

绿色发展对水资源-能源-粮食系统的影响

方隽敏^{1,2},黄德春^{1,3},贺正齐^{1,3}

(1.河海大学商学院,江苏 南京 211100;2.金陵科技学院商学院,江苏 南京 211169;

3.“世界水谷”与水生态文明协同创新中心,江苏 南京 211100)

摘要:水资源-能源-粮食系统协同发展是经济社会可持续发展的重要支撑。我国生态文明建设正处于压力叠加、负重前行的关键期,资源压力大、环境容量有限和污染物排放总量高之间矛盾突出,美丽中国建设任务依然艰巨。绿色发展作为新发展理念的重要组成部分,是生态文明建设的必然要求,是建设美丽中国的必由之路,以绿色发展为抓手把准我国资源环境问题的行动脉络,为水资源-能源-粮食管理实践提供了全新思路。从绿色发展对水资源-能源-粮食系统影响的内在机理出发,结合系统的复杂性和动态性特征构建系统动力学模型,诠释了绿色发展影响下水资源-能源-粮食系统的演变过程,并对不同绿色发展引导和约束政策成效和实施力度进行了仿真模拟。研究发现:绿色发展通过引导和约束主体行为实现经济-社会-环境和水资源-能源-粮食系统相协调,在保证社会经济系统稳定运行的基础上,绿色发展引导和约束政策的调整与实施能够促进水资源-能源-粮食系统降低资源消耗和减少污染排放,政府实施的政策强度不同所取得的效果也不同。在此基础上,结合区域资源禀赋及双碳目标,未来可进一步优化绿色发展约束性政策环境,加大绿色发展政策的实施强度以促进资源高效利用和污染存量降低,充分发挥绿色发展在资源管理中的政策效能。

关键词:生态文明;绿色发展;水资源-能源-粮食系统;影响机理;政策仿真

中图分类号:F062.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2024)01-0132-11

一、引言

随着经济社会发展和物质生活水平的提高,人均资源消耗量大幅增加,环境压力日渐加剧。我国水资源-能源-粮食系统长期处在高消耗、高废弃、高排放的传统发展模式,存在着三者供需不平衡、供给结构不均衡、水资源污染严重、能源消费粗放扩张以及粮食消费浪费严重等问题。与此同时,受到外部环境、气候变化、水灾害频发、能源进口依存度提高、耕地面积不断减少等现实挑战,我国水资源-能源-粮食在发展中的人与自然矛盾、人与能源矛盾、人

与土地矛盾,以及水危机、能源危机、粮食危机等风险日益凸显。对于水资源-能源-粮食协同发展而言,发展模式不转变,任何局部或单一领域的末端治理都无法带来长久的安全与可持续。当前,我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期,迫切需要探索以“减量化、再利用、资源化”为原则、以“低消耗、低排放、高效率”为特征的发展模式。面对新时代推进生态文明建设和美丽中国建设的新形势、新任务、新要求,习近平总书记强调:要加快推动发展方式绿色

引用本文:方隽敏,黄德春,贺正齐.绿色发展对水资源-能源-粮食系统的影响[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2024,26(1):132-142.

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(23YJC630040);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX19_0373);河海大学中央高校基本科研业务费专项经费资助项目(2019B68514)

作者简介:方隽敏(1994—),女,博士研究生,主要从事资源与环境经济研究。E-mail:fangjunmin_hhu@163.com

低碳转型,坚持把绿色低碳发展作为解决生态环境问题的治本之策^[1]。科学的发展理念可以有效协调水资源、能源、粮食三者的关系,绿色发展不仅为我国水资源-能源-粮食发展模式转型提供了重要思路,也为其可持续发展提供了方向指引和根本遵循。

基于绿色发展的核心内容可以看出,绿色发展强调人类发展过程中的环境管理,将环境保护作为人与自然和谐相处的重要手段^[2]。水资源、能源、粮食是一个国家或地区最重要的基础性自然资源和战略性经济资源^[3]。绿色发展相对于创新发展、协调发展、开放发展和共享发展处于“目的”角色的位置,绿色发展的目标必须融入经济社会发展的这些具体形式^[4]。水资源-能源-粮食协同发展与绿色发展理念一脉相承,水资源-能源-粮食可以通过科学地利用有限资源实现经济效益最大化和资源的系统配置,最终实现人与自然的和谐发展^[5-6]。当前,我国水资源承载力持续恶化,战略性能源进口依赖性强且能源污染严重,绿色优质粮油市场需求不断提高,不同资源问题相互交织,错综复杂^[7],既有研究发现水资源、能源、粮食三种资源无法单独发展保证人类生态系统的完整性,只有通过协调三者的关系,促进系统协同,才能达到社会的可持续发展^[8-9]。关于水资源、能源、粮食关联关系的研究,学者们从不同视角对关联关系的概念框架展开研究,并进行量化评估^[10-11],但并未有效运用科学的发展理念构建框架来明晰资源系统内部关联关系和管理决策之间的联系。当前,二元资源流理念难以真实地反映多种资源间的互动关系,多头分散式的资源管理与发展模式也无法适应水资源-能源-粮食协同发展的现实情况,现有研究不足以支撑多资源问题治理的需求^[12-13]。同时,水资源-能源-粮食关系已经成为绿色发展领域的重要研究对象,绿色发展理念贯穿于不同利益相关者意识与行动,不仅强调水资源-能源-粮食资源系统内部关联关系,也关注到系统的管理决策方案之中^[14-15]。综合来看,绿色发展统筹考虑自然资源和社会资源的优化配置,综合管理水资源、能源、土地等自然资源,在将保护资源环境作为发展的内在要素的同时将其融入经

济、政治、文化、社会建设的全过程,进一步促进了资源系统和社会、经济、环境系统协同发展,旨在达到社会的可持续发展^[16-17]。因此,贯彻绿色发展理念的水资源-能源-粮食系统是一种全新的发展状态。

