

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.05.019

基于知识图谱的流域初始水权分配方法研究进展

吴 丹, 刘孟瑶

(北方工业大学经济管理学院, 北京 100144)

摘要:以 2000—2021 年 Web of Science 3 大引文数据库和中国知网收录的 524 篇流域初始水权分配研究文献为基础,利用 Citespace 软件对文献的作者研究机构与团队、关键词进行了可视化分析,并综述了流域初始水权分配方法的研究进展。结果表明:流域初始水权分配实质上是将流域多年平均水资源量(或某一水文频率下的天然径流量)作为流域用水总量控制指标,按照“流域-区域-行业”水权科层制分配模式,分配给流域内所辖各行政区及行业,以推进区域均衡协调发展与产业结构优化升级;在流域初始水权分配过程中,主要依据流域所辖各行政区的经济社会特征,统筹体现社会公平、经济效益、生态保护、风险控制等多维目标,明确水权分配原则,设计水权分配指标体系,建立基于分配模式的初始水权分配模型。指出今后亟须深入贯彻落实“以水定产”绿色发展理念,强化水资源刚性约束与双控行动,探索流域初始水权与产业结构优化适配模式。

关键词:流域;初始水权分配;知识图谱;Citespace;综述

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2023)05-0161-09

Research progress of initial water rights allocation methods in river basin based on knowledge map//WU Dan, LIU Mengyao (*School of Economics and Management, North China University of Technology, Beijing 100144, China*)

Abstract: Based on the 524 literatures about initial water rights allocation in river basins collected from three citation databases of Web of Science and CNKI from 2000 to 2021, a visual analysis on the literatures from aspects of research institution and team of the authors and key words is conducted using Citespace software. The research progress of initial water rights allocation methods in river basins is reviewed. The results show that, the initial water rights allocation in a river basin is to take the average water resources of the river basin for many years (or the natural runoff under a certain hydrological frequency) as the total water consumption control index, and allocate it to the administrative regions and their industries according to the “basin-region-industry” hierarchical allocation mode, so as to promote the balanced and coordinated development of the regions and the optimization and upgrading of the industrial structure. In the process of initial water rights allocation in a river basin, the dominant basis is the characteristics of economic and society in the administrative regions, so as to comprehensively reflect the multidimensional objectives of social equity, economic benefits, ecologic protection and risk control, clarify the principles of water rights allocation, develop a index system of water rights allocation, and establish a model of initial water rights allocation based on the allocation mode. In the future, it is urgent to thoroughly implement the green development concept of “determining production by water”, strengthen the rigid constraints and dual control actions of water resources, and explore the optimal adaptation mode of initial water rights and industrial structures.

Key words: river basin; initial water rights allocation; knowledge map; Citespace; review

自 2000 年开始,我国政府管理部门开启了流域初始水权分配的实践性探索,并先后开展了松辽流域水资源使用权初始分配专题研究,以及霍林河流域、大凌河流域省(自治区)际初始水权分配试点工

作。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出建立国家初始水权分配制度和水权转让制度,2005—2008 年水利部先后颁布并实施了《水利部关于水权转让的若干意见》《关于印

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJCZH176);北方工业大学毓优人才项目(XN020035);北方工业大学北京城市治理研究基地资助项目(2023CSZL01)

作者简介:吴丹(1986—),男,副教授,博士,主要从事城市治理与资源环境研究。E-mail:wu_daniel@163.com

发水权制度建设框架的通知》《水量分配暂行方法》等政策文件,标志着我国加快推进水市场建设与深化流域初始水权分配研究。“十二五”和“十三五”期间,国务院出台了一系列强化水权管理的政策举措。2012 年国务院发布《关于实行最严格水资源管理制度的意见》,确立了各省(自治区、直辖市)取用水总量控制指标,并于 2013 年出台了《实行最严格水资源管理制度考核办法》。2014 年以来,水利部选取宁夏、江西、湖北、内蒙古、河南、甘肃、广东 7 个省(自治区)开展了水资源使用权确权登记和水权交易试点工作。党的十八届五中和十九届五中全会提出建立健全用水权初始分配制度和水资源刚性约束制度,“十三五”时期全面实施了水资源消耗总量和强度双控行动,对于加快推进流域初始水权分配研究具有重要的实践指导意义。2000—2021 年国内外关于流域初始水权分配方法的研究日渐增多,本文基于 Web of Science(WOS)数据库和中国知网(CNKI),运用 CiteSpace5. 8R2 文献计量软件,系统梳理流域初始水权分配研究成果,以期为流域初始水权分配方法的理论研究与实践探索提供参考。

1 研究方法和研究数据

Citespace 是绘制知识图谱的主流研究工具之一,主要以 co-citation 和 path-finder 等方法对文献进行共被引和耦合分析,以节点的大小、节点间连线数量来表示词频、网络密度的高低^[1]。本文基于 CiteSpace 可视化软件,通过数据挖掘,绘制中英文文献中研究机构和团队、关键词等关键信息图谱,可视化展现 2000—2021 年流域初始水权分配方法研究热点和趋势。

在 WOS 数据库中,以“主题 = initial and water right”OR“主题 = water rights and allocation”进行检索,限定为 WOS 的 3 大引文数据库(SCI-Expanded、SSCI、A&HCI)学术期刊,得到 286 篇英文文献;在 CNKI 中以“主题 = 初始 and 水权”为检索条件,限定为 SCI、EI、CSSCI、CSCD 和北大核心 5 类学术期刊,得到 238 篇中文文献。将中英文文献导入 Citespace5. 8R2 中,时间切片设置为 1 年,依次勾选机构、作者、关键词进行知识图谱共现分析,以揭示流域初始水权分配方法研究进展。

2 结果与分析

2.1 研究机构与团队

针对流域初始水权分配方法研究,WOS 检索结果中以美国、中国和英国的研究机构发文量居多,这些研究机构包括 Texas A&M University(得克萨斯农

工大学)、International Food Policy Research Institute(国际粮食政策研究所)、河海大学、清华大学、中国科学院大学、University of Oxford(牛津大学)、Wageningen University(瓦格宁根大学)。同时以这些研究机构为中心形成了研究群体机构,群体机构之间紧密合作。CNKI 检索结果中发文量居多的研究机构包括河海大学商学院、水利部发展研究中心、中国水利水电科学研究院、武汉大学水利水电学院、清华大学公共管理学院、西安理工大学水利水电学院,并形成了以河海大学商学院为中心的研究群体机构,但研究机构间的合作不够紧密(图 1)。

