严重,技术创新需要更加注重生态环境的保护和修复,而这往往需要更多的资金和时间

表4 技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调时间演变

Table 4 Time evolution of coupling coordination between technological innovation and agricultural green high-quality development

年份	技术创新水平	农业绿色高质量发展水平	技术创新水平/农业绿色高质量发展水平	耦合度	耦合协调度	耦合协调类型
2009	0.0905	0.2450	0.3694	0.8464	0.3711	轻度失调
2010	0.1003	0.2456	0.4086	0.8580	0.3798	轻度失调
2011	0.1093	0.2565	0.4260	0.8603	0.3912	轻度失调
2012	0.1222	0.2667	0.4583	0.8689	0.4054	濒临失调
2013	0.1343	0.2832	0.4741	0.8689	0.4198	濒临失调
2014	0.1387	0.2771	0.5006	0.8665	0.4197	濒临失调
2015	0.1554	0.2984	0.5206	0.8672	0.4382	濒临失调
2016	0.1687	0.2960	0.5699	0.8776	0.4454	濒临失调
2017	0.1836	0.3060	0.6000	0.8872	0.4598	濒临失调
2018	0.2109	0.3244	0.6503	0.8858	0.4802	濒临失调
2019	0.2291	0.3467	0.6609	0.8809	0.4961	濒临失调
2020	0.2591	0.3574	0.7250	0.8709	0.5100	勉强协调
2021	0.3160	0.3818	0.8277	0.8856	0.5469	勉强协调
2022	0.3378	0.3938	0.8579	0.8756	0.5558	勉强协调

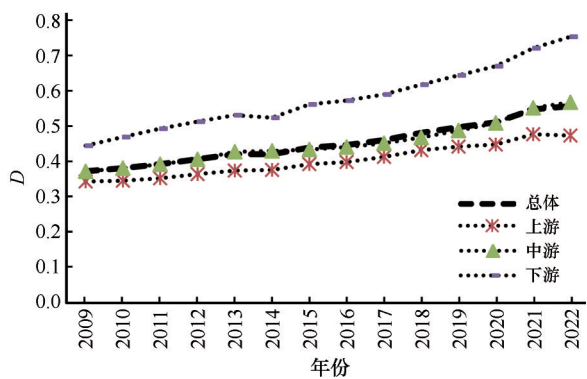


图1 黄河流域三大区域耦合协调度变化

Fig.1 Changes in coupling coordination degree between technological innovation and agricultural green high-quality development of the three areas in the Yellow River Basin

投入,在一定程度上制约技术创新的速度和广度,从而影响了技术创新与农业绿色高质量发展的耦合协调度。

从黄河流域9省(区)空间分布看,耦合协调发展的区域差异性显著,技术创新与农业发展水平相对发达的下游地区的耦合逐步从失调转向协调发展阶段,其耦合协调水平明显高于上游、中游(图2)。其中,下游地区山东省的耦合协调度最高,从2009年的0.507升到2022年的0.821,远超其他省区,由勉强协调升级到中级协调,说明山东省技术创新与农

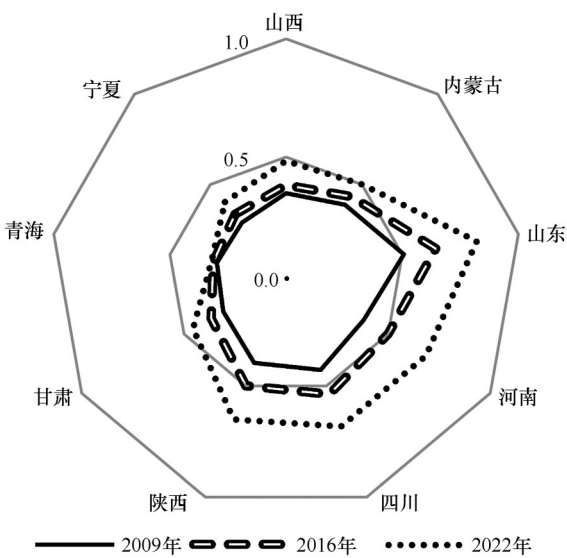


图2 黄河流域9省(区)耦合协调度雷达图

Fig.2 Radar chart of coupling coordination degree between technological innovation and agricultural green high-quality development in nine provinces (autonomous regions) in the Yellow River Basin