因此,本研究从水资源-能源-粮食系统的整体性、系统性和内在规律出发,考察绿色发展对水资源-能源-粮食系统影响的内在机理和作用效应,构建以绿色发展理念为指导的水资源-能源-粮食系统框架。结合系统的复杂性和动态性特征构建绿色发展下水资源-能源-粮食系统动力学模型,并针对不同子系统设计绿色发展引导和约束的政策调控因子,动态仿真不同类型政策工具的实施效果并提出相关建议。上述研究有助于正确认识纽带关系视角下水资源-能源-粮食协同发展和绿色发展的关系,以我国水资源-能源-粮食系统发展矛盾和现实问题为突破口,找准美丽中国建设的着力点,探索一条兼顾经济发展与生态保护的绿色发展之路。相关研究成果可以为绿色发展政策的完善提供一定借鉴,也为相关部门推进水资源-能源-粮食协同治理提供理论支持。

二、绿色发展对水资源-能源-粮食系统的影响机理分析

1. 绿色发展对水资源-能源-粮食系统影响的内在机理考察

在水资源-能源-粮食系统中,作为关键供给要素,3种自然资源共同参与到社会经济发展,社会发展规模的迅速扩张直接改变水资源、能源、粮食的消耗状况以及环境质量,甚至已逐渐超过其资源承载力。从本质上看,绿色发展不仅关注人与自然的的关系,更重视人与社会的关系,强调的是作为主体的人、作为载体的社会和作为生态环境的自然之间的和谐共存与持续发展^[18-19]。绿色不是孤立存在的,与水资源-能源-粮食资源系统及其他子系统要素之间存在相互依存的关系。绿色发展对水资源-能源-粮食系统的影响旨在通过制度政策来引导和约束主体效用最大化利益的个人行为,遵循人、资源、社会协同发展的客观规律,在保证社会稳步发展前提下,使生态环境与自然资源的消耗量不超过环境子系统的承载力,实现水资源高效利用、能源现代化体系转型、粮食安全的三大目

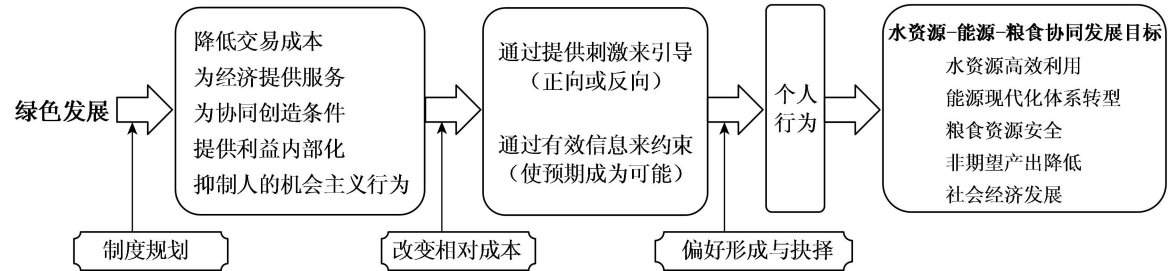


图1 绿色发展影响水资源-能源-粮食系统的内在逻辑

标,继而实现经济-社会-环境和水资源-能源-粮食系统相协调(图1)。绿色发展通过采取制度和法治的手段优化人与水资源-能源-粮食系统之间的关系,通过建设有序的水资源-能源-粮食系统协同发展运行机制来实现人类社会正常生产生活需求与水资源-能源-粮食系统协同发展需求之间的动态平衡,旨在取得生态环境和自然资源物质与精神成果的总和。

2. 研究框架设计

绿色发展下水资源-能源-粮食系统作为一个复杂开放系统,是一个多输入、多输出具有可持续特点的系统模型。在借鉴已有成果的基础上^[20-21],结合我国绿色发展特征,确定了社会经济、生态环境、水资源-能源-粮食自然资源子系统和政策子系统边界。在推进绿色发展下水资源-能源-粮食系统协同发展的过程中,既要考虑对资源的合理利用,又要考虑对生态环境产生的影响,还要考虑对社会经济带来的效应。其中,政策子系统作为国家宏观战略部署的绿色发展政策,贯穿整个水资源-能源-粮食系统,通过绿色发展政策子系统“内生性”,可将不同

的政策参数作为系统的输入值,研究不同绿色发展政策对水资源-能源-粮食系统的影响,最终形成以绿色发展政策子系统驱动的水资源-能源-粮食系统的外部系统和内部系统相互影响的研究框架(图2)。

3. 绿色发展政策工具及调控因子

水资源-能源-粮食系统协同发展是人类主观意识创造力和自然约束力共同作用的结果。绿色发展政策是政府为实现绿色发展目标采取的调控手段,双碳背景下的绿色发展主要聚焦在低碳和节能两大块,主要涵盖规制管控、市场建设、公众参与3种类型^[22]。绿色发展对水资源、能源、粮食相关管理部门、产业和消费者都具有较大的引导和约束效应,相关政策的实施能直接或间接地影响水资源-能源-粮食系统协同发展趋势。在设计绿色发展政策及调控因子时,在参考国家发改委、国家统计局等印发的《绿色发展指标体系》(发改环资[2016]2635号)及相关文献基础上^[23-25],重点关注不同绿色发展政策对子系统的影响,同时强化水资源、能源、粮食资源以及环境子系统对社会经济子系统的反馈

