

中国水-能-粮耦合系统协同安全发展战略研究

王 浩, 姜 珊, 朱永楠, 赵 勇, 何 凡, 何国华, 李 激

(中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 100038, 北京)

摘要:水是水-能-粮(WEF)耦合系统的核心要素,为保障国家粮食和能源安全,必须加强水资源管理,坚持水资源、能源和粮食协同安全发展。在系统总结国内外WEF耦合系统纽带关系研究进展、科学认识WEF基本内涵的基础上,分析了我国各省份水资源、能源、粮食开发利用过程中存在的问题,揭示当前WEF耦合系统发展面临的能源需求持续增长与能源安全结构性矛盾日益凸显、不稳定因素加剧粮食安全风险、资源不匹配带来水资源约束趋紧、高质量发展对水-能-粮-生提出更高要求四大挑战,围绕区域特点和高质量发展目标,针对性提出了区域可持续发展模式与策略。研究建议,在西北资源富集地区,通过“四水四定”、水权交易及调水工程缓解水资源短缺;在京津冀地下水超采区,优化粮食安全布局,强化水与能源协同调控;在东北粮食增产区,拓展粮食生产空间,保护水资源合理开发利用;在南方水资源丰沛区,深化农业供给侧结构性改革,统筹“水风光储”一体化开发,以期实现绿色低碳的可持续发展路径提供科学支撑与决策参考。

关键词:水-能-粮耦合系统;协同安全;资源禀赋;供需比;可持续发展

Research on the collaborative safety development strategy of Water-Energy-Food Nexus in China//Wang Hao, Jiang Shan, Zhu Yongnan, Zhao Yong, He Fan, He Guohua, Li Wei

Abstract: Water constitutes the central element within the Water-Energy-Food (WEF) Nexus. To safeguard national food and energy security, it is essential to strengthen water resource management and ensure the coordinated safety development of water, energy, and food. Based on a comprehensive review of research progress on the WEF Nexus both domestically and internationally, as well as a scientific understanding of the fundamental principles of the WEF Nexus, this paper analyzes the prevailing issues in the development and utilization of water resources, energy, and food in various provinces of China. It reveals four major challenges facing the current development of the WEF Nexus: the growing energy demand intensifies the structural contradictions in energy security, increasing instability exacerbates food security risks, resource mismatches tighten water resource constraints, and high-quality development imposes higher requirements on water-energy-food-ecology systems. Targeted regional sustainable development models and strategies are proposed, tailored to regional characteristics and high-quality development goals. Research indicates that in resource-rich Northwest China, water scarcity can be alleviated through the “Four Waters and Four Determinations” policy, water rights trading, and water transfer projects. In the groundwater overexploitation areas of the Jing-Jin-Ji region, it is necessary to optimize the food security layout and strengthen the coordinated regulation of water and energy. In Northeast China’s grain production areas, food production space should be expanded while ensuring the rational development and utilization of water resources. In southern regions abundant in water resources, deepening agricultural supply-side structural reform and promoting integrated

收稿日期:2024-08-29

作者简介:王浩,中国工程院院士,正高级工程师。

基金项目:国家重点研发计划(2023YFC3206502)。

development of “Water-Wind-Solar-Storage” is essential. This research aims to provide scientific support and decision-making references for navigating towards a green, low-carbon, and sustainable development path.

Keywords: Water-Energy-Food Nexus; collaborative safety; resource endowment; supply-demand ratio; sustainable development

中图分类号: TV213.4+F326.11+F426.2 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2024)17-0005-08

水、能源、粮食是人类社会赖以生存和发展的三大物质基础和战略资源。在经济全球化背景下,人口增长、经济发展正在不断扩大全球对水、能源、粮食的需求。根据统计数据,2023年世界人口已超80亿人,2030年和2050年将分别增长至85亿人和97亿人,预期在2080年达到峰值约104亿人,之后将维持在这一水平直至2100年。到2030年,全球农产品需求预计将以每年1.2%的速度增长,同时全球能源总需求将达到670 EJ,预计到2050年仍将持续增长。当前全球面临严重缺水问题,约10%的人口居住在高度或严重缺水的国家和地区。缺水引发了诸多生态问题,21世纪初每年全球地下水超采量1000亿~2000亿 m^3 ,约占当年地下水总开采量的15%~25%。预计到2050年,面临缺水问题的城市人口将增加至17亿~24亿人。所以,最大程度协调水资源、能源生产与粮食生产之间的适配性,是人类社会保持长期稳定和安全稳定的必然选择。