业绿色高质量发展能够形成有效配合、协调推进的耦合联动。耦合协调度较低的青海、宁夏、山西和甘肃,均值小于0.5,耦合协调水平升级相对缓慢,主要由轻度失调升级为濒危失调。这些省份的技术创新水平发展相对滞后,难以解决农业水资源短

缺、土地退化等问题,未能有效支撑农业绿色高质量发展,当前耦合处于高耦合—低协调的拮抗发展状态。黄河流域9省(区)技术创新与农业绿色高质量发展任重道远。

2.3 技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调区域差异

利用 Dagum 基尼系数分析技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调的区域差异,该方法的优点在于不但能有效解决地区差距的来源问题,也能克服样本期数据存在交叉重叠现象的不足,以更好地识别地区差距来源问题<sup>[31]</sup>。

黄河流域总体基尼系数为0.098~0.154,说明黄河流域9省(区)的技术创新与农业绿色高质量发展耦合关系差异存在显著的空间差异,总体基尼系数在样本期内的变化情况反映出两者之间耦合关系差异经历了扩大—平稳—增大的过程(表5)。贡献率则反映组间基尼系数、超变密度基尼系数和组内基尼系数占总体的比重。黄河流域9省(区)在地理、气候、经济和文化等方面存在显著的差异,上中下游在组内组间均有一定的差异,比较各年份组内组间贡献率可知,缩小流域间差异和流域内的差异是解决不平衡、促进地区耦合协调发展的关键,尤

其是缩小上中下游之间的差异。在样本期内,上游地区技术创新与农业绿色高质量发展耦合水平基尼系数始终为最大的。中上游差异呈现出近似相同的趋势,2009—2012年有明显的上升,随后2013—2014年相对平稳,波动幅度较小,到2019年之后差异开始显著增大。下游的差异从2009年的0.072下降到2022年的0.045,下降的趋势相对明显,耦合差异逐步缩小。

2.4 技术创新与农业绿色高质量发展耦合协调驱动因素

为了考察影响因素的区域异质性,分别对流域的整体、上游地区以及中下游地区进行面板 Tobit 回归(表6)。第2~7列在第1列基础上逐步添加变量,第7列表示为整体样本回归,第8列表示为对上游样本的回归,第9列表示为对中下游样本的回归。从逐步回归结果看,变量的显著性和方向保持一致,说明模型具备一定的可靠性。

整体样本回归结果见表6第7列,农业地位回归系数为-0.005且在10%的置信水平上显著,说明农业地位对技术创新与农业绿色高质量耦合协调有显著的负向影响。可能的原因是农业在地区经济中占据较高地位时,往往意味着该地区可能

表5 Dagum基尼系数及贡献率  
Table 5 Dagum Gini coefficients and contribution rates

年份	基尼系数(G)				贡献率/%		
	总体	上游	中游	下游	组间	超变密度	组内
2009	0.098	0.085	0.033	0.072	54.004	15.292	30.704
2010	0.108	0.091	0.032	0.074	59.035	11.629	29.336
2011	0.113	0.094	0.031	0.074	61.885	9.560	28.555
2012	0.118	0.101	0.035	0.077	60.456	10.335	29.209
2013	0.119	0.099	0.035	0.077	62.321	9.292	28.387
2014	0.115	0.098	0.044	0.062	61.503	9.698	28.799
2015	0.127	0.111	0.059	0.065	58.156	12.226	29.619
2016	0.128	0.110	0.067	0.063	58.451	12.275	29.275
2017	0.123	0.101	0.059	0.062	59.103	12.664	28.233
2018	0.128	0.109	0.057	0.063	56.751	14.387	28.862
2019	0.138	0.125	0.063	0.060	56.063	14.047	29.891
2020	0.147	0.138	0.065	0.058	57.300	12.614	30.085
2021	0.141	0.125	0.062	0.050	62.087	9.544	28.369
2022	0.154	0.139	0.074	0.045	64.779	7.179	28.042

表 6 耦合协调度驱动因素回归模型估计结果

Table 6 Estimation results of the regression model of driving factors of coupling coordination