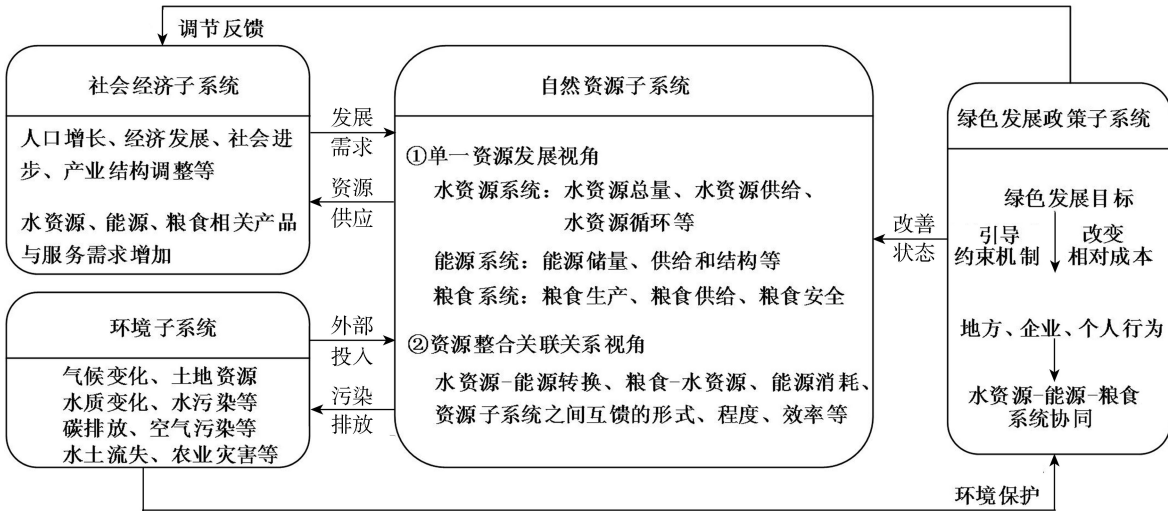


图2 绿色发展下水资源-能源-粮食系统的框架

作用,选取与经济增长相关的水资源、能源、粮食资源约束因子(表1)。基于绿色发展下水资源-能源-粮食系统的框架,在各子系统上分别赋予产业、环保、碳税、碳交易机制等调控因子,为下一步构建绿色发展下水资源-能源-粮食系统模型、动态仿真不同绿色发展政策及强度对水资源-能源-粮食系统的影响奠定基础。

表1 绿色发展政策工具及调控因子

子系统	政策工具	调控因子
经济子系统	产业政策	三产占比
	财政政策	环保投资比重
社会子系统	人口政策	生育政策因子
	科技政策	技术进步因子
环境子系统	税收政策	污染税调控因子
	碳税政策	碳税税率浮动
	碳交易机制政策	碳交易价格
水资源子系统	环保政策	排污权交易政策因子
能源子系统	税收政策	能税税率浮动
	金融政策	绿色信贷利率浮动
粮食子系统	财政政策	绿色农业补贴比重

三、绿色发展下水资源-能源-粮食系统建模与有效性检验

1. 区域选择与数据来源

选取江苏省作为模型研究对象,主要原因在于江苏省作为全国唯一的生态环境保护制度综合改革试点省、部省共建生态环境治理体系和治理能力现代化建设试点省^[26],一直以来都把“环境美”作为“强富美高”新江苏建设的重要内涵。随着2023年《长三角生态绿色一体化发展示范区国土空间总体规划(2021—2023

年)》的批复,江苏省在长三角地区乃至在全国都具有极为重要的战略发展地位,但生态环境质量仍是高质量发展短板,结构性矛盾突出、环境容量超载、生态成本透支的状况还没有得到根本性扭转^[26]。因此,在国家绿色发展战略层面研究江苏省水资源-能源-粮食系统的发展问题,具有极为重要的现实需求。

模型运行范围为2010—2032年,选取2010—2022年作为模型运行结果与真实情况的检验年限,选取2023—2032年预测绿色发展下水资源-能源-粮食系统协同发展趋势。数据主要来源于《中国水资源公报》《中国统计年鉴》《江苏省统计年鉴》《江苏省环境状况公报》等。

2. 系统建模与核心方程

在系统动力学建模过程中,构建有效的因果关系图和存量流量图是开展系统仿真研究的前提。在李桂君等基于理论层面提出可持续发展下W-E-F Nexus因果关系网络结构和核心指标体系^[27-28]的基础上,为充分体现绿色发展影响下水资源-能源-粮食系统的动态性和各子系统的相互作用、提高对现实决策的指导功能,在明确绿色发展下的水资源-能源-粮食协同发展目标就是要求在资源低消耗及低非期望产出(污染物排放)约束下实现水资源-能源-粮食资源高效利用的前提下,从整个系统剥离出关键的具有重大影响的因素,并最终构建如图3所示的绿色发展下水资源-能源-粮食系统流量图。

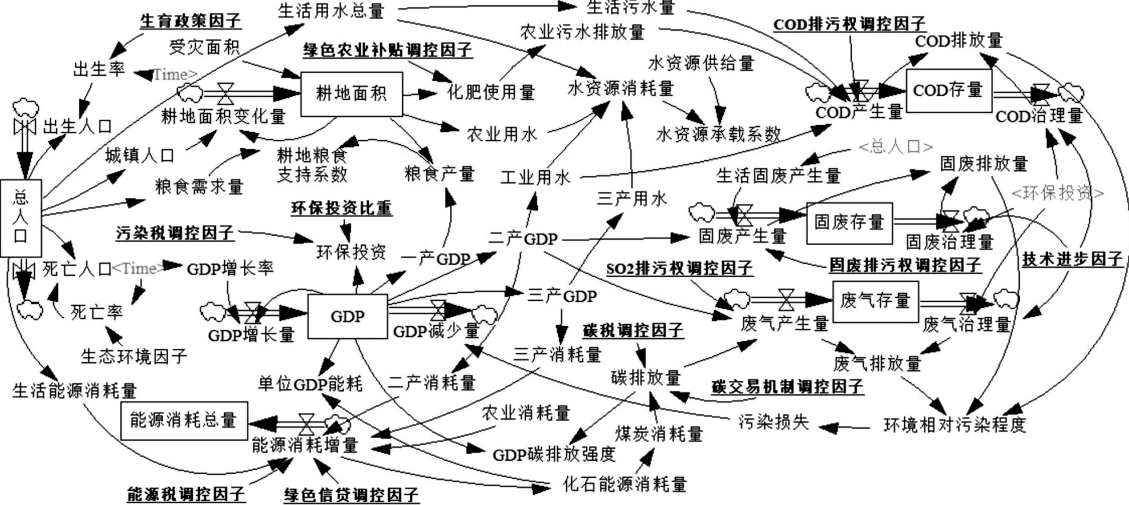


图3 绿色发展下水资源-能源-粮食系统流量

3. 参数设定与有效性检验

考虑到主要变量数据变化的稳定性及变量间依存的特征,参考支彦玲等^[29-31]的参数赋值范围及设定规律方法,结合江苏省发展实践,选取模型中相关参数的赋值范围和初始赋值。如,生育政策因子是在全面放开两孩政策、鼓励三孩生育政策后,通过江苏省人口预计增长推算获得。为能够更准确仿真模拟,利用表函数解决非线性关系中的优势来解释变化较大的常量,如出生率、死亡率、能源消费弹性系数、技术进步对污染治理影响因子等。绿色发展下水资源-能源-粮食系统动力学模型建立起来后采用历史性检验方法对模型的有效性进行检验,选取8个变量检验模拟值与实际值的偏差,检验公式如下:

$$\delta = \left(\frac{|\hat{x}| - x}{x} \right) \times 100\%$$
 (1)