水-能-粮(Water-Energy-Food, WEF)是一个相对独立又紧密关联的互馈耦合系统,内部关系错综复杂。在能源和粮食的生产消费过程中,需要消耗大量水资源;而取水-供水-用水-排水-污水再生利用过程中也消耗大量能源。此外,粮食生产虽然依赖能源投入,但也蕴含着巨大的生物质能开发潜力。如果孤立地关注水、能源和粮食耦合系统的单一要素或两两要素的供给安全及高效利用,会导致WEF耦合系统间协调性不强。这种局限性不仅导致水资源的低效利用和局部浪费,还给粮食和能源的生产带来显著风险,严重威胁经济社会的可持续发展。2015年联合国提出可持续发展目标,其中可持续发展目标2(消除饥饿)、可持续发展目标6(提供清洁水和卫生设施)以及可持续发展目标7(推动可负担和清洁能源)等涉及WEF纽带关系,表明促进WEF纽带的协同发展有助于有效应对全球资源管理所面临的多重挑战。

面对我国资源禀赋、生产能力与消费规模之间显著的不匹配与不平衡现象,水、能源、粮食三大战略资源的协同保障成为制约可持续发展的关键瓶颈。本文

旨在通过系统梳理国内外关于WEF耦合系统研究的最新趋势,科学评估我国当前水、能源、粮食资源利用的现状与存在的主要问题,深入分析在高质量发展要求下各区域对WEF耦合系统发展的新需求,并聚焦西北资源富集地区、京津冀地下水超采区、东北粮食增产地区及南方水资源充沛地区,创新性提出各区域针对性的可持续发展模式与策略,旨在推动水、能源、粮食三大交叉学科领域的深度融合与纵深发展,更期望为缓解国家层面的资源环境承载压力,实现绿色低碳的可持续发展路径提供科学支撑与决策参考。

一、水-能-粮研究发展与趋势分析

针对全球性资源短缺对经济社会和生态环境的影响,2008年世界经济论坛以水资源、能源与粮食安全为关注点,提出了“水行动呼吁”,强调水、能源、粮食对人类社会发展的重要性。随后,2011年波恩会议首次定义“纽带关系”,并指出水、能源以及粮食作为纽带关系的关键元素,正共同面对社会、经济与环境的多重挑战。随着“纽带关系”的提出,水-能-粮的协同安全问题及发展对策成为国内外研究热点。基于对2008—2022年WOS(Web of Science)数据库中关于WEF纽带关系研究文献的统计分析,该领域的研究发展可以划分为三个阶段:

第一阶段为概念成型期(2008—2013年)。此阶段正值全球人口问题日益严峻、资源枯竭、生态系统退化以及社会与环境压力显著增加的时期。因此,这一阶段WEF研究聚焦于环境、资源问题及治理策略,研究成果更多是对宏观管理方面的探讨,旨在初步构建WEF纽带关系的理论框架。

第二个阶段为概念深化期(2014—2015年)。随着研究的深入,焦点转向具体区域尤其是国家、流域、区域及城市的WEF优化配置。这一阶段的研究重点包括生物多样性、系统脆弱性以及影响因素的分析,旨在探索多尺度下的WEF资源配置策略,以实现资源的高效利用与可持续管理。

第三阶段为内涵丰富期(2016—2022年)。全球

化贸易的兴起为资源配置提供了新的视角,资源贫乏地区可通过国际间、区域间贸易获取所需资源,从而缓解本地资源短缺问题。此阶段研究重点转向安全、环境影响、风险及虚拟水等议题,标志着WEF纽带关系研究进入一个更为多元化和深入的阶段,研究成果显著丰富,推动了WEF领域的快速发展。

当前,WEF耦合系统的研究不仅聚焦于内部水、能源、粮食及其之间的相互作用,还深入探究了外部因素对系统的影响。内部特征分析侧重于可靠性、协同性及相关性等方面,重点量化各要素间的相互影响;而外部影响分析则涵盖气候变化、极端天气、自然灾害等自然因素,以及城市化、经济全球化、土地利用变化等社会因素,从韧性、弹性及可持续性等多维度评估WEF耦合系统对外界干扰的响应能力。WEF耦合系统的协同安全发展旨在通过内部供需平衡与外部资源配置优化,提升资源流动与转化效率,同时借助社会与政府调控手段,增强系统抗风险能力,促进系统内部与外部环境的和谐共生,最终实现区域可持续发展。这一过程不仅要求确保水、能源、粮食各子系统在数量与质量上的充足与安全,还需通过经济、社会与环境效益的综合提升,构建安全、低风险的资源供应循环体系。