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	整体	上游	中下游
农业地位	-0.0315*** [0.0030]	-0.0135*** [0.0028]	-0.0125*** [0.0028]	-0.0081*** [0.0024]	-0.0083*** [0.0024]	-0.005* [0.0025]	-0.0071** [0.0026]	-0.017 [0.0044]
农村信息化		0.199*** [0.0189]	0.193*** [0.0189]	0.126*** [0.0187]	0.118*** [0.0190]	0.128*** [0.0185]	0.0652** [0.0215]	0.288*** [0.0291]
劳动力集聚			0.0005** [0.0002]	0.0004** [0.0001]	0.0005*** [0.0001]	0.0005** [0.0002]	0.0014* [0.0006]	0.0006** [0.0002]
产业结构				-0.507*** [0.0752]	-0.492*** [0.0744]	-0.538*** [0.0729]	-0.671*** [0.0837]	0.274 [0.1347]
财政支农					0.288* [0.1597]	0.343* [0.1538]	0.342* [0.1633]	0.0648 [0.2661]
种植业水平						0.329** [0.1094]	0.103 [0.1239]	0.503*** [0.1526]
_cons	0.720*** [0.0653]	0.517*** [0.0506]	0.399*** [0.0529]	0.625*** [0.0557]	0.578*** [0.0625]	0.371*** [0.0947]	0.587*** [0.1093]	-0.2 [0.1481]
sigma_u	0.179*** [0.0435]	0.127*** [0.0312]	0.0982*** [0.0264]	0.0819*** [0.0214]	0.0849*** [0.0226]	0.0943*** [0.0256]	0.0823** [0.0294]	0.0631* [0.0305]
sigma_c	0.0467*** [0.0031]	0.0339*** [0.0022]	0.0331*** [0.0022]	0.0284*** [0.0019]	0.0279*** [0.0018]	0.0267*** [0.0018]	0.0234*** [0.0021]	0.0201*** [0.0020]
N	126	126	126	126	126	126	70	56

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著，括号内为稳健标准误。

面临资源分配不均问题,大量的资源集中在传统农业生产上,忽视了技术创新和绿色发展的投入,导致技术创新和绿色发展的动力不足,进而阻碍两者之间的耦合协调发展。此外,农业地位较高的地区往往面临着更大的绿色转型压力,如果地区依赖传统农业生产方式,那么绿色转型的难度就会更大。农村信息化回归系数为 0.128 且在 1% 的置信水平上显著,说明农村信息化在促进技术创新与农业绿色高质量耦合协调发展方面发挥了重要作用。信息化技术的应用不仅提升了农业生产效率和管理水平,还促进了农业技术创新的扩散与应用,为农业的可持续发展注入新动力。劳动力集聚正向影响耦合协调水平,回归系数为 0.0005 且在 5% 的置信水平上显著,说明劳动力集聚对提升耦合协调度具有重要作用。劳动力集聚意味着更多的专业技能和经验可以在特定的区域内快速传播和交流,这种集聚不仅促进了先进农业技术的推广和应用,还能够促使农民更好地适

应和采纳新的绿色生产方式,有助于推动农业技术创新与绿色转型。

产业结构对两系统耦合协调水平具有显著的负向影响,回归系数为-0.538,且在 1% 的置信水平上显著,这可能与不同地区产业结构转型升级所处阶段密切相关。2022 年黄河流域三产占比的平均值为 40%,未超过 50%,说明黄河流域 9 省(区)产业结构转型相对缓慢,目前仍然处于三产经济规模快速扩张的阶段,这一阶段三产的比重提升尚未能有效促进技术创新与农业绿色高质量耦合协调发展。财政支农对两系统耦合协调水平具有显著的正向影响,且通过 10% 的置信水平检验,表明财政支农资金的有效投入不仅促进了农业技术创新,还推动农业向绿色高质量发展转型,实现二者的良性互动,体现了政府对农业支持的有效性和资源分配的合理性。种植业作为农业的基础产业,其增加值在农林牧渔业中的占比反映了其在整个农业体系中的重要性和基础地位,种植业水平显著促进技术创



新与农业绿色高质量耦合协调发展,这一结果凸显了种植业在黄河流域农业现代化进程中的关键。

分区域回归分析结果如表6第8~9列所列。农村信息化和劳动力集聚对上游和中下游两系统耦合协调具有显著的正向影响,表明信息化推进和劳动力集聚在驱动技术创新与绿色转型方面具有重要作用。同时,农业地位、产业结构、财政支农、种植业水平对两系统耦合协调发展的影响存在明显的区域异质性。这种异质性主要源于农业经济基础、资源禀赋、政策环境以及市场需求等方面的差异。上游地区由于农业地位突出、产业结构相对单一,财政支农政策效果更为显著。因此,农业地位、产业结构和财政支农则是影响该地区两系统耦合协调发展的关键因素。而中下游地区种植业更为发达,农业基础地位更为突出,对其影响更为显著。

