

# Key technologies for water resources security in western Jilin under changing environment

Yongming Chen<sup>1</sup> Yang Song<sup>1</sup> Dongmei Liu<sup>1</sup> Xiaohui Zhang<sup>1</sup> Yongzhu Piao<sup>2</sup>

1. Jilin Water Conservancy Research Institute, Changchun, Jilin, 130000, China

2. Changbai Mountain Protection and Development Zone Command Center for Flood Control, Drought Relief, Early Warning and Monitoring, Yanbian, Jilin, 133613, China

## Abstract

Water is the source of life, essential for production, and the foundation of ecology. Water resource security is crucial for the sustainable development of the economy and society. Western Jilin, a key base for commodity grain production and an ecological barrier in China, plays a vital role in the national strategy for food and ecological security. However, this region is located in a semi-arid climate zone, where water resources are inherently scarce and their distribution is highly uneven. Precipitation is concentrated in summer, with significant inter-annual variations, and evaporation far exceeds precipitation. This study aims to reveal the patterns and driving mechanisms of water resource evolution in Western Jilin under changing conditions through in-depth and systematic research. It also seeks to develop targeted and practical key technologies for water resource security, providing technical support for the scientific management and rational allocation of regional water resources, thereby facilitating high-quality development in Western Jilin.

## Keywords

western Jilin; water resources security; climate change; groundwater protection; flood resource recovery

# 变化环境下吉林西部水资源安全保障关键技术

陈永明<sup>1</sup> 宋阳<sup>1</sup> 刘冬梅<sup>1</sup> 张晓辉<sup>1</sup> 朴永柱<sup>2</sup>

1. 吉林省水利科学研究院, 中国·吉林 长春 130000

2. 长白山保护开发区防汛抗旱预警监测指挥中心, 中国·吉林 延边 133613

## 摘要

水是生命之源、生产之要、生态之基, 水资源安全是经济社会可持续发展的重要保障。吉林西部作为我国重要的商品粮生产基地与生态屏障, 在国家粮食安全与生态安全战略格局中占据重要地位。然而, 该区域地处半干旱气候区, 水资源先天不足, 时空分布极不均衡, 降水集中在夏季, 且年际变化大, 蒸发量远高于降水量。本研究期望通过深入系统的研究, 揭示变化环境下吉林西部水资源演变规律与驱动机制, 研发针对性强、切实可行的水资源安全保障关键技术, 为区域水资源科学管理与合理配置提供技术支撑, 助力吉林西部实现高质量发展。

## 关键词

吉林西部; 水资源安全; 气候变化; 地下水保护; 洪水资源化

## 1 引言

近年来, 受全球气候变化和高强度人类活动的双重影响, 吉林西部水资源形势愈发严峻。一方面, 降水模式改变, 极端降水事件增多, 旱灾与洪灾交替发生, 给水资源的稳定供给带来极大挑战; 另一方面, 随着区域经济快速发展与人

口增长, 工农业用水和生活用水需求急剧增加, 水资源供需矛盾突出。因此, 开展变化环境下吉林西部水资源安全保障关键技术研究, 破解水资源瓶颈制约, 对于保障区域粮食安全、生态安全, 促进经济社会与生态环境协调可持续发展具有紧迫性与重要现实意义。

## 2 变化环境下的吉林西部技术需求

吉林西部(主要包括白城、松原地区)位于松嫩平原西南部, 是东北重要的商品粮基地和生态屏障区。该区域属温带大陆性季风气候, 多年平均降水量仅 400mm 左右, 且 70% 集中于汛期(6-9月), 蒸发强烈。近年来, 显著的气候变化表现为: 气温持续升高(近 50 年增温速率高于全国

【基金项目】吉林省重大科技专项(社发领域): 水环境保护与水资源调配技术研发与应用(项目编号: 20230303007SF)。

【作者简介】陈永明(1981-), 男, 中国江苏东台人, 硕士, 正高级工程师, 从事水利科研工作。

平均水平),降水年内及年际变率增大(旱涝事件频率与强度增加),极端高温干旱事件频发。同时,高强度农业灌溉(水田面积大)、城镇化进程加速以及能源开发(如油田)导致水资源需求持续刚性增长,供需矛盾日益尖锐。主要水问题表现为:

面对这一严峻形势,传统、粗放的水资源管理模式已难以为继。亟需突破技术瓶颈,发展精细化、智慧化、适应性强的成套技术,实现水资源的高效利用、循环再生、系统保护与风险防控,这是保障吉林西部乃至东北地区水安全、粮食安全和生态安全的科技基石<sup>[1]</sup>。

### 3 关键核心技术体系

#### 3.1 多源协同监测与智能预警技术

##### 3.1.1 高分辨率动态感知技术

遥感定量反演:应用 Sentinel-1/2、Landsat-8/9、高分系列等卫星数据,结合地面验证,实现区域实际蒸散发(ET)(基于 SEBAL、METRIC 等模型)、土壤墒情(微波与光学协同反演)、作物水分胁迫指数(CWSI)、水体面积与水质参数(叶绿素 a、悬浮物、CDOM)的时空连续监测。重点突破吉林西部典型下垫面(盐碱地、沙地、水田)的参数化方案与精度验证。

物联网(IoT)精准监测:布设低功耗、耐候性强的地下水位/水质自动监测井(监测电导率、温度、pH、硝酸盐、氨氮等关键指标)、田间墒情传感器网络(多层土壤水分、温度)、小型自动气象站(降水、风速风向、温湿度)、河道/渠道流量在线监测点(超声波、雷达测流)。应用 NB-IoT/LoRa 等低功耗广域网络实现数据实时回传。

##### 3.1.2 多源数据融合与同化技术

建立时空数据库,融合遥感、地面监测、水文气象台站、社会经济用水等多源数据。应用数据同化技术(如集合卡尔曼滤波 EnKF),将多源观测数据动态融入分布式水文模型(如 SWAT、VIC)和地下水数值模型(如 MODFLOW、FEFLOW),显著提升模型在无资料/缺资料区域的模拟精度和预报能力。

此外,基于机器学习和深度学习算法(如 LSTM、Transformer),构建干旱预警模型(融合气象干旱指数、土壤墒情、作物水分胁迫)、洪水预报模型(融合雷达定量降水估测 QPE/QPF 与水文模型)、地下水超采风险预警模型(结合开采量、水位动态、补排关系)、水质风险预警模型(识别污染来源、预测扩散趋势),同时开发可视化决策支持平台(WebGIS 架构),实现监测数据实时展示、模型模拟推演、预警信息分级发布、应急预案智能匹配,为水资源优化配置与应急调度提供量化依据。

#### 3.2 地下水系统保护与可持续利用技术

##### 3.2.1 地下水采补平衡精细化管理技术

基于高精度数值模型的开采总量与布局优化:利用更新率高的 MODFLOW-USG 或 FEFLOW 模型,精细刻画区

域水文地质结构(识别隔水层、弱透水层空间展布)和边界条件。通过情景模拟,科学划定地下水禁采区、限采区,确定不同水文年型下各含水层的可开采资源量阈值。优化机井布局(避开补给区、水质脆弱区),实施开采总量与开采强度双控。

##### 3.2.2 含水层人工补给(MAR)工程技术

对于地表水入渗型,需在适宜区域(如古河道、砂性土壤区)建设渗滤池/渠系统,利用汛期富余地表水(洪水或水库弃水)进行回补。关键技术包括:选址评估(包气带渗透性、厚度、污染物本底值)、入渗池设计(防淤堵结构、水位控制)、水质预处理(防止回补水污染含水层)。对于雨洪集蓄回灌型,应在城镇区域建设透水性铺装、下凹式绿地、雨水花园,并配套回灌井(需严格防污),将城市雨洪资源化后回补浅层地下水<sup>[2]</sup>。