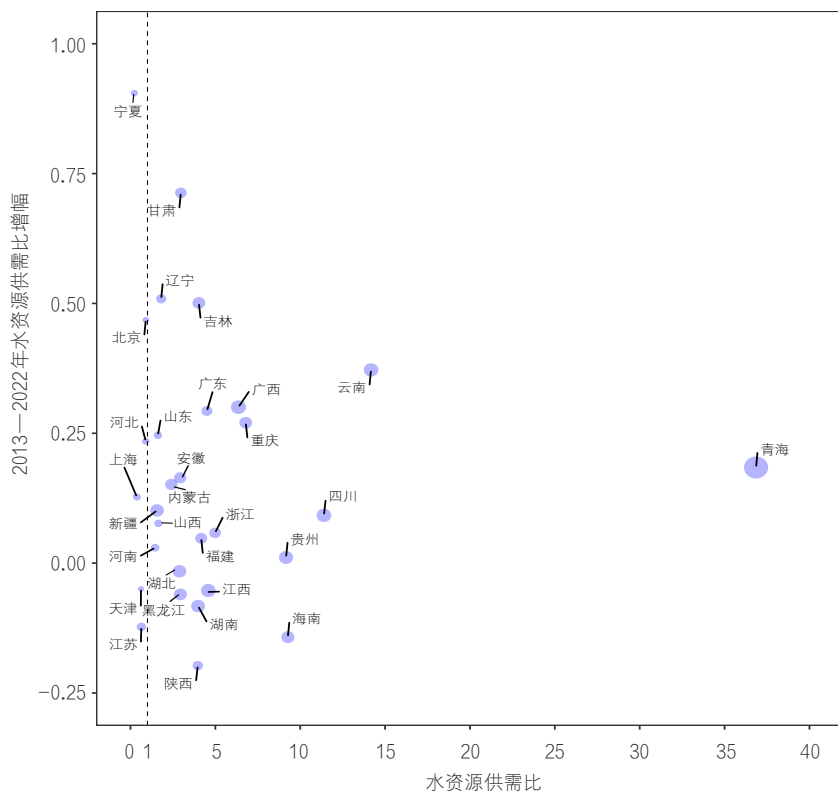
二、我国水-能-粮资源利用现状评估

我国水资源时空分布不均导致资源生产与消费空间严重不匹配,北方地区人口占全国人口的46%,但只拥有全国19%的水资源,资源性缺水已经成为制约北方地区经济社会发展的重要因素。由于香港、澳门和台湾无数据,西藏缺少能源相关数据,本文主要分析30个省份的水资源、能源、粮食等匹配情况。在图1中,水资源供需比为各省份的水资源可利用量与用水总量的比值,表征水资源压力,利用2013—2022年水资源供需比增幅代表水资源压力变化情况,研究发现水资源短缺地区面临的水资源压力日益增大。宁夏、北京、河北、上海等地水资源供需矛盾尤为突出,供需比

小于1,表明本地水资源供给已无法满足用水需求,且近十年来供需矛盾仍在不断加剧;青海、四川、贵州、海南、浙江、江西等水资源相对丰富地区,供需比高于全国平均水平(4.5),近10年水资源供需比增幅小于0.2,或呈现下降趋势,属于水资源潜力型地区。

在能源方面,2022年我国一次能源生产总量达到46.6亿t标准煤,是世界第一大能源生产国,但我国能源自给率维持在82%左右,对外部资源的依赖不容忽视。在图2中,采用一次能源供需比反映能源的自然禀赋情况,采用二次能源供需比反映能源的供需情况,采用能源消耗总量变幅反映消费能力,发现陕西、贵州、内蒙古、山西、新疆、云南等地区能源的自然禀赋情况较好,一次能源供需比大于1,不仅能够满足自身需求,还能通过能源加工转换向外供给二次能源;宁夏、安徽、四川、湖北等地一次能源供需比小于1,二次能源供需比大于1,说明虽然二次能源自给有余,但一次能源仍需依赖外部供给;京津冀、长三角、珠三角等经济发达地区几乎完全依赖外部能源供给;各地区总能耗均呈现增加趋势,其中新疆、宁夏、海南、青海、陕西等省份能耗总量增幅显著。