式中: δ 为模型误差; $\hat{x}$ 为模拟值; x 为实际值。

表2反映了各个子系统中主要变量的模拟值与实际值之间的误差。其中,总人口平均误差为2.6755%,由此可以看出在考虑了出生率、死亡率变化情况以及生育政策的影响因子后,模型模拟结果准确性较高;近几年虽然受到外部环境影响较大,但从能源、水资源的消耗量以及污染排放的平均误差绝对值不超过5%来看,拟合情况较好,模型能够较为准确地描述绿色发展下水资源-能源-粮食系统发展状况并解决研究问题,可进行下一阶段的仿真模拟。

四、绿色低碳发展政策仿真结果分析

为进一步考察绿色发展政策实施及其力度

大小对水资源、能源、粮食消耗和污染物排放的影响作用,分别从绿色发展对水资源-能源-粮食系统的引导和约束效用出发,将财政、经济、税收、环保和科技等5个维度的绿色发展政策分为绿色发展引导约束两大类。在绿色发展引导层面,通过定量调整财政政策和经济政策调控因子,在保持其他相关变量不变前提下,每项政策分别设计两种方案:方案1表示绿色发展政策的实施效果,用曲线1表示;方案2表示不同政策力度实施效果,用曲线2表示。同理,在绿色发展约束层面选择税收政策和环保政策来考察政策实施效果。

1. 绿色发展政策的引导力度研究

(1)财政政策对水资源-能源-粮食系统的影响

此处设定环保投资比重和绿色农业补贴比重作为财政政策的调控因子,设计表3所示的财政政策调控方案。通过改变影响因子大小来考察不同政策力度的成效,结合系统结构选取能源消耗量、碳排放量、COD排放量以及环境相对污染程度作为输出变量,来分析不同政策条件下输出变量的变化趋势。绿色发展引导下,财政政策对水资源-能源-粮食系统影响的仿真结果如图4所示。由图可知:一方面,通过增加环保投资投入,能源消耗量均有所减少且增长速度降低,低碳节能的空间也逐渐拉大,绿色发展成效更加明显。另一方面,随着财政政策力度的提高,废水、固废、废气治理量增加,COD排放量和碳排放量将会降低,且与现行政策相比,可以发现2023—2032年,水污染排放

表2 绿色发展下水-能源-粮食系统模型历史检验结果

年份	人口总量	GDP	水资源消耗量	能源消耗量	粮食消耗量	碳排放量	COD 排放量	固废排放量
2010	-0.0043	-0.0021	1.2981	8.1490	-0.0091	4.7092	0.1193	-1.3631
2011	-0.1499	-0.1687	3.0262	6.6792	0.9675	6.0387	0.8089	-0.8254
2012	0.2735	-0.3954	5.5474	4.3579	2.0230	5.7680	1.5455	-2.1602
2013	0.7957	-0.5950	1.9272	2.2859	1.1709	5.4081	2.3066	-1.2871
2014	1.0769	-0.7734	0.0078	3.5360	-0.0903	8.9936	3.1491	-2.3997
2015	1.9881	-0.9372	3.6049	1.8689	-2.2681	5.0709	3.6753	-3.0427
2016	2.1641	-1.0864	1.0830	1.7792	-1.2212	3.7942	8.3035	-3.6393
2017	3.1710	-1.1976	-0.9374	-0.0291	-3.2552	3.5126	9.3917	-4.6853
2018	4.3632	-1.2943	-1.1889	0.2108	-6.4052	5.7238	13.135	-1.5900
2019	5.2509	-0.4137	-5.3497	-0.8629	-8.0082	8.6547	15.964	-1.8358
2020	6.5331	2.0624	8.8661	2.5251	2.8627	3.5673	-16.731	9.4381
2021	5.4884	-4.6275	9.7889	-4.0809	1.1567	-8.2432	-7.4027	1.2689
2022	3.8310	-3.1313	1.9013	-9.7218	4.5204	-6.8040	-2.5891	0.2975
平均误差	2.6755	-0.9662	2.2750	1.2844	-0.6582	3.5534	2.4367	-0.9096