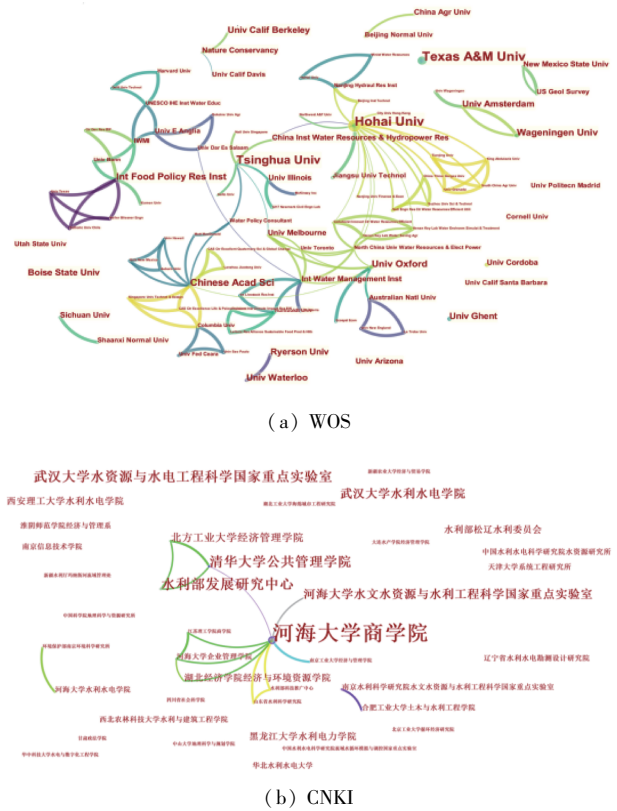


图 1 2000—2021 年流域初始水权分配研究机构图谱
Fig.1 Map of research institutions for initial water rights allocation in river basins from 2000 to 2021

基于寻径算法优化合作网络发现,该领域研究已形成了较稳定的研究团队。WOS 检索结果中发文量居多的研究团队包括 Wu Fengping(吴凤平)团队、Zheng Hang(郑航)团队、Rutgerd Boelens 团队、Dustin Garrick 团队和 Guido van Huylenbroeck 团队。CNKI 检索结果中发文量居多的研究团队包括河海大学的吴凤平团队、王慧敏团队和唐德善团队,水利部松辽水利委员会的王教河团队,中国水利水电科学研究院的王浩团队,以及西安理工大学的解建仓团队(图 2,图中节点的大小与作者出现的频次成正比,节点间的线条数量与连线粗细反映了作者间的合作关系及紧密程度^[2-3])。

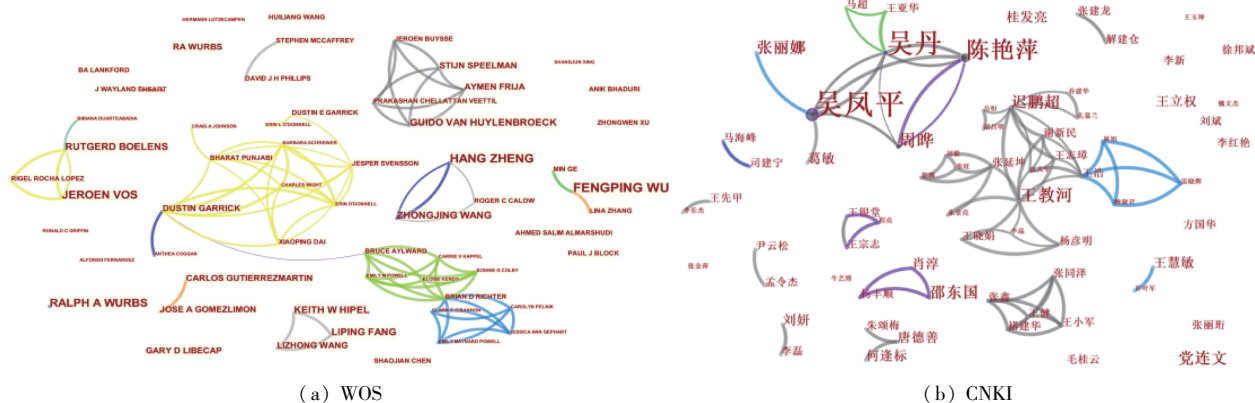


图 2 2000—2021 年流域初始水权分配研究团队图谱

Fig. 2 Map of research teams for initial water rights allocation in river basins from 2000 to 2021

2.2 关键词

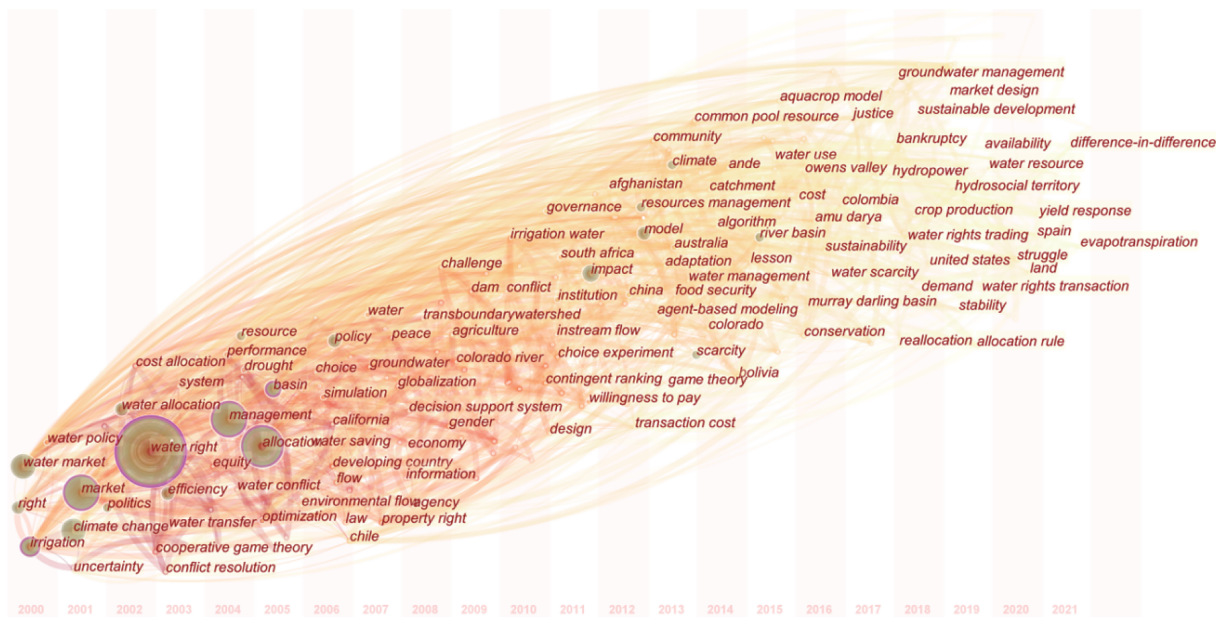
根据 WOS 检索结果关键词时区图谱可知(图 3(a)), 2000—2005 年的热点关键词包括 water market(水市场)、water right(水权)、allocation(分配)、management(管理)、basin(流域)、irrigation(灌溉)、cooperative game theory(合作博弈), 2006—2010 年的热点关键词包括 policy(政策)、simulation(模拟)、decision support system(决策支持系统), 2011—2021 年的热点关键词包括 model(模型)、climate(气候)、resource management(资源管理)、impact(影响)、river basin(流域)。根据 CNKI 检索结果关键词时区图谱(图 3(b))可知, 2002—2005 年的热点关键词包括水权、初始分配、松辽流域、具体原则, 2006—2010 年的热点关键词包括流域、水权制度改革、分配程序、指标体系、层次分析法、分配原则、目标规划、和谐配置、判别准则、TOPSIS, 2011—2021 年的热点关键词包括最严格水资源管理制度、三条红线、配置框架、水权管理模式、博弈、投影寻踪、多目标优化、双层优选。