在粮食方面,2022年全球粮食产量为28亿t,我国

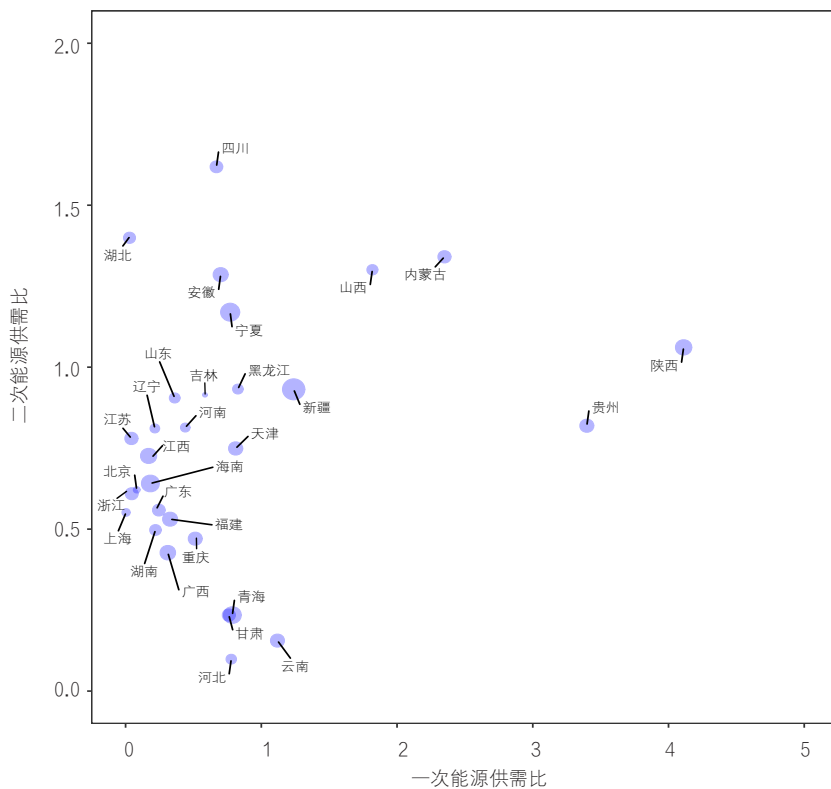


注: 圆形大小代表2022年人均水资源量多少。

图1 30个统计省份水资源禀赋与供需关系

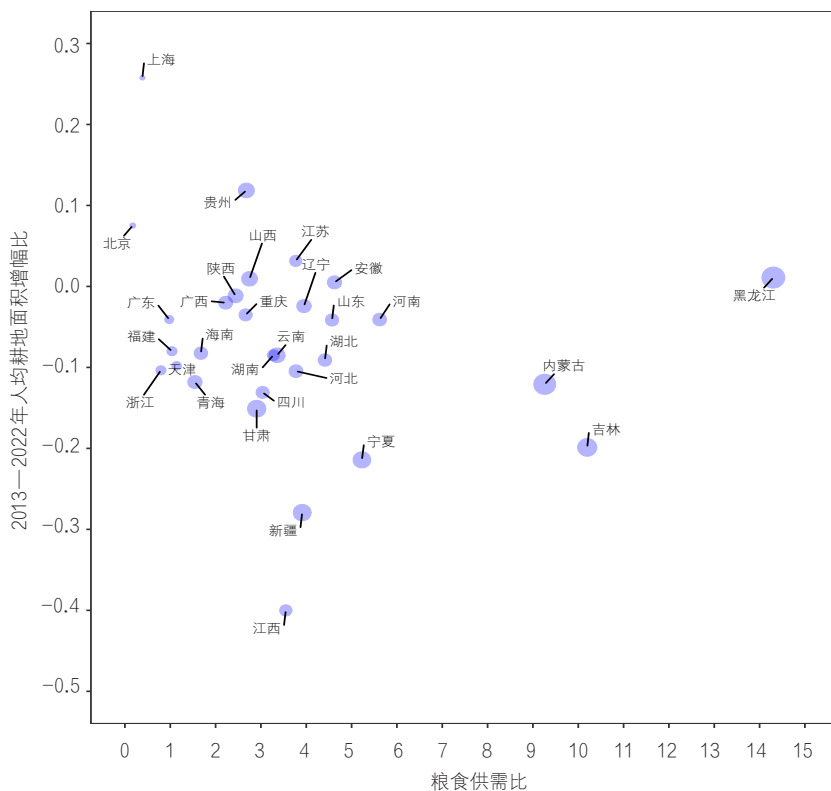
粮食产量6.86亿t,居全球之首,占全球粮食产量的24.5%,用不足全球9%的土地实现了约占世界1/4的粮食产量,养活了世界近1/5的人口。但我国人均耕地面积只有1.36亩(1亩=1/15 hm²,下同),不足世界平均水平的40%。在图3中,粮食供需比为粮食总产量与消费量比值,利用2013—2022年人均耕地面积增幅比表征粮食生产能力变化情况,利用人均耕地面积表征粮食资源禀赋条件。发现黑龙江、内蒙古、吉林粮食资源禀赋条件优良,是少数人均耕地面积超过世界平均水平的地区;上海、贵州、北京、江苏、安徽、山西、黑龙江人均耕地面积呈上升趋势,其他地区近10年人均耕地面积增幅比均小于0;北京、上海、浙江、广东等地粮食供需比小于1,需要从外部调入粮食以满足需求。长期以来,“北粮南运”形成的农业“北水南调”虚拟工程已显著影响水资源分布,北方地区作为粮食生产主力,灌溉用水量增加,加剧了水资源压力。

当前我国资源生产与消费之间存在较大的不平衡性,这加重了水资源短缺地区的水资源负荷,限制了能源和粮食的生产发展。例如北京、上海等的水资源、能源、粮食资源自给能力均无法满足日益增长的本地需求,因此高度依赖其他地区的资源供给;宁夏、新疆、内蒙古等省份尽管拥有丰富的能源资源和良好的耕地条件,但能源和粮食的发展规模却受到水资源供应条件的严重制约;辽宁、吉林、黑龙江等东北省份具有良好的耕地条件,是我国主要粮食生产区,但随着灌溉用水不断增加,地下水水位持续下降等问题日益突出,不仅加剧了当地水资源压力,也对粮食生产的可持续发展构成了威胁;四