##### 3.2.3 地下水污染防治与修复技术

结合水文地质条件、污染源分布(农田、畜禽养殖场、工业园区、垃圾填埋场)、地下水流动系统,运用数值模拟和 GIS 空间分析,绘制地下水污染风险分区图(如高、中、低风险区),指导监测布设和防控重点。随后对已污染但适合自然修复的区域,通过布设监测井网,持续监测污染物浓度、氧化还原电位、电子受体(DO、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、微生物群落等指标,评估自然衰减速率。必要时可注入缓释碳源(如植物油、可生物降解聚合物)或电子受体,强化土著微生物降解能力(如针对石油烃、硝酸盐污染)。最后,针对高风险点源污染(如泄漏的油罐、化工原料),因地制宜采用原位化学氧化/还原(ISCO/ISCR)、可渗透反应墙(PRB)(填充零价铁、活性炭、释氧材料等)等技术进行工程化修复。

#### 3.3 农业精准节水与水肥盐协同调控技术

##### 3.3.1 精准灌溉决策与智能控制技术

基于多源信息的作物需水(ETc)实时估算,融合气象数据(Penman-Monteith 公式)、遥感反演 ET/作物系数(Kc)、土壤墒情数据,构建田间尺度实时 ETc 估算模型,智能灌溉决策系统则以土壤水分阈值控制(基于作物生育阶段和土壤类型确定适宜下限)和 ETc 动态亏缺灌溉为核心策略,结合天气预报(尤其是降水概率),生成最优灌溉时间、灌水定额建议。系统集成于手机 APP 或田间控制器。

##### 3.3.2 高效节水灌溉工程与技术

水田全面推广水稻控制灌溉(CIRI)技术,即分蘖后期至成熟期实行湿润或间歇灌溉(保持土壤水分张力在 -15~-30kPa),替代传统淹灌。配套激光平地技术,提高田间水分分布均匀度,减少深层渗漏。推广渠系防渗(混凝土衬砌、土工膜)和管道输水。旱田(玉米等)在适宜区域推广膜下滴灌(兼具保墒、节水、增温、抑盐作用)或浅埋滴灌(减少地膜使用)。

##### 3.3.3 水肥盐一体化智能调控技术

滴灌/微喷灌水肥一体化系统能够精确控制灌溉水 EC

值和pH值,根据作物需肥规律和土壤养分监测数据,实现氮磷钾及中微量元素的精准、适时、按需供给(“少量多次”),大幅提高肥料利用率(NUE),减少淋失污染地下水。

在盐碱地水盐协同调控方面,采取深松(破犁底层)结合秸秆深埋/还田(增加入渗,改善结构,抑制盐分表聚)的措施此外,可以施用土壤调理剂(如石膏、磷石膏改良苏打盐碱土)、有机物料(腐熟农家肥、商品有机肥)、种植耐盐绿肥/先锋作物(田菁、苜蓿)及引入耐盐/嗜盐微生物菌剂,改善土壤理化生物性状,促进脱盐抑盐。基于土壤水盐监测数据,动态调整灌溉洗盐定额和频率。

### 3.4 洪水资源化与雨洪高效利用技术

#### 3.4.1 分布式雨洪集蓄利用技术

农村区域:推广屋顶集雨+水窖/蓄水池系统,配套简易过滤装置(如砂滤),用于庭院经济或抗旱点灌。在坡地建设水平沟、鱼鳞坑、小型塘坝,拦截地表径流,增加土壤入渗,补充浅层地下水或供小范围灌溉。

城镇区域:建设绿色屋顶、透水铺装、生物滞留设施(生物洼地)、雨水调蓄池/模块。收集的雨水经处理后(根据用途选择过滤、消毒等级)用于城市绿化浇灌、道路冲洗、景观补水或回补地下水。

#### 3.4.2 骨干洪水资源化工程技术

水库汛限水位动态控制:基于精细化洪水预报(预见期延长、精度提高),在确保防洪安全前提下,科学抬升汛限水位或实施汛期运行水位动态控制,增加水库蓄水量。需配套完善泄洪设施能力和风险应急预案。