由图 3 并梳理文献可知, 流域初始水权分配方法研究重点聚焦于分配模式和分配模型。从流域初始水权分配理论与实践看, 初始水权分配模式与分配模型两者相辅相成、相互作用, 共同指导初始水权分配实践。一方面, 初始水权分配模式的设计既明确了水权分配规则与原则, 同时也决定了水权分配的层级结构与优先序位, 充分体现了水权相关利益主体的利益诉求。另一方面, 初始水权分配模型是以初始水权分配模式为依托进行构建的, 即在明确水权分配规则与原则以及水权分配层级结构与优先序位的基础上, 构建基于分配模式的初始水权优化分配模型, 以提高初始水权分配实践的可操作性。

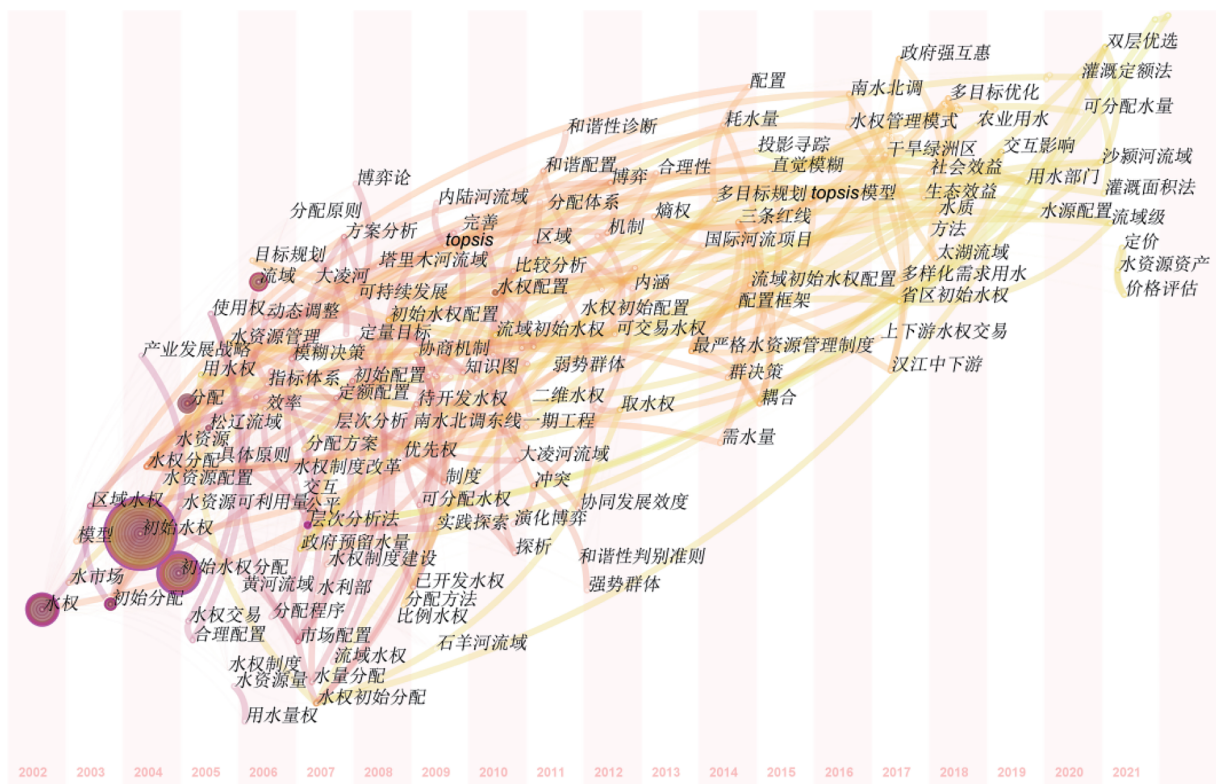
3 研究进展

3.1 流域初始水权分配模式

国外主要是根据具体国家和地区的社会制度、水资源情况、水环境质量、水生态基本特征和传统文化, 沿袭了具有一定合理性与历史地位的水资源分配模式, 并通过立法进行用水户的水资源使用权分配研究。国外初始水权分配采用的水资源使用权规则主要包括河岸权和优先占用权规则、许可水权规则^[4]。①河岸权和优先占用权规则。河岸权规则源于 18 世纪的英国, 来自英国普通法, 规定依河岸土地所有权或使用权确定水资源使用权归属, 一般适用于水资源较丰富的地区。优先占用权规则在 20 世纪美国西部开始使用, 以占用水资源时间的先后来确定水资源使用权的取得以及水资源使用权之间的优先序位, 规定“先占用水体并将其投入有益使用者优先享有水资源使用权”。此类水资源使用权的分配一定程度上解决了干旱地区水资源配置问题, 但对于经济迅速发展、新兴用水户剧增的地区并不适用。②许可水权规则。该规则规定通过行政许可的方式明确每个用户的用水上限, 作为其水资源使用权的许可使用量。许可水权以政府行政分配为主, 可充分发挥政府的监管作用, 更好地保障水资源使用权分配的公平性。为此, 以许可水权规则为基础, Cai 等^[5]提出公平优先、兼顾效率、保障可持续等分配原则, 采用区域面积、人口、用水量及用水效益等指标作为水权分配的依据, 以保障区域间公平分水, 促进水资源高效利用, 为初始水权分配的协商和决策提供有效支撑。伴随全球气候变化和大量不确定性因素对水资源的影响, IPCC 等^[6-8]提出流域初始水权分配必须适应社会经济状况与环境的快速变化, 从水权分配主体、目标和技术体系等方面进一步完善初始水权分配的分析框架^[9-11], 通过明确水