量和环境相对污染浓度降低速度加快,生态环境将得到较大改善,政策力度的调整对环境污染的影响比较灵敏,财政政策对水资源-能源-粮食系统引导效果显著。

表 3 财政政策调控方案

政策变化	环保投资比重	绿色农业补贴比重
现行政策	0.010	1.0
方案 1	0.030	1.6
方案 2	0.035	1.8

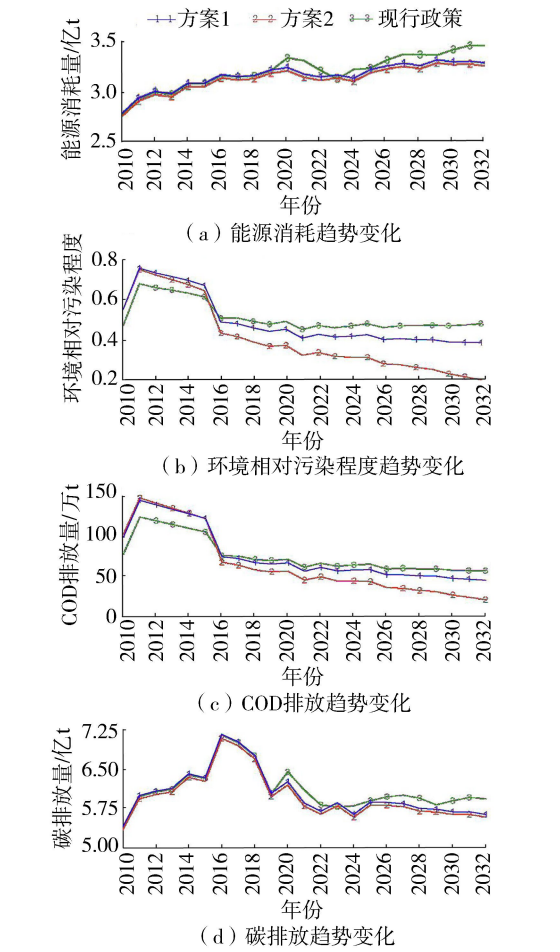


图 4 绿色发展引导下财政政策对水资源-能源-粮食系统的影响

(2)经济政策对水资源-能源-粮食系统的影响

结合金融支持政策和产业政策综合考察经济政策成效。选取绿色信贷利率为金融政策的调控因子,通过提高利率水平倒逼企业减少污染排放和降低资源消耗,以争取未来更低的贷款利率。设定三次产业占比为产业政策调控因子,通过改变三次产占比的参数值以及绿色信贷利率浮动,观察经济政策调整对绿色发展下水资源-能源-粮食系统的影响,设计产业政策及绿色信

贷调控方案见表 4,而绿色发展引导下经济政策对水资源-能源-粮食系统影响的仿真结果见图 5。由此可知,适当降低第二产业比重、增加绿色信贷利率,均能够促使能源消费量明显降低,其中,产业结构的调整会使水资源、能源消耗量下降幅度随时间推移而逐渐增大,产业政策作用效果强于绿色信贷政策作用效果。同时,在两种经济政策引导下,碳排放量也有所下降,节能降耗效果更为明显。综合来看,产业政策相较绿色信贷政策更能促进系统绿色发展。

表 4 产业政策及绿色信贷调控方案

政策变化	三次产业占比	绿色信贷利率浮动/%
现行政策	0.05:0.50:0.45	0
方案 1	0.05:0.45:0.50	0
方案 2	0.05:0.50:0.45	5

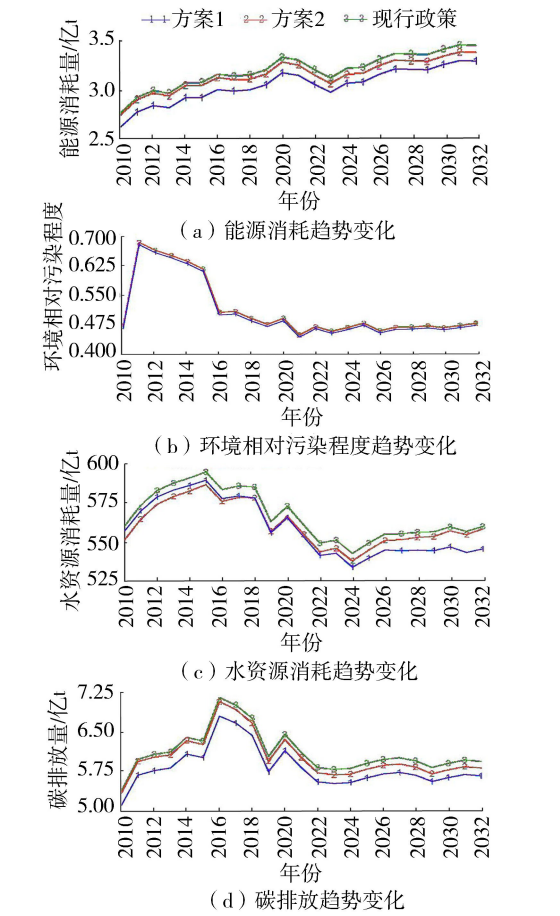


图 5 绿色发展引导下经济政策对水资源-能源-粮食系统的影响

2. 绿色发展政策的约束力度研究

(1)税收政策对水资源-能源-粮食系统的影响

设计两种税收政策方案,设定污染税税率、

能源税率和碳税税率作为税收政策调控因子,同时设定现行政策情景下三者初始值为0,影响因子为1,税收政策调控方案见表5。结合系统结构选取能源消耗量、环境相对污染程度、废气治理投资、GDP碳排放强度作为输出变量,来分析不同税收政策条件下输出变量的变化趋势。绿色发展约束下,税收政策对水资源-能源-粮食系统影响的仿真结果如图6所示,可知规制性税收政策对工业约束能力更强,随着污染税税率、能源税率、碳税税率的增加,企业生产成本不断提高,且迫于经济压力会大幅提高节能减排的力度。随着税收政策力度加大到后期,节能减排空间更大,环境相对污染程度变化率也呈现降低的趋势。此外,在不同的税收政策力度下,税收政策强度更大的方案2的绿色发展