注:圆形大小代表2013—2022年能源消耗总量增幅大小。

图2 30个统计省份能源供需关系



注:圆形大小代表2022年人均耕地面积多少。

图3 30个统计省份耕地与粮食供需关系

川、湖北、云南、贵州等西南省份拥有丰富的水能资源,同时也拥有天然气、煤炭等其他形式的能源,多元化的能源供应体系可为水电开发利用提供坚实保障。“西气东输”“西电东送”“北粮南运”虽在一定程度上缓解了能源、粮食分布不平衡的情况,但是输送过程伴随虚拟水流通带来了水资源的空间转移,不仅加剧了水资源短缺地区的负荷压力,也对接收地的生态环境和可持续发展产生影响。

三、水-能-粮耦合系统安全协同发展面临的挑战

1. 能源需求持续增长与能源安全结构性矛盾日益凸显

自2010年起,我国能源消费总量首次超越美国跃居全球首位,并保持年均3%的增长速率。至2022年,我国能源消费总量已达54亿t标准煤(见图4),其中煤炭的消费比重为56%,相较于2013年下降了11.4%;而石油、天然气和非化石能源的消费比重分别提升至18%、8.4%和17.6%,较2013年分别增长了0.9%、3.1%和7.4%。鉴于能源活动是温室气体排放的主要源头,产生的温室气体占据总排放量的77.7%,且以煤为主的能源结构在短期内难以根本改变,使得我国在推进能源低碳清洁转型时面临着既要保障能源安全又需兼顾低碳发展的双重挑战。在全球范围内,已有132个国家和地区提出了实现碳中和的时间表,其中多数国家计划在2050年实现这一目标。从碳达峰到碳中和的过渡,世界各国平均需要超过50年的时间。相比之下,我国宣布的碳达峰到碳中和的间隔时间仅为30年,这无疑是一个更为紧迫的任务。考虑到我国仍处于工业化和城镇化进程中,一次能源消费仍呈现增长趋势,碳排放量也相应处于上升阶段,这意味着实现碳达峰碳中和对我国能源和经济可持续发展的要求更为严格,需要采取更加积极有效的措施。

2. 不稳定因素加剧粮食安全风险

在全球气候变化的背景下,极端天气事件的频发与地缘政治冲突的升级,对粮食生产、贸易等环节构成了严峻威胁,严重影响我国粮食安全的稳定性。一是国际市场粮食可获得性显著下降。自乌克兰危机暴发以来,俄罗斯、乌克兰、阿根廷、哈萨克斯坦等多个粮食主产国相继实施了粮食出口限制措施。虽然我国粮食生产实现了“二十连丰”,2023年粮食播种面积达到17.85亿亩,总产量达到6.95亿t,但当前粮食生产体系

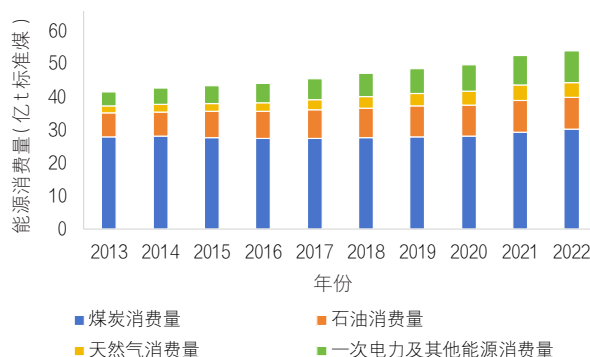


图4 2013—2022年我国能源消费量变化

下的生产能力已经达到阶段性的峰值,国际市场的不确定性仍是威胁我国粮食安全不可忽视的外部因素。二是国内耕地资源面临缩减压力,根据2021年国务院公布的第三次全国国土调查主要数据,我国耕地面积已降至1.28亿 hm^2 ,与第二次全国国土调查数据相比减少了0.07亿 hm^2 ,这一趋势不仅限制了粮食生产的潜力,也影响粮食自给率的提升。2013年与2022年31省份耕地面积对比见图5。三是粮食产销区域的不平衡问题越发凸显。我国13个粮食主产区中,仅6个省份能够实现粮食净调出。原本保持产销平衡的11个省份,已有9个省份的粮食自给率降至60%以下,7个粮食主销区省份自给率不足25%,多重风险叠加对我国粮食安全产生冲击。开发北方地区后备耕地,提高我国粮食安全保障水平的需求日益迫切。