(a) WOS



(b) CNKI

图3 2002—2021年流域初始水权分配研究关键词时区图谱

Fig.3 Key words-time zone map of initial water rights allocation in river basins from 2002 to 2021

资源系统环境的不确定性与驱动机制,针对未来不同情景下水资源的脆弱性提出适应性对策^[12-14]。

借鉴国际经验和立足我国国情水情,我国流域初始水权分配实践主要是以许可水权规则为基础,将流域多年平均水资源量(或某一水文频率下的天然径流量)作为流域用水总量控制指标,按照“流域-区域-行业”水权科层制分配模式,明确水权分配原

则,设计分配指标体系,将水资源使用权分配给流域内所辖各行政区及其行业^[15-17]。①“流域-区域”层级分配模式。2000年水利部原部长汪恕诚^[18]明确流域水权管理应建立“政府宏观调控-民主协商-准市场运作-用水户参与管理”相融合的运行机制,胡鞍钢等^[19]提出通过政治协商机制,加强利益相关者的广泛参与,提高流域整体用水效益,从而为完善水

权分配模式提出了更有效的操作路径。随着松辽流域、长江流域省际典型河流、塔里木河、石羊河等流域初始水权分配实践的有序开展,胡继连等^[15-16,20-21]明确水权分配应遵循尊重现状、公平与效率兼顾、公平优先、权利和义务相结合、民主协商、留有余量、适时调整等分配原则,以人口分布、耕地面积、用水现状、产值效益等因素为依据,对人口、面积、产值等基本分配模式进行集成创新,系统设计分配指标体系,主要包括水资源、经济社会、生态环境和综合性等4大类指标^[22]。由于水权分配涉及问题识别、监测、评估、应对、调整等一系列过程^[23],佟金萍等^[24-27]提出行政与市场相融合机制,以水权制度变迁为轨迹,以市场化改革为取向,完善节水激励机制和水市场交易机制,实现水权分配的适应性调整。②“区域-行业”水权科层制分配模式。葛敏等^[17,21,28]明确以区域各用水行业的发展规划为导向,确定行业用水优先序位,以保障生活用水与粮食安全为前提,兼顾生态环境保护和产业结构优化,开展区域初始水权多目标优化分配研究。水权分配过程应遵循生活用水优先、粮食生产安全、生态环境保护、产业结构优化等分配原则。

3.2 流域初始水权分配模型

由图1~3可知,依托流域初始水权分配模式,根据水权分配原则与分配指标体系,国内外开发的初始水权分配模型进一步为流域初始水权分配实践提供了技术支撑。系统分析法、系统模拟模型技术、大系统多目标分配决策模型先后得到广泛地推广应用。

3.2.1 基于“流域-区域”水权科层制分配模式的初始水权分配模型

流域初始水权分配实践表明,多目标耦合分配模型、利益相关者参与的耦合分配模型成为主要发展方向。

a. 多目标耦合分配模型。初始水权分配的关键是统筹体现社会公平、经济效益、生态保护、风险控制等多维目标,促进水资源高效利用和水环境有效保护。国外学者在水资源系统模拟的框架下,开发了较成熟的优化分配模型。例如:将地下水模拟模型和多目标优化模型进行耦合的水权分配模型^[29];保障荒地流域水资源高效利用的合作式水权分配模型^[30];系统考虑水资源分配因素、水循环过程和污染物迁移的流域水权量质耦合分配模型^[31];应用于智利 Maipo 流域的水资源-经济-水文模型^[32];以实现公平和风险控制为目标,引入基尼系数和条件风险价值的水权分配模型^[33];考虑不确定条件下经济、社会、环境效益多目标动态均衡的水权

分配模型^[34]。同时,借鉴国际经验,为协调流域经济社会发展的多维目标,我国学者重点对水权分配指标权重和水权分配比例的确定展开了研究。例如:尹云松等^[35-37]提出采用层次分析法、嫡权法等确定指标权重,但由于指标权重的确定易受到人为因素的干扰,导致水权分配结果的可接受性较弱;陈艳萍等^[37-38]提出采用模糊优选模型、TOPSIS 法等模型方法确定水权分配比例;王婷等^[39]构建了包含目标、准则、指标及方案4个层次的水权分配指标体系,利用投影寻踪模型确定分水比例;张丽娜等^[40-41]开发了省区初始水量权差别化分配指标体系与初始水权量质耦合分配模型来确定水权分配比例。总体来看,现有的多目标耦合分配模型较为注重技术层面的设计,无法充分体现水权相关利益主体的利益诉求。

b. 利益相关者参与的耦合分配模型。在统筹体现多维目标的过程中,初始水权分配亟须加强利益相关者的利益交互与合作。为此,国外学者进一步完善了多目标耦合分配模型。例如:应用于伊朗德黑兰省利益相关者参与的水量水质耦合分配模型^[42];模拟利益相关者谈判过程的经济权力指数分配模型^[43-44];应对复杂水资源系统不确定变化的区间两阶段规划模型^[45-46];依据澜沧江-湄公河水资源利用的季节性需求、时空特征及净效用差异的跨国多主体合作的模糊联盟博弈模型^[47]。同时,立足我国国情与水情,我国学者提出在多目标耦合分配模型中嵌入研讨、协商、博弈、交互等机制,构建利益相关者综合研讨方法^[48]、利益相关者协商博弈模型^[49-50]、基于利益交互惩罚机制的两阶段优化分配模型^[51],以协调利益相关群体的利益冲突,提高用水效率与整体用水效益。吴丹等^[28,52-53]进一步在多目标耦合分配模型中构造和谐性判别准则,充分体现水权相关利益主体的合理要求和意愿,提高水权分配结果的公平性与满意度,从而为推进流域初始水权分配实践提供了可行思路。