### 3 结论与建议

2009—2022年黄河流域9省(区)技术创新与农业绿色高质量耦合协调度具有上升趋势,但也呈现出总体水平较低、上升速度缓慢、空间不平衡的特点,耦合协调度均值下游>中游>上游。技术创新与农业绿色高质量发展耦合关系差异经历缩小—平稳—扩大的过程,缩小地区差异和地区内差异是解决耦合发展不平衡的关键。从驱动因素看,农业地位、产业结构对黄河流域9省(区)技术创新与农业绿色高质量耦合协调有显著负向影响,农村信息化、劳动力集聚、财政支农、劳动力集聚则对两大系统耦合协调产生正向的显著影响。此外,驱动因素还存在明显的区域异质性,其中农业地位、产业结构和财政支农是影响上游地区两系统耦合协调发展的关键因素,种植业水平则是影响下游地区的关键因素。

为进一步提升黄河流域技术创新与农业绿色高质量耦合协调度,推动技术创新与农业高质量发展协同共进,提出以下几点建议:①针对二者耦合协调水平总体偏低、上升缓慢的情况,应大力推进技术创新,鼓励涉农企业、科研机构及高等院校加强绿色技术研发,政府出台相关政策如提供补贴、减税等优惠措施,以激励相关主体积极参与技术创新与农业绿色发展。②针对流域间耦合协调发展水平的差异,建议制定并实施强化区域协同治理效应的措施,促进各地域间的合作与资源共享,同时发挥领先发展地区的示范作用,推广其成功经验,激励其他地区积极参与。在此基础上,结合流域的资源禀赋、气候条

件、经济发展水平制定差异化发展策略。如,在水资源丰富区,重点发展高效节水农业;在生态脆弱区,则注重生态农业与环境保护。③因地制宜,发挥农村信息化与劳动力对技术创新与绿色发展的引导作用,尤其是加大力度提升区域内劳动力素质和技能,如制定针对性的农业技术培训计划,包括定期组织农民参与农业知识讲座、实地操作演示以及在线课程等,强化他们掌握现代农业技术和管理方法,以此为农业绿色高质量发展奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J].求是,2019(20):4-11.
- [2] 李佳璐,潘景茹,冯峰,等.黄河流域九省(区)人口-水资源-经济-生态环境系统耦合协调发展及障碍因素分析[J].水资源与水工程学报,2024,35(1):47-56.
- [3] Zhang S.Looking to the future: innovation-driven green development[J].Green Energy & Environment,2017,2(1):1-2.
- [4] 任保平,裴昂.黄河流域生态保护和高质量发展的科技创新支撑[J].人民黄河,2022,44(9):11-16.
- [5] 窦睿音,赵银芳,李开宇,等.黄河流域高质量发展效率耦合协调格局分异及其影响因素分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2024,60(1):69-79.
- [6] 程昌秀,沈石,李强坤.黄河流域人地系统研究的大数据支撑与方法探索[J].中国科学基金,2021,35(4):529-536.
- [7] 邓椿,蒋晓辉.黄河流域农业水资源绿色效率动态演化及驱动机理[J].经济问题,2023(9):122-128.
- [8] 张胜武,葛宇梦,李小胜,等.黄河流域新型城镇化与水生态环境耦合协调的时空格局及影响因素[J].中国沙漠,2024,44(3):172-181.
- [9] 邸金,杜英,付英.研发投入对黄河流域地区高质量发展效率的影响研究[J].西北民族大学学报(哲学社会科学版),2024(2):175-188.
- [10] 刘建华,施天乐,黄亮朝.黄河流域碳排放、科技创新与产业结构优化:基于Moran's I与PVAR的实证分析[J].生态经济,2024,40(3):30-38.
- [11] 蒋兵,付华健,张力元.黄河流域绿色科技创新竞争力时空分异演变及障碍因素[J].地球科学与环境学报,2024,46(1):14-24.
- [12] 曾刚,胡森林.技术创新对黄河流域城市绿色发展的影响研究[J].地理科学,2021,41(8):1314-1323.
- [13] 王军.新一代信息技术促进黄河流域生态保护和高质量发展应用研究[J].人民黄河,2021,43(3):6-10.
- [14] 汪晓文,陈明月,陈南旭.环境规制、引致创新与黄河流域经济增长[J].经济问题,2021(5):16-23.
- [15] 张建杰,崔石磊,马林,等.中国农业绿色发展指标体系的构建与例证[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(8):1113-1126.
- [16] 申云,洪程程.数字普惠金融与农业绿色低碳发展:水平测度与机制检验[J].金融理论与实践,2023(1):45-60.