3. 资源不匹配带来水资源约束趋紧

我国水资源空间分布存在显著的不均衡现象。长江流域及其以南地区,土地面积仅占全国的36.5%,却拥有占全国总量81%的水资源,水资源相对丰富。而淮河流域及其以北地区,土地面积占全国的63.5%,但水资源仅占全国总量的19%,这些区域不仅是我国的主要粮食产地,也是能源的重要生产基地,缺水问题严重制约了当地农业和能源发展。如黄河上中游的5个省份煤炭资源总量占全国的52.2%,累计原煤产量占全国的49.3%,一次能源产量占全国总产量的50%以上,同时这些地区的耕地面积和粮食总产量也分别占全国的17%和12%,然而该地区属于严重资源性缺水区域,且受气候和下垫面变化影响,近20年黄河水资源总量较历史平均水平降低了8.7%。华北平原水资源总量仅占全国的1.7%,人均水资源占有量不到全国的1/6,同时是我国重要的棉粮油生产地,为满足农业灌溉用水的大量需求,地下水成为农业灌溉的主要水源,自然资源部中国地质调查局数据显示,我国面

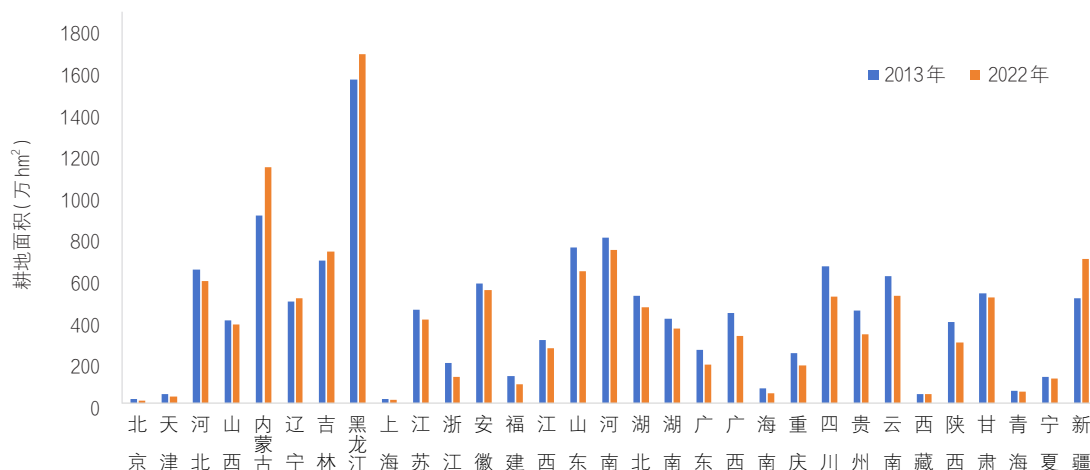


图5 31省份2013年与2022年耕地面积对比

积大于 50 km^2 的地下水水位降落漏斗共 37 处, 总面积 4.73 万 km^2 , 主要分布在华北平原、黄淮平原等北方地区, 严重损害当地生态环境。

4. 高质量发展对水-能-粮-生提出更高要求

2022 年全国用水量 5998.2 亿 m^3 , 农业用水量为 3781.3 亿 m^3 , 占用水总量的 63.0% , 大量的农业用水挤占了其他行业的用水份额, 工业用水量仅为 968.4 亿 m^3 , 不足农业用水量的 $1/3$; 生活用水量为 905.7 亿 m^3 , 仅占总用水量的 15.1% ; 而生态用水作为绿色可持续发展的重要基础, 仅为 342.8 亿 m^3 , 约为农业用水量的 $1/12$ 、总用水量的 5.7% , 远低于我国生态需水量要求。用水结构不合理, 第一产业用水量高, 一方面导致大量水资源浪费, 另一方面使得我国水资源转化为国内生产总值的效率较低。随着自然资源大量开采和气候条件不断恶化, 未来发展不仅要关注经济的增长, 更要着眼于人与自然和谐共生。2024 年印发的《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》中提出, 要加快经济社会发展全面绿色转型, 形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式, 这要求我国未来用水结构需向“高效低耗, 生态友好”方向转变, 推进水资源、粮食、能源一体化、全链条节约和全过程管理。

四、促进水-能-粮耦合系统协同安全发展的相关建议

由于水资源的流通性和循环性, 水不停地参与自然环境中一系列物理、化学、生物过程, 并通过经济网络广泛流动, 所以在水-能-粮纽带关系中, 水资源是核心要素, 其合理开发与利用对保持自然水循环健康

功能, 以及支撑经济社会持续发展、维护能源与粮食安全具有至关重要的作用。我国作为水资源严重短缺的国家, 面临着水资源时空分布不均、与经济社会要素不匹配等多重挑战。因此, 依据区域自然资源和经济发展的特点, 全面考虑国家和区域战略定位, 优化产业结构与规模, 实现水资源的合理开发利用, 是推进区域协调发展的关键所在。