3.2.2 基于“区域-行业”水权科层制分配模式的初始水权分配模型

在统筹多维目标、利益相关者参与的基础上,流域初始水权分配亟须推进产业结构优化升级,提高水资源与产业结构优化的适配性。为此,水资源与产业结构优化适配模型成为主要分配模型。国外学者应用模拟技术、动态规划理论等技术和理论,结合投入产出模型、多目标规划模型等模型,对水资源与产业结构优化适配模型展开了研究。例如:应用于伊朗东北部马什哈德市不同行业水权分配的鲁棒模糊随机规划模型^[54];基于模拟技术与灵敏性分析的

水资源系统规划模型^[55];水权结构与产业结构优化机制及仿真模型^[56-57];区域产业结构和用水结构双向优化的多目标 ITSP 模型^[58]。同时,我国学者提出依据产业结构用水需求与经济社会发展指标的互动反馈,建立系统动力学模型^[59]、主从递阶优化模型^[60],加快推进产业结构优化布局。吴丹等^[61]进一步构造了判别准则,诊断水资源配置与产业结构优化的适应性;张丽娜等^[62]构建了流域水资源消耗结构与产业结构高级化的适配度测算指标,判别二者同步变化程度及方向;刘慧等^[63]应用灰色关联度和耦合协调模型,从时空层面诊断地区产业结构与水资源配置利用的耦合协调程度。

3.3 研究评述

从已有研究成果看,流域初始水权分配方法、水量分配暂行办法、跨省江河流域水量分配方案制订技术大纲存在一定的区别与联系。用水总量控制指标、初始水权分配、水量分配的关系表现为:初始水权分配是将流域多年平均水资源量(或某一水文频率下的天然径流量)作为流域用水总量控制指标,按照“流域-区域-行业”水权科层制分配模式,明确水权分配原则,设计水权分配指标体系,构建基于分配模式的初始水权分配模型,将水资源使用权分配给流域内所辖各行政区及其行业;跨省江河流域水量分配方案制订技术大纲中的水量分配实际上是用水总量控制指标在流域内区域间的具体落实。用水总量控制指标明确了跨省江河流域用水总量的控制目标,而跨省江河流域水量分配是在合理控制地下水开采和保障河道内生态用水的基础上,确定流域内各省(自治区、直辖市)地表水的用水份额;水量分配暂行办法中的水量分配是对水资源可利用总量或者可分配的水量向行政区域进行逐级分配,确定行政区域生活、生产可消耗的水量份额或者取用水水量份额。因此,流域初始水权分配方法研究与实践探索更为复杂和细化。面向“以水定产”绿色发展理念、水资源刚性约束、双控行动等新形势,目前流域初始水权分配方法在以下方面仍有待深化研究:

a. 初始水权分配模式优化研究。目前流域初始水权分配模式实际上是以流域为单元,以许可水权规则为基础,按照“流域-区域-行业”水权科层制分配结构,以人口、面积、现状用水、产值等为依据,明确水权分配原则,设计水权分配指标体系,指导水资源使用权的初始分配,保障流域内各行政区分水的公平性并兼顾效率性,推进产业结构优化升级。但现有的水权科层制分配模式是将初始水权“一分为底”,未深入贯彻落实“以水定产”绿色发展理念。

因此,亟须形成一套完善的流域初始水权与产业结构优化适配模式,破解流域初始水权与产业结构优化适配难题。

b. 初始水权分配模型优化与实践应用研究。目前流域初始水权分配模型主要是依据现有的“流域-区域-行业”水权科层制分配模式,明确水权分配原则,设计水权分配指标体系,构建复杂的目标函数与优化模型,将水权分配到省(自治区、直辖市)、行业、灌区、协会或者取水户。但现有的水权科层制分配模式仍有待完善,且分配模型过于复杂,对流域初始水权与产业结构优化适配的指导性作用亟须加强。

4 研究展望

基于研究现状,在流域生态保护和高质量发展战略背景下,未来亟须贯彻落实“以水定产”绿色发展理念,强化水资源刚性约束与双控行动,明晰流域初始水权与产业结构优化适配思路,破解流域初始水权与产业结构优化适配难题。为此,以流域初始水权分配实践为导向,提出流域初始水权与产业结构优化适配模式的设计思路及适配模型的构建思路。

a. 流域初始水权与产业结构优化适配模式的设计思路。完善现有的“流域-区域-行业”水权科层制分配模式,将流域内各省(自治区、直辖市)、行业、灌区、生态和取水户的用水需求纳入同一框架体系,构建流域初始水权与产业结构优化适配的概念判别模型,有效判定流域初始水权与产业结构优化适配的嵌套式层次结构与优先级别,明确嵌套式层次结构分配单元的适配规则与原则。

b. 流域初始水权与产业结构优化适配模型的构建思路。完善现有的基于分配模式的水权科层制分配模型,依据流域初始水权与产业结构优化适配模式的设计思路,提出“基于适配模式的适配方案设计-诊断与优化”的模型构建思路。①基于适配模式的适配方案设计。根据嵌套式层次结构分配单元的适配规则与原则,充分体现嵌套式层次结构分配单元的利益诉求,建立嵌套式层次结构分配单元利益交互的适配模型,设计流域初始水权与产业结构优化适配方案,提高嵌套式层次结构分配单元分水的公平性与效率性。②适配方案诊断体系与优化机制设计。依据设计的流域初始水权与产业结构优化适配方案,构造一套完善的嵌套式层次结构分配单元的适配方案诊断体系,验证方案的可行性,并以适配方案诊断结果为依据,建立嵌套式层次结构分配单元的水权适应性调整机制,对嵌套式层次结构分

配单元的水权分配进行调整与优化,以通过适配方案诊断体系,提高流域初始水权与产业结构优化的适配性。

参考文献:

- [1] CHEN Chaomei, IBEKWE-SANJUAN F, HOU Jianhua. The structure and dynamics of cocitation clusters: a multiple-perspective cocitation analysis[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(7): 1386-1409.
- [2] 杨明杰, 杨广, 何新林, 等. 基于多维临界调控模型的玛纳斯河流域水资源调控[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2017, 35(2): 241-246. (YANG Mingjie, YANG Guang, HE Xinlin, et al. Adjustment of water resources in Manasi river basin based on multi-dimension critical adjustment model [J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2017, 35(2): 241-246. (in Chinese))
- [3] EASTER K W, ROSEGRANT M W, DINAR A. Markets for water: potential and performance[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [4] WESCOAT JR J L, HALVORSON S J, MUSTAFA D. Water Management in the Indus basin of Pakistan: a half-century perspective[J]. International Journal of Water Resources Development, 2000, 16(3): 391-406.
- [5] CAI Ximing, MCKINNEY D C, LASDON L S. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003, 129(1): 4-17.
- [6] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [7] NULL S E, PRUDENCIO L. Climate change effects on water allocations with season dependent water rights[J]. Science of the Total Environment, 2016, 571: 943-954.
- [8] MOLINA-NAVARRO E, ANDERSEN H E, NIELSEN A, et al. Quantifying the combined effects of land use and climate changes on stream flow and nutrient loads: a modelling approach in the Odense Fjord catchment (Denmark)[J]. Science of the Total Environment, 2018, 621: 253-264.
- [9] WILLIAMS B K. Adaptive management of natural resources-framework and issues [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(5): 1346-1353.
- [10] GEBREHIWOT T, VAN DER VEEN A. Farm level adaptation to climate change: the case of farmer's in the Ethiopian highlands [J]. Environmental Management, 2013, 52(1): 29-44.
- [11] BURROWS W, DOHERTY J. Gradient-based model calibration with proxy-model assistance [J]. Journal of Hydrology, 2016, 533: 114-127.
- [12] LEMPET R J, GROVES D G. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American West [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2010, 77(6): 960-974.
- [13] VAN VLIET M T H, VAN BEEK L P H, EISNER S, et al. Multi-model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change [J]. Global Environmental Change, 2016, 40: 156-170.
- [14] PANDE S, MOAYERI M. Hydrological interpretation of a statistical measure of basin complexity [J]. Water Resources Research, 2018, 54(10): 7403-7416.
- [15] 胡继连, 葛颜祥. 黄河水资源的分配模式与协调机制: 兼论黄河水权市场的建设与管理[J]. 管理世界, 2004(8): 43-52. (HU Jilian, GE Yanxiang. The distribution model and coordination mechanism of the water resource of the Yellow River [J]. Management World, 2004(8): 43-52. (in Chinese))
- [16] 吴凤平, 葛敏. 水权第一层次初始分配模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(2): 216-219. (WU Fengping, GE Min. Initial allocation model for water right of the first hierarchy [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2005, 33(2): 216-219. (in Chinese))
- [17] 葛敏, 吴凤平. 水权第二层次初始分配模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 592-594. (GE Min, WU Fengping. Initial allocation model for water rights of the second hierarchy [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2005, 33(5): 592-594. (in Chinese))
- [18] 汪恕诚. 水权和水市场: 谈实现水资源优化配置的经济手段 [J]. 中国水利, 2000(11): 6-9. (WANG Shucheng. Water rights and water market: economic means to realize optimal allocation of water resources [J]. Water Resources in China, 2000(11): 6-9. (in Chinese))
- [19] 胡鞍钢, 王亚华. 转型期水资源配置的公共政策: 准市场和政治民主协商 [J]. 中国软科学, 2000(5): 5-11. (HU Angang, WANG Yahua. China's public policy of water resources allocation in transition: quasi-market, political and democratic consultation [J]. China Soft Science, 2000(5): 5-11. (in Chinese))
- [20] 尹明万, 张延坤, 王浩, 等. 流域水资源使用权定量分配方法初探 [J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(1): 1-5. (YIN Mingwan, ZHANG Yankun, WANG Hao, et al. Quantitative allocation method for right to use river basin water resources [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(1): 1-5. (in Chinese))
- [21] 王浩, 游进军. 中国水资源配置 30 年 [J]. 水利学报,

- 2016, 47 (3): 265-271. (WANG Hao, YOU Jinjun. Progress of water resources allocation during the past 30 years in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47 (3): 265-271. (in Chinese))
- [22] 夏军, 石卫, 雒新萍, 等. 气候变化下水资源脆弱性的适应性管理新认识 [J]. 水科学进展, 2015, 26 (2): 279-286. (XIA Jun, SHI Wei, LUO Xinping, et al. Revisions on water resources vulnerability and adaption measures under climate change [J]. Advances in Water Science, 2015, 26 (2): 279-286. (in Chinese))
- [23] 王慧敏. 落实最严格水资源管理的适应性政策选择研究 [J]. 河海大学学报 (哲学社会科学版), 2016, 18 (3): 38-43. (WANG Huimin. Research into choice of adaptive policy of the strictest water resources management [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2016, 18 (3): 38-43. (in Chinese))
- [24] 佟金萍, 王慧敏. 流域水资源适应性管理研究 [J]. 软科学, 2006, 20 (2): 59-61. (TONG Jinping, WANG Huimin. Research on water resources adaptive management in river basin [J]. Soft Science, 2006, 20 (2): 59-61. (in Chinese))
- [25] 刘定湘, 罗琳, 严婷婷. 水资源国家所有权的实现路径及推进对策 [J]. 水资源保护, 2019, 35 (3): 39-43. (LIU Dingxiang, LUO Lin, YAN Tingting. Realization routine and driving countermeasures of state ownership of water resources [J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (3): 39-43. (in Chinese))
- [26] 王金霞, 黄季焜, ROZELLE S. 激励机制、农民参与和节水效应: 黄河流域灌区水管理制度改革的实证研究 [J]. 中国软科学, 2004 (11): 8-14. (WANG Jinxia, HUANG Jikun, ROZELLE S. Incentive, participation of farmers and water savings: empirical research on the reform of water management institution in the irrigation districts of the Yellow river basin [J]. China Soft Science, 2004 (11): 8-14. (in Chinese))
- [27] 郭晖, 陈向东, 董增川, 等. 基于合同节水管理的水权交易构建方法 [J]. 水资源保护, 2019, 35 (3): 33-38. (GUO Hui, CHEN Xiangdong, DONG Zengchuan, et al. Construction method of water right trading based on water-saving management contract [J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (3): 33-38. (in Chinese))
- [28] 吴丹, 王亚华. 双控行动下流域初始水权分配的多层递阶决策模型 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27 (11): 215-224. (WU Dan, WANG Yahua. Modeling for multi-layer hierarchical decision-making of initial water rights allocation in the river basin with water resources dual control action [J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27 (11): 215-224. (in Chinese))
- [29] XEVI E, KHAN S. A multi-objective optimisation approach to water management [J]. Journal of Environmental Management, 2005, 77 (4): 269-277.
- [30] WANG Lizhong, FANG Liping, HIPEL K W. Basin-wide cooperative water resources allocation [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 190 (3): 798-817.
- [31] ZHANG Wanshun, WANG Yan, PENG Hong, et al. A coupled water quantity-quality model for water allocation analysis [J]. Water Resources Management, 2010, 24 (3): 485-511.
- [32] CONDON L E, MAXWELL R M. Implementation of a linear optimization water allocation algorithm into a fully integrated physical hydrology model [J]. Advances in Water Resources, 2013, 60: 135-147.
- [33] VAN CAMPENHOUT B, D'EXELLE B, LECOUTERE E. Equity-efficiency optimizing resource allocation: the role of time preferences in a repeated irrigation game [J]. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 2015, 77 (2): 234-253.
- [34] DADMAND F, NAJI-AZIMI Z, FARIMANI N M, et al. Sustainable allocation of water resources in water-scarcity conditions using robust fuzzy stochastic programming [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 276: 123812.
- [35] 尹云松, 孟令杰. 基于 AHP 的流域初始水权分配方法及其应用实例 [J]. 自然资源学报, 2006, 21 (4): 645-652. (YIN Yunsong, MENG Lingjie. The method of basin initial water rights allocation and its application based on AHP [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21 (4): 645-652. (in Chinese))
- [36] 佟金萍, 王慧敏, 牛文娟. 流域水权初始分配系统模型 [J]. 系统工程, 2007 (3): 105-110. (TONG Jinping, WANG Huimin, NIU Wenjuan. Initial allocation system modelling of water rights in basin [J]. Systems Engineering, 2007 (3): 105-110. (in Chinese))
- [37] 陈艳萍, 吴凤平, 吴丹. 基于模糊优选和 TOPSIS 法的流域初始水权分配模型 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2009, 37 (4): 467-471. (CHEN Yanping, WU Fengping, WU Dan. Initial water rights allocation model for basins based on fuzzy optimization and TOPSIS methods [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2009, 37 (4): 467-471. (in Chinese))
- [38] 沈菊琴, 赵盟越, 王昌盛, 等. 基于博弈论组合赋权-TOPSIS 模型的排水权分配研究 [J]. 水利经济, 2021, 39 (2): 42-49. (SHEN Juqin, ZHAO Mengyue, WANG Changsheng, et al. Allocation of water drainage right based on combined weight of game theory-TOPSIS model [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2021, 39 (2): 42-49. (in Chinese))
- [39] 王婷, 方国华, 刘羽, 等. 基于最严格水资源管理制度的初始水权分配研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (11): 1870-1875. (WANG Ting, FANG Guohua, LIU Yu, et al. Research of initial water rights allocation based on the most stringent water resources management system