河道梯级闸坝联合调度:在洮儿河、霍林河等主要河流上,优化已建闸坝(如向海、月亮泡水库)的联合调度规则。在洪水尾期,通过蓄、引、提相结合的方式,将部分洪水资源有序引蓄至沿线湖泊(如查干湖、月亮泡)、湿地、泡塘、蓄滞洪区(如利用好预留的分洪区)或地下水回灌区,实现洪水资源化与生态补水双赢。关键技术在于精准把握引洪时机、流量与水质<sup>[3]</sup>。

### 3.5 非常规水源安全利用与生态净化技术

#### 3.5.1 微咸水资源化利用技术

针对吉林西部浅层微咸水资源(矿化度2~5g/L),需系统开展水质评估与分区:通过区域水文地质调查明确其空间分布、储量和化学类型(Cl<sup>-</sup>型、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>型、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型),为分级利用提供依据。

安全灌溉技术体系的核心在于作物适配—灌溉优化—农艺调控协同:

优选葵花、甜菜、枸杞及耐盐牧草等品种,降低盐分胁迫风险;采用咸淡水轮灌(利用淡水定期淋洗根区盐分)或混灌(降低灌溉水整体盐度),并在播种、出苗、开花等关键生育期保障淡水供给;同时严格控制灌溉定额,满足淋洗需水量(Leaching Requirement, LR),避免土壤次生盐渍化;

通过增施有机肥改良土壤结构、实施套作/高畦栽培(抬升根区规避盐分富集层)、覆膜抑制蒸发积盐,形成立体控盐屏障;对规模化养殖场、特色农业园区等集中高值需求点,可探索反渗透(RO)、电渗析(ED)等低能耗淡化技术,但需同步解决浓盐水处理问题(如蒸发结晶或合规排放)。

水质分区→作物适配→灌溉优化(水盐动态调控)→农艺抑盐→经济性淡化补充,实现微咸水“安全—高效—可持续”利用。

#### 3.5.2 污水再生利用与生态净化技术

城镇污水高标准处理:采用A<sup>2</sup>O+MBR(膜生物反应器)或A<sup>2</sup>O+深度处理(混凝—沉淀—过滤—消毒)工艺,确保出水达到《城市污水再生利用》系列标准(GB/T18920-2020景观环境用水、GB/T18921-2019工业用水、GB/T19923-2005城市杂用水等),重点控制氮磷、病原微生物和新兴污染物(需强化氧化或活性炭吸附)。

人工湿地深度净化与生态补水:在污水处理厂尾水排放口或入河(湖)口,构建多级串联人工湿地系统(表面流湿地SFS+水平潜流湿地HSSF+垂流湿地VSSF)。利用“基质—微生物—植物”的协同作用,进一步去除氮磷、有机物和微量污染物。净化后的再生水用于城市河湖生态补水、湿地保育或周边农田灌溉(需满足灌溉水质标准)。吉林西部可优选耐寒、去污能力强的湿地植物(如芦苇、香蒲、茭白)。

油田采出水处理回用:针对高盐、高油、高矿化度油田采出水,采用“预处理(除油、沉降)+膜处理(超滤UF/反渗透RO)”或“热法浓缩(如MVC)”工艺,处理达标后回用于油田注水驱油或配置压裂液,实现闭路循环,减少新鲜水取用和废水排放。

## 4 结论

这些技术具有强针对性、高可操作性和显著的技术集成特征。其成功应用依赖于根据吉林西部内部差异进行模块化组合与本地化适配,并需强有力的监测网络、智慧平台、政策机制和示范推广作为支撑。通过系统实施这一技术体系,吉林西部有望在变化环境下构建更具韧性的水资源安全保障网,有力支撑区域经济社会可持续发展和生态文明建设。

### 参考文献

- [1] 王治彪.黑河流域的中小型灌区水安全保障优势与挑战[J].当代农机,2025(04):95-96.
- [2] 徐波,樊稷丰.水安全保障体系下黄河水资源节约集约利用体系构建探究[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(二).河南水文水资源局,2025:1041-1043.
- [3] 刘琦,王敬磊.基于现代水网条件下明光市供水安全保障体系研究[J].治淮,2024(12):53-54+82.