- [17] 巩前文,李学敏.农业绿色发展指数构建与测度:2005–2018年[J].改革,2020(1):133–145.
- [18] 魏琦,张斌,金书秦.中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J].农业经济问题,2018(11):11–20.
- [19] 赵会杰,于法稳.基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J].改革,2019(11):136–146.
- [20] 刘智.中国省域农业绿色发展指数关联性分析[J].统计与决策,2020,36(7):91–95.
- [21] 王丽娟,贾宝红,信丽媛.天津市农业绿色发展的驱动因素研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(11):56–63.
- [22] 何可,李凡略,张俊飏,等.长江经济带农业绿色发展水平及区域差异分析[J].华中农业大学学报,2021,40(3):43–51.
- [23] 李魁明,王晓燕,姚罗兰.黄河流域农业绿色发展水平区域差异及影响因素[J].中国沙漠,2022,42(3):85–94.
- [24] 蒋天颖,谢敏,刘刚.基于引力模型的区域创新产出空间联系研究:以浙江省为例[J].地理科学,2014,34(11):1320–1326.
- [25] 华坚,胡金昕.中国区域科技创新与经济高质量发展耦合关系评价[J].科技进步与对策,2019,36(8):19–27.
- [26] 郭岩峰,张春艳.产业数字化、绿色技术创新与农业产业链韧性[J].技术经济与管理研究,2023(10):117–122.
- [27] 张勇,蒲勇健,陈立泰.城镇化与服务业集聚:基于系统耦合互动的观点[J].中国工业经济,2013(6):57–69.
- [28] 刁心薇,林美茹,孙丞.中国省域环境规制与科技创新耦合协调发展研究[J].地理与地理信息科学,2024,40(2):75–80.
- [29] 吴小妮,管卫华,张惠,等.中国省域经济效率与经济韧性耦合特征及驱动因素[J].地理与地理信息科学,2024,40(2):116–125.
- [30] 黄寰,王若楠,肖义.长江经济带科技创新与生态效率的协同演化及影响因素[J].长江流域资源与环境,2024,33(4):671–686.
- [31] 黎智慧,刘渝琳,尹兴民.基于Dagum方法的能源基尼系数测算与分解[J].统计与决策,2019,35(19):30–33.

## Coupling coordination and influencing factors of technological innovation and agriculture green high-quality development in the Yellow River Basin

Qiu Juan<sup>1</sup>, Chen Qinqing<sup>2</sup>, Wang Bo<sup>3</sup>, Liu Zhenbin<sup>4</sup>

(1.College of Economics and Management, Fujian Vocational College of Agriculture, Fuzhou 350007, China; 2.College of Finance, Fuzhou University of International Studies and Trade, Fuzhou 350202, China; 3.College of Economics and Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 4.College of Public Administration, Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, Shandong, China)

**Abstract:** The depth of the strategy of agriculture ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin cannot be separated from the synergy of technological innovation and green development. Based on the panel data from 2009 to 2022 of nine provinces (autonomous regions) along the Yellow River, the entropy weight method, the coupling coordination degree model and the Tobit model are utilized to discuss the coupling coordination relationship between technological innovation and agriculture high-quality green development in the Yellow River Basin from a multidimensional perspective, as well as its spatiotemporal evolution characteristics. The main factors affecting the coupling coordination between the two were also analyzed. The results show: (1) The overall level of coupling coordination between technological innovation and agriculture high-quality green development in the Yellow River Basin is relatively low, with a slow improvement rate, and it exhibits obvious step-like characteristics in different regions: downstream > midstream > upstream. (2) The difference in coupling relationship between the two systems has experienced a process of "expansion-stabilization-increase", and reducing regional and intra-regional differences is the key to solving the imbalance in coupling coordination development. (3) Rural informatization, labor agglomeration, government support for agriculture, and the level of planting industry have a significant positive impact on the overall coupling coordination level, while agricultural status and industrial structure have a significant negative impact on the coordination relationship between the two systems. There is significant heterogeneity in the influencing factors of different watersheds.

**Key words:** Yellow River Basin; technological innovation; agricultural green high-quality development