1. 西北资源富集地区: 严格“四水四定”, 完善水权交易机制, 加快推进南水北调西线工程

西北地区土地资源丰富, 光热条件适宜, 矿产和能源资源富集, 东连亚太经济圈, 西邻欧洲经济圈, 是丝绸之路经济带的关键区域, 极具发展潜力。同时, 该地区也是我国水资源最为紧缺、生态系统最为脆弱的地区。建议严格落实以水定城、以水定地、以水定人、以水定产“四水四定”, 根据水资源承载能力, 对水资源短缺、水资源过度开发和生态环境脆弱地区划定灌溉面积控制红线。对采取种植结构调整和强化节水措施后仍无法满足灌溉和生态环境用水需求的地区, 要进一步通过推广耐旱作物种植、实施生态修复等多元有效策略减少灌溉面积。

针对西北地区农业用水比重较大, 但用水效率和效益相对低下, 而工业和城镇发展对水资源的需求难以保障等情况, 建议充分发挥市场机制作用, 推动水资源从丰水区域向缺水区域、从利用效益低的使用者向效益高的使用者转让, 保障高效益行业的用水需求, 创新能源产业反哺区域、反哺农业的长效机制, 在水权交易中切实保障农民权益, 让能源产业发展最大程度、最大范围惠及民生。

此外, 建议加快推进南水北调西线工程, 完善优

化南水北调西线工程规划方案,为黄河上中游、河西走廊和新疆等西北干旱地区提供稳定的水资源保障。将供水基础设施建设作为推动区域高质量发展的重点领域,不仅有望改变西部大面积荒漠的状态,构筑稳定的生态屏障,还为大面积开发后备耕地、解决国家粮食安全问题提供了可能,也将为大规模开发西部能源资源,支撑哈密国家级现代综合能源产业化示范基地、宁东能源化工基地、库布其沙漠鄂尔多斯中北部新能源基地、榆林国家级能源化工基地和华能陇东能源基地等多个能源工业基地的建设,以及促进东西部地区的均衡发展奠定坚实基础。

2. 京津冀地下水超采地区:优化粮食安全基本定位,强化水与能源的协同调控,推进区域协同发展

京津冀地区是我国人类活动对水循环扰动最为强烈、水资源承载压力最大、水资源安全保障难度最高的区域。为支撑经济社会的快速发展和国家粮食安全战略任务,该地区不得不长期超采地下水、挤占生态用水。为此,建议严格控制水资源消耗强度,调减地下水严重超采区的粮食生产任务。从可持续利用角度出发,统筹地下水保护与粮食安全的关系,在地下水严重超采区调减粮食生产任务指标,控制地下水灌溉面积和取用量,并实施大规模的轮耕休耕等制度。对于缺乏地表水替代的深层地下水灌区,应逐步取消深层地下水灌溉,将深层地下水作为战略储备水源,切实避免短视和破坏性的地下水利用方式。

建议加强水资源与能源综合管理,促进实现水与能源协同调控。京津冀地区社会水循环全过程的能耗占地区能源消费总量的12%,其中地下水开采的总耗能每年超过40亿kW·h。由于地下水水位下降,每度电可开采的水量已由20世纪80年代的8 m³减少到不足1 m³,生产1 kg粮食所需的灌溉水量由1 m³减少到0.4 m³,但灌溉的耗电量却由0.12 kW·h增加到0.45 kW·h。随着南水北调中线工程的通水,受水区地下水开采的耗能将由现状的每年63亿kW·h减少到每年不到40亿kW·h。在京津冀协同发展的框架下,应深化研究水与能源的纽带关系,打破部门约束,加强水与能源的综合管理。

3. 东北粮食增产地区:拓展粮食生产空间,切实保护好地表和地下水资源,维护健康的自然水循环系统

东北地区是我国最重要的商品粮生产基地和粮食增产区域。在水资源承载力范围内,应挖掘粮食产能提

升的空间与潜力,同时严格控制水资源开发利用强度,防止出现水资源破坏性开发利用现象。2000—2010年东北地区的湿地损失速率急剧上升,是1990—2000年间损失率的2.8倍,而近20年大兴安岭南麓、三江平原和东三省各省会城市周边等黑土区耕地面积净增量达2000多km²,表明东北地区在垦荒过程中,耕地与林地、草地和湿地存在相互转换。同时近20年东北地区农业灌溉用水量增加约78亿m³。建议通过保护性耕作行动和土地整治措施,稳定现有耕地面积;充分利用东北地区水土资源匹配较好的优势,通过农业和水利措施改造中低产田为高标准农田,适度发展灌溉面积,提高粮食单位面积产量,建设优质商品粮生产基地。

建议优化区域水资源配置体系,科学确定水资源开发利用强度。在实施节水增粮行动时,应科学分析当地水资源承载能力,合理开发地下水,推广种植低耗水品种,实施水分适度亏缺的灌溉模式,发展田间节水技术,提高农业用水利用效率,避免地下水超采及其引发的生态环境问题。此外,确保土地利用规划与水资源可持续利用相协调,加强地表水和地下水系统的监测与预警工作,建立完整的取水许可与实际用水监管链条。