- [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015,24(11):1870-1875. (in Chinese))
- [40] 张丽娜,吴凤平,张陈俊. 用水效率多情景约束下省区初始水量权差别化配置研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 122-130. (ZHANG Li'na, WU Fengping, ZHANG Chenjun. Initial water rights differentiated allocation among provinces in Taihu basin constrained by water-use efficiency in multiple scenarios [J]. China Population, Resources and Environment, 2015,25(5):122-130. (in Chinese))
- [41] 张丽娜,吴凤平. 基于 GSR 理论的省区初始水权量质耦合配置模型研究[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 461-472. (ZHANG Li'na, WU Fengping. Water quantity-quality coupled modeling for initial water rights allocation among Chinese provinces on the basis of governmental strong reciprocator theory [J]. Resources Science, 2017, 39(3):461-472. (in Chinese))
- [42] KERACHIAN R, FALLAHNIA M, BAZARGAN-LARI M R, et al. A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management: application of Rubinstein bargaining theory [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(10): 673-682.
- [43] READ L, MADANI K, INANLOO B. Optimality versus stability in water resource allocation [J]. Journal of Environmental Management, 2014, 133: 343-354.
- [44] ZENG X T, LI Y P, HUANG G H, et al. Modeling of water resources allocation and water quality management for supporting regional sustainability under uncertainty in an Arid Region[J]. Water Resources Management, 2017, 31(12): 3699-3721.
- [45] XIE Y L, HUANG G H, LI W, et al. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management in Nansihu Lake Basin, China[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 127: 188-205.
- [46] KHOSROJERDI T, MOOSAVIRAD S H, ARIAFAR S, et al. Optimal allocation of water resources using a two-stage stochastic programming method with interval and fuzzy parameters [J]. Natural Resources Research, 2019, 28(3): 1107-1124.
- [47] LIU Dehai, JI Xiaoxian, TANG Jiafu, et al. A fuzzy cooperative game theoretic approach for multinational water resource spatiotemporal allocation [J]. European Journal of Operational Research, 2020, 282(3): 1025-1037.
- [48] 王慧敏,唐润. 基于综合集成研讨厅的流域初始水权分配群决策研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(4): 42-45. (WANG Huimin, TANG Run. Group decision of initial water rights allocation in water basin based on HWMSE [J]. China Population, Resources and Environment, 2009, 19(4): 42-45. (in Chinese))
- [49] 陈艳萍,吴凤平,周晔. 流域初始水权分配中强弱势群体间的演化博弈分析[J]. 软科学, 2011, 25(7): 11-15. (CHEN Yanping, WU Fengping, ZHOU Ye. Analysis of evolutionary game between strong group and vulnerable group in initial water rights allocation [J]. Soft Science, 2011, 25(7): 11-15. (in Chinese))
- [50] 吴丹,马超. 基于水权初始配置的区域利益博弈与优化模型[J]. 人民黄河, 2018, 40(1): 40-45. (WU Dan, MA Chao. Regional benefit game and its optimal model based on the initial allocation of water rights [J]. Yellow River, 2018, 40(1): 40-45. (in Chinese))
- [51] 张慧,王晶,方德斌,等. 基于改进破产规则和验证惩罚机制的流域初始水权两阶段优化分配方法研究[J]. 长江科学院院报, 2023, 40(2): 34-43. (ZHANG Hui, WANG Jing, FANG Debin, et al. A two-stage optimal allocation model of initial water rights based on improved bankruptcy rules and verification and punishment mechanism [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2023, 40(2): 34-43. (in Chinese))
- [52] 吴凤平,吴丹,陈艳萍. 流域初始水权配置系统方案诊断模型 [J]. 系统工程, 2010, 28(4): 24-29. (WU Fengping, WU Dan, CHEN Yanping. The diagnosis model of basin initial water right allocation system theme [J]. Systems Engineering, 2010, 28(4): 24-29. (in Chinese))
- [53] 陈艳萍,吴凤平,吴丹,等. 基于和谐性诊断的初始水权配置方法[J]. 系统工程, 2011, 29(5): 68-72. (CHEN Yanping, WU Fengping, WU Dan, et al. Basin initial water rights allocation method based on harmony diagnosis [J]. Systems Engineering, 2011, 29(5): 68-72. (in Chinese))
- [54] HU Zhineng, WEI Changting, YAO Liming, et al. A multi-objective optimization model with conditional value-at-risk constraints for water allocation equality [J]. Journal of Hydrology, 2016, 542: 330-342.
- [55] SECHI G M, SULIS A. Mixed simulation-optimization technique for complex water resource system analysis under drought conditions [M]//ROSSI G, VEGA T, BONACCORSO B. Methods and Tools for Drought Analysis and Management. Dordrecht: Springer, 2007: 217-237.
- [56] TASKHIRI M S, TAN R R, CHIU A S F. Emergency-based fuzzy optimization Approach for water reuse in an eco-industrial park [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2011, 55(7): 730-737.
- [57] GALLAGHER L, LAFLAIVE X, ZAESKE A, et al. Embracing risk, uncertainty and water allocation reform when planning for Green Growth [J]. Aquatic Procedia, 2016, 6: 23-29.
- [58] ZHANG Lina, ZHANG Xiaoling, WU Fengping, et al. Basin initial water rights allocation under multiple uncertainties: a trade-off analysis [J]. Water Resources Management, 2020, 34(3): 955-988.