表5 税收政策调控方案

政策变化	污染税税率 浮动/%	能源税税率 浮动/%	碳税税率 浮动/%
现行政策	0	0	0
方案1	3	3	3
方案2	5	5	5

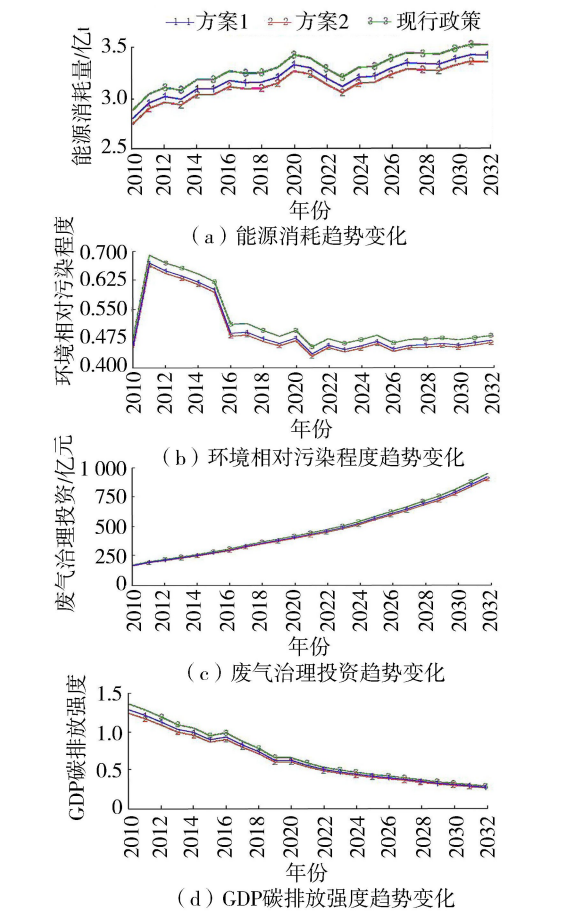


图6 绿色发展约束下税收政策对水资源-能源-粮食系统的影响

效果要优于方案1,这很大程度上与税收政策的约束性质有关,即通过绿色发展约束对农业生产、工业企业积极节能减排起到一定效果。

(2) 环保政策对水资源-能源-粮食系统的影响

在环保政策中主要考虑的是排污权交易政策,包括COD排污权、SO₂排污权、碳、固废排污权交易价格浮动因子,设定现行政策情景下四者浮动为0,影响因子为1。环保政策方案如表6所示,其考察的是绿色发展约束下环保政策实施与力度调整,输出变量COD排放量、固废排放量、GDP碳排放强度以及环境相对污染程度的变化趋势。绿色发展约束下环保政策对水资源-能源-粮食系统影响的仿真结果如图7

表6 环保政策调控方案

政策变化	COD 排污权 交易价格 浮动/%	SO ₂ 排污权 交易价格 浮动/%	碳交易 价格浮 动/%	固废排 污权交 易价格 浮动/%
现行政策	0	0	0	0
方案1	10	10	10	10
方案2	20	20	20	20

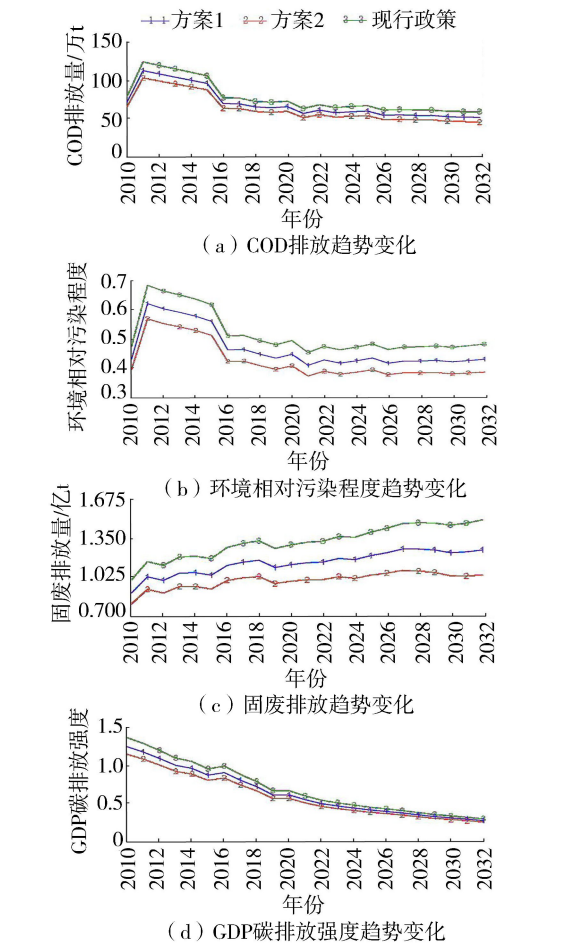


图7 绿色发展约束下环保政策对水资源-能源-粮食系统的影响

所示。由图可知适当调整主要污染物排污权价格,明显发现方案1中COD、固废、二氧化碳排放量均低于现行政策排放水平。当加大环保政策力度到方案2的20%水平,污染排放明显低于方案1处于最低的位置。值得一提的是,在采取碳交易价格政策后,GDP碳排放强度增速明显下降,并在2028—2032年排放量水平呈现平缓的趋势,通过和碳税政策实施效果对比发现,碳交易机制的碳约束作用会逐步优于碳税机制。这是因为排污权交易政策是直接作用于污染物产生的前端,受到市场机制作用,企业生产活动对价格波动十分敏感,反应也更加迅速。因此,随着排污交易价格的提高,企业会主动减少污染排放来获得更大的排污权收益,挤压出更大的排污权空间,推动了系统的绿色发展。我国的排污权交易政策仍处于起步阶段,有关部门应根据实际的污染排放效果以及资源消耗现状,结合市场形势来选择更为合理的初始价格。

3. 绿色发展政策组合效应分析

分析不同绿色发展引导与约束下各项政策的仿真结果可知,不同政策对水资源-能源-粮食系统影响程度各异。为进一步开展对比分析,分别选取绿色发展引导下财政政策和经济政策、绿色发展约束下税收政策和环保政策作为绿色发展政策输入变量,采取前文调控方案中方案1的参数值;并增加技术政策作为绿色发展政策输入变量,技术进步调控因子浮动值设为1.2。与此同时,水资源-能源-粮食系统绿色发展水平的提升受到各项调控方案协同实施,因此在分析绿色发展政策组合效应时,还需考虑不同政策的叠加效果。绿色发展政策组合效应对水资源-能源-粮食系统影响的仿真结果如图8所示。以上均选取水资源承载系数、环境相对污染度、单位GDP能耗和GDP碳排放强度作为水资源-能源-粮食系统的输出指标。

仿真结果表明,绿色发展政策的实施效果整体上优于初始水平,尤其是在政策叠加方案下,多项措施对提升区域水资源-能源-粮食系统绿色发展质量效果最突出。单一政策方案实施结果表明,规制政策的实施效果优于引导政策。对比不同引导性政策的实施效果可以发现:财政政策在污染治理方面效果突出;科技政