4. 南方水资源丰沛地区:深化农业供给侧结构性改革,统筹规划“水风光储”一体化开发,提升南北方资源适配度

随着我国南北方粮食生产格局的重大变化,“北粮南运”现象伴生了农业虚拟水“北水南调”,势必对缺水的北方地区水资源和生态系统稳定以及区域经济社会发展产生负面影响。建议稳定南方粮食生产能力,减轻北方缺水地区粮食生产压力。着重从调整农业产业布局入手,在国家主体功能区建设背景下,在南方地区实施粮食增产计划,培育粮食增长新动能,重点在江苏、湖北、湖南、四川、江西、安徽等地加大灌区节水改造力度,划定一批主产粮市、主产粮县,打造一批能够提供稳定粮源的区域。

对于南方经济发达地区,应按照“藏粮于地”的要求,实施土地管理措施和农业技术创新,充分利用现有的土地资源,以确保粮食生产的可持续性和稳定性。在有条件的地区新增耕地面积,补充因水资源紧缺地区压减灌溉面积而减少的粮食综合生产能力。此外,应充分认识到粮食贸易伴随的虚拟水流通带来的水资源配置不合理问题,将实体水与虚拟水统筹管理,建立丰水与缺水地区的区域间虚拟水补偿制度。

以西南水电基地为重要节点,做好风能、太阳能

资源的普查工作,精准掌握资源空间分布与开发潜力。依托国家水网建设,深入开展西南地区的“水风光储”一体化规划、开发、运行、送出与消纳等系统研究,形成科学合理的开发布局和时序安排。统筹推进水风光综合基地开发建设,通过优化资源配置,提高能源利用效率,构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系,满足经济社会发展能源需求,助力“双碳”目标的实现。

参考文献:

- [1] 王红瑞,赵伟静,邓彩云,等.水-能源-粮食纽带关系若干问题解析[J].自然资源学报,2022,37(2):307-319.
- [2] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results[R/OL].[2024-07-02].<https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>.
- [3] 经济合作与发展组织和联合国粮食及农业组织.2021—2030年农业展望[M].北京:中国农业科学技术出版社,2021.
- [4] International Energy Agency. World Energy Outlook 2023[R]. Paris: IEA, 2023.
- [5] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water[R]. Paris: UNESCO, 2023.
- [6] 孙才志,郝帅,赵良仕.中国水资源-能源-粮食纽带系统效率时空分异特征[J].水资源保护,2021,37(1):61-68+78.
- [7] 李澍,赵勇,姜珊,等.水、能源和粮食纽带关系研究进展及发展启示[J].生态学报,2024(17).
- [8] 王雨,王会肖,杨雅雪,等.水-能源-粮食纽带关系定量研究方法综述[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(6):42-63.
- [9] 姜珊,王建华,刘合,等.黄河上中游地区水-粮食-能源协同发展战略研究[J].中国工程科学,2023,25(4):180-190.
- [10] 赖玉珮.中国水-能源-粮食协同需求的区域特征研究[J].北京规划建设,2019(1):74-77.
- [11] 杜占元.深入学习贯彻习近平总书记倡导的全球治理观[J].红旗文稿,2022(13):4-9+1.
- [12] 马良.碳达峰、碳中和背景下抽水蓄能建设发展研究[J].中国工程咨询,2021(9):35-38.
- [13] 蒋家敏,魏梦升.地缘冲突下全球粮食危机的传导效应与中国因应之策[J].华中农业大学学报(社会科学版),2024(4):35-44.
- [14] 杨翠红,林康,高翔,等.“十四五”时期我国粮食生产的发展态势及风险分析[J].中国科学院院刊,2022,37(8):1088-1098.
- [15] 李澍,何国华,赵勇,等.供水工程影响下中国北方地区耕地后备资源开发潜力[J].农业工程学报,2024,40(5):264-274.
- [16] 杨明明,朱永楠,赵勇,等.水资源-能源-粮食-生态系统耦合协调及驱动力分析[J].人民黄河,2024,46(3):58-63.
- [17] 全国地下水质量总体稳定 华北平原地下水储存量增加28.62亿立方米[J].中国环境监察,2023(11):5.
- [18] 常奕宇,赵勇,桑学锋,等.京津冀水资源-粮食-能源-生态协同调控研究 I:方法与模型[J].水利学报,2022,53(6):655-665.
- [19] 李晓东,闫守刚,宋开山.遥感监测东北地区典型湖泊湿地变化的方法研究[J].遥感技术与应用,2021,36(4):728-741.
- [20] 张瑞,杜国明,张树文.1986—2020年东北典型黑土区耕地资源时空变化及其驱动因素[J].资源科学,2023,45(5):939-950.

责任编辑 李卢祎