- section of the Yangtze River [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2021,49(4):316-321. (in Chinese))
- [24] 杨桦. 武汉市汉口江滩防洪及环境综合整治工程[J]. 中国水利,2006,(12):48. (YANG Hua. Flood control and environmental comprehensive treatment project of Hankou floodplain in Wuhan City [J]. China Water Resources,2006,(12):48. (in Chinese))
- [25] 熊海滨,孙昭华,陈立,等. 水文与岸滩变化对滨岸带南荻-芦苇群落适宜生境的影响:以长江武汉河段为例[J]. 湖泊科学,2022,34(4):1250-1261. (XIONG Haibin, SUN Zhaohua, CHEN Li, et al. Influence of hydrological and morphological changes on the habitats of *Miscanthus lutarioriparius* and *Phragmites australis* in a river flood plain: a case study of Wuhan reach of the Yangtze River [J]. Journal of Lake Sciences, 2022, 34 (4):1250-1261. (in Chinese))
- [26] MUDD S M, FAGHERAZZI S, MORRIS J T, et al. Flow, sedimentation, and biomass production on a vegetated salt marsh in South Carolina: toward a predictive model of marsh morphologic and ecologic evolution [M]// FAGHERAZZI S, MARANI M, BLUM L K. The Ecogeomorphology of Tidal Marshes. Washington: American Geophysical Union,2004,165-188.
- [27] 许秀丽,张奇,李云良,等. 鄱阳湖洲滩芦苇种群特征及其与淹水深度和地下水埋深的关系[J]. 湿地科学,2014,12(6):714-722. (XU Xiuli, ZHANG Qi, LI Yunliang, et al. Reed population features and relationships between feature indicators and flooding depth, groundwater depth in an islet in Poyang Lake [J]. Wetland Science,2014,12(6):714-722. (in Chinese))
- [28] 刘秋华,吴永波,薛建辉. 收割对芦苇生物量及氮磷储量的影响[J]. 安徽农业大学学报,2013,40(5):809-814. (LIU Qiuhua, WU Yongbo, XUE Jianhui. Effects of cutting on biomass and nitrogen and phosphorus storage of reeds [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2013, 40(5):809-814. (in Chinese))
- [29] 曹昉. 江滩湿地植物恢复的影响因子与技术研究[D]. 南京:南京师范大学,2007.
- [30] 王丹,张银龙,庞博,等. 苏州太湖湿地芦苇生物量与水深的动态特征研究[J]. 环境污染与防治,2010,32(7):49-54. (WANG Dan, ZHANG Yinlong, PANG Bo, et al. Study on dynamic characteristics between the biomass of *Phragmites communis* and water depth at Taihu wetland in Suzhou [J]. Environmental Pollution & Control, 2010, 32(7):49-54. (in Chinese))
- [31] 韩祯,王世岩,刘晓波,等. 基于淹水时长梯度的鄱阳湖优势湿地植被生态阈值[J]. 水利学报,2019,50(2):252-262. (HAN Zhen, WANG Shiyan, LIU Xiaobo, et al. Ecological thresholds for the dominated wetland plants of Poyang Lake along the gradient of flooding duration [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019, 50(2):252-262. (in Chinese))

(收稿日期:2023-02-09 编辑:施业)

(上接第 169 页)

- [59] 张玲玲,王宗志,李晓惠,等. 总量控制约束下区域用水结构调控策略及动态模拟[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(1):90-96. (ZHANG Lingling, WANG Zongzhi, LI Xiaohui, et al. Study on regional water utilization structure controlling strategy and dynamic simulation within the gross volume constraints [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(1):90-96. (in Chinese))
- [60] 吴丹,吴凤平. 基于双层优化模型的流域初始二维水权耦合配置[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(10):26-34. (WU Dan, WU Fengping. The coupling allocation of initial two-dimensional water rights in basin based on the bi-hierarchy optimal model [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(10):26-34. (in Chinese))
- [61] 吴丹,向筱茜. 基于双层诊断准则的京津冀水资源与产业结构优化适配方法[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(4):154-163. (WU Dan, XIANG Xiaqian. Optimal adaptation method of water resources and industrial structure in the Beijing-Tianjin-Hebei region based on bi-level diagnosis criteria [J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(4):154-163. (in Chinese))
- [62] 张丽娜,吴凤平,张陈俊,等. 流域水资源消耗结构与产业结构高级化适配性研究[J]. 系统工程理论与实践,2020,40(11):3009-3018. (ZHANG Li'na, WU Fengping, ZHANG Chenjun, et al. The adaptability of basin water resources consumption structure and optimization of industrial structure [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2020, 40(11):3009-3018. (in Chinese))
- [63] 刘慧,李景保,李艺璇,等. 湖南长江经济带产业结构与水资源利用耦合协调机制研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2020,43(2):1-8. (LIU Hui, LI Jingbao, LI Yixuan, et al. Study on the coupling coordination mechanism between industrial structure and water resources utilization in Hunan Yangtze River Economic Zone [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2020, 43(2):1-8. (in Chinese))

(收稿日期:2022-06-23 编辑:熊水斌)