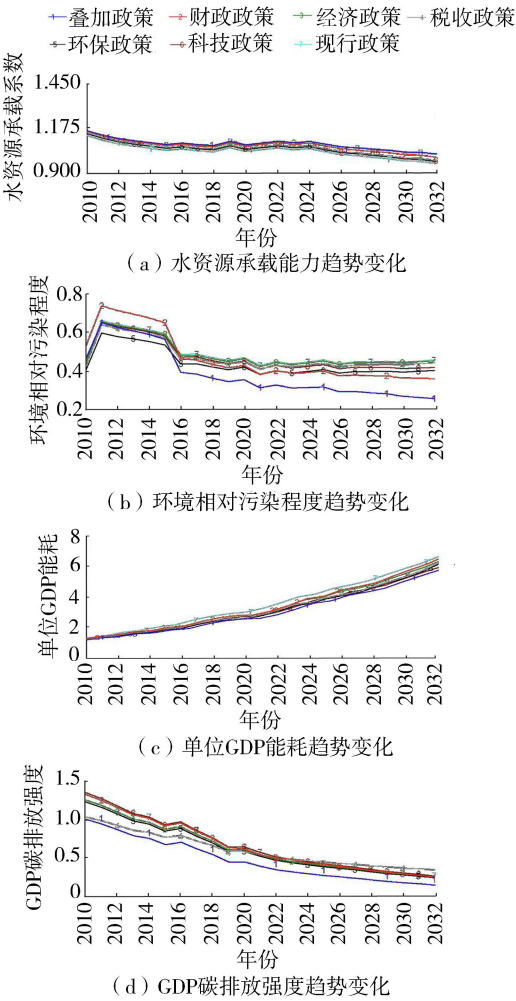


图8 绿色发展政策组合效应对水资源-能源-粮食系统的影响

策在节水、节能方面效果突出,其成效主要靠政府、企业、高校等机构加大研发力度来实现,加上研发周期长等客观原因,其在短期内很难显现出明显效果,因此实施过程中还需考虑科技政策的时间成本,但从长期来看,科技促进水资源-能源-粮食系统绿色发展是趋势。

五、研究结论及政策建议

党的二十大报告指出:“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化”^[32],由此明确了我国新时代生态文明建设的战略任务,总基调是推动绿色发展,促进人与自然和谐共生。从绿色发展对水资源-能源-粮食系统影响的内在机理来看,绿色发展不仅是发展理念,更是发展方向和举措,其一面对水资源-能源-粮食系统发挥规划的引导和规范作用,另一方面也表现出强化绿色发展的刚性约束,即利用制度规

划等有效调控手段作用经济、社会、环境外部子系统,推动外部性的内部化,通过水资源-能源-粮食系统内部要素之间以及系统与外部系统之间互动耦合的关联作用,来实现对水资源-能源-粮食系统演化的影响。所以,构建有效的激励性或强制性政策支持体制机制和政策环境,是绿色发展在资源管理中发挥引导力和约束力的关键。

实证研究表明:第一,不同的绿色发展政策对水资源-能源-粮食系统中水资源消耗、能源消耗以及主要污染物排放影响均不相同。有效的政策手段能够促进水资源-能源-粮食系统绿色发展,仿真结果表明,绿色发展约束性政策效果整体优于引导性政策。第二,绿色发展政策实施力度的调整直接或间接地作用于水资源、能源、粮食子系统和环境子系统。仿真结果表明,适当提高政策强度可以产生更优的效果,但相关部门在调整政策力度的同时应充分考虑区域资源禀赋及双碳目标情况,适度调整绿色发展政策强度,切忌盲目跟风导致水资源-能源-粮食系统功能紊乱造成不可逆的后果。第三,通过对比6种绿色发展政策下的水资源-能源-粮食系统发展趋势可以发现,环保政策和税收政策的实施可以有效降低主要污染物排放总量,提升生态环境质量,从污染物前端治理效果来看,环保政策中排污权交易价格因子对系统降耗减排促进作用更加明显。此外,对系统降低资源消耗效果最为明显的政策依次为科技、税收、经济,其中税收政策和经济政策的实施效果优于现行政策,但效果相对较弱,可能是因为当前绿色信贷政策覆盖面较窄,财政补助力度不到位所致;科技政策的延迟效应主要因为技术进步对资源利用效率和污染治理效率的提升需要足够的研发资金投入及时间的积累才能看到成效。

当前,我国正处于美丽中国建设的重要时期,也是生态文明建设进入以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型的关键时期。管理部门需从绿色发展引导和约束两个层面出发,调整相关财政、税收、经济、环保和科技政策方向和力度:一是在绿色发展引导层面,在适当加大政府环保

投入及绿色研发投入、拓宽绿色财政补贴政策范围的同时,加快发展清洁产业,通过引导产业结构调整推进产业结构优化升级。与此同时,加大绿色信贷投放力度,落实绿色信贷问责制度,强化绿色信贷政策引导功能。

二是在绿色发展约束层面,可适度调整能源税税率以及征收范围,充分发挥税收政策对地方经济的调节作用,加快构建科学规范、高效流转的排污权交易市场,严格执行碳交易市场制度,完善有偿使用价格体系。在此基础上,统筹各领域资源,进一步探索绿色发展下的财政、经济、税收、环保、科技政策“组合拳”,通过优化绿色发展政策组合来促进资源高效利用和污染存量降低、增量控制,进一步提升水资源-能源-粮食系统绿色发展水平,实现水资源、能源、粮食系统与经济、社会、环境系统协同发展,助力美丽中国建设。

参考文献:

- [1] 习近平. 以美丽中国建设全面推进人与自然和谐共生的现代化[J]. 求是,2024(1):1-2.
- [2] 谢慧. 新时代中国绿色发展的哲学基础、核心要义与实践路径[J]. 理论探讨,2023(6):96-102.
- [3] 黄德春,吴小庆,李进秋. 中国省际水资源-能源-粮食安全测度及其时空演变[J]. 水利经济,2022,40(3):48-53.
- [4] 张定鑫,张卓文. 中国绿色发展问题的哲学思考[J]. 江西社会科学,2022,42(4):187-195.
- [5] OLAWUYI D. Sustainable development and the water-energy-food nexus: legal challenges and emerging solutions [J]. Environmental Science & Policy, 2020(103):1-9.
- [6] 林志慧,刘宪锋,陈瑛,等. 水-粮食-能源纽带关系研究进展与展望[J]. 地理学报,2021,76(7):1591-1604.
- [7] 张长征,芮晦敏. 黄河流域水资源-能源-粮食系统投入产出效率及影响因素[J]. 水利经济,2022,40(6):1-7.
- [8] ZHU Y, ZHANG C, FANG J, et al. Paths and strategies for a resilient megacity based on the water-energy-food nexus [J]. Sustainable Cities and Society, 2022,82(7):103892.
- [9] 郑德凤,王明,安志英. 水-能源-粮食纽带系统研究脉络梳理与分析[J]. 水利经济,2022,40(6):

- 8-15.
- [10] 李雨琴,张鹏鹏,张力小,等. 中国水-能-粮资源适配格局动态演化及其驱动因素[J]. 生态学报, 2023,43(21):8985-8997.
- [11] 孙才志,魏亚琼,赵良仕. 干旱区水-能源-粮食纽带系统协同演化——以中国西北地区为例[J]. 自然资源学报,2022,37(2):320-333.
- [12] HOFF H. Understanding the nexus [A]. Stockholm: The Water Energy and Food Security Nexus,2011.
- [13] Al-SAIDI M, ELAGIB N A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus[J]. Science of the Total Environment, 2017,574(1):1131-1139.
- [14] 王慧敏,洪俊,刘钢. “水-能源-粮食”纽带关系下区域绿色发展政策仿真研究[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(6):74-84.
- [15] 李良,毕军,周元春,等. 基于粮食-能源-水关联关系的风险管控研究进展[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(7):85-92.
- [16] 谢泗薪. 长江经济带绿色发展视角下韧性物流引领战略创新研究[J]. 南通大学学报(社会科学版),2023,39(1):11-22.
- [17] 李桂君,黄道涵,李玉龙. 水-能源-粮食关联关系:区域可持续发展研究的新视角[J]. 中央财经大学学报,2016(12):76-90.
- [18] 胡鞍钢,周绍杰. 绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20.
- [19] 钟贞山,吴东纳. 习近平生态文明思想引领美丽中国建设的原创性贡献[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2023,25(6):1-8.
- [20] 米红,周伟. 未来30年我国粮食、淡水、能源需求的系统仿真[J]. 人口与经济,2010(1):1-7.
- [21] 孙才志,周舟,赵良仕. 基于SD模型的中国西南水-能源-粮食纽带系统仿真模拟[J]. 经济地理, 2021,41(6):20-29.
- [22] 于法稳,林珊. “双碳”目标下企业绿色转型发展的促进策略[J]. 改革,2022(2):144-155.
- [23] 国家发改委,国家统计局,环境保护部,中央组织部. 关于印发《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》的通知(2016年第2635号公告)[EB/OL]. [2016-12-12]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/stwmjs/201612/t20161222_1161174.html.
- [24] 黄德春,沈雪梅,竺运. 长江经济带制造业碳排放效率的时空演变及影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境,2023,32(6):1113-1126.
- [25] 赵良仕,刘思佳,孙才志. 黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究[J]. 水资源保护, 2021,37(1):69-78.
- [26] 江苏省人民政府办公厅. 省政府办公厅关于印发江苏省“十四五”生态环境保护规划的通知(2021年第84号公告)[EB/OL]. [2022-01-21]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2022/1/21/art_64797_10324281.html.
- [27] 李桂君,黄道涵,李玉龙. 中国不同地区水-能源-粮食投入产出效率评价研究[J]. 经济社会体制比较,2017(3):138-148.
- [28] 李桂君,李玉龙,贾晓菁,等. 北京市水-能源-粮食可持续发展系统动力学模型构建与仿真[J]. 管理评论,2016,28(10):11-26.
- [29] 支彦玲,陈军飞,王慧敏,等. 共生视角下中国区域“水-能源-粮食”复合系统适配性评估[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(1):129-139.
- [30] 盖美,翟羽茜. 中国水资源-能源-粮食-支撑系统安全测度及协调发展[J]. 生态学报,2021,41(12):4746-4756.
- [31] 周雄勇,许志端,郗永勤. 中国节能减排系统动力学模型及政策优化仿真[J]. 系统工程理论与实践,2018,38(6):1422-1444.
- [32] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[M]. 北京:人民出版社,2022.

(编辑:高虹)

Research on the Influence of Green Development on Water-Energy-Food System/FANG Junmin^{1,2}, HUANG Dechun^{1,3}, HE Zhengqi^{1,3} (1. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Business School, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 3. “World Water Valley” and Water Ecological Civilization Collaborative Innovation Center, Nanjing 211100, China)

Abstract: The coordinated development of the water-energy-food system is an important support for the sustainable development of economy and society. China's ecological civilization is in a critical period of pressure superposition and load bearing. The contradiction between high resource pressure, limited environmental capacity and high total pollutant discharge is prominent, and the task of building a beautiful China is still arduous. Green development, as an important part of the new development concept, is the inevitable requirement of ecological civilization and the inevitable course to build a beautiful China. Exploring China's resources and environment problems from the concept of green development actually provides a new idea for the practice of water-energy-food management. This paper starts from the internal mechanism of the impact of green development on water-energy-food system, and the complexity and dynamic characteristics of the system are considered in the construction of system dynamics model. The model better explains the evolution process of water-energy-food system under the influence of green development, and simulates the policy effectiveness and implementation strength under different green development guidance and constraint scenarios. The research finds that the adjustment and implementation of green development guidance and restraint policies can promote the water-energy-food system to reduce resource consumption and pollution emissions. Different policies implemented by the government have different effects. On this basis, combined with regional resource endowment and carbon peaking and carbon neutrality goals, we propose that the relevant departments should further optimize the binding policy environment for green development, increase the implementation intensity of green development policies, promote the efficient use of resources and reduce pollution stocks, and give full play to the policy efficiency of green development in resource management.

Key words: ecological civilization; green development; water-energy-food system; influence mechanism; policy simulation