

徒骇马颊河流域不同尺度农业节水潜力

刘建刚¹ 赵 勇^{2,3} 裴源生² 谭徐明¹

(1. 中国水利水电科学研究院水利史研究所 北京 100048; 2. 中国水利水电科学研究院水资源研究所 北京 100048;
3. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室 北京 100048)

摘要: 为了研究作物、田间、灌区和流域不同尺度之间的相互转化及尺度效应问题, 针对水资源相对短缺的徒骇马颊河流域, 采用水资源合理配置模型 WACM 作为分析手段, 选择不同尺度的节水措施, 设定节水方案, 在考虑节水伴生的经济、社会、生态与环境效应的前提下, 计算分析徒骇马颊河流域的农业节水潜力。计算结果表明, 徒骇马颊河流域资源节水潜力为 7.78 亿 m^3 , 灌溉节水潜力 13.00 亿 m^3 , 作物和灌区尺度尚有一定的节水空间。

关键词: 农业节水潜力; 节水措施; 尺度效应; 水资源合理配置模型; 徒骇马颊河流域

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2012)01-0050-04

Agricultural water saving potential at different scales in Tuhaimajia River Basin// LIU Jian-gang¹, ZHAO Yong^{2,3}, PEI Yuan-sheng², TAN Xu-ming¹ (1. Water History Department of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 2. Water Resources Department of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 3. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of River Basin Water Cycle, Beijing 100048, China)

Abstract: To study the problems of transformation and scale effects of crops, fields, irrigation districts and basins, the water allocation and cycle model is employed as the technical method. By selecting water saving measures at different scales and setting several schemes of water saving, the agricultural water saving potential in Tuhaimajia River Basin is calculated and analyzed considering economic, social, ecological and environmental effects. The results show that the water saving potential of resources in Tuhaimajia River Basin is 0.778 billion m^3 , and that of irrigation is 1.300 billion m^3 , respectively. The scales of the crops and irrigation districts still have certain water saving potentials.

Key words: agricultural water saving potential; water saving measure; scale effect; water allocation and cycle model; Tuhaimajia River Basin

不同尺度的农业节水潜力研究, 需要综合不同尺度的农业节水措施, 挖掘适合流域发展的最大节水能力。随着计算机和分布式水文模型的发展, 不同尺度农业节水潜力的研究成为国内外研究的热点, 但依然存在以下问题: ①研究主要集中在流域的某一尺度, 较少涉及尺度转化的问题。如郭相平等^[1]对渠道工程节水潜力和田间节水潜力进行了分析, 孙忠等^[2]分析了采用部分工程节水措施的松辽流域的农业节水潜力。②目前国内开展的不同尺度节水潜力的研究主要集中在湿润区, 对半湿润区和干旱区等地区研究较少。如茆智等^[3-8]计算分析了南方水稻灌区的节水潜力, 研究的尺度包括田间和灌区尺度。③当前对农业节水潜力的研究多侧重于单项节水技术的节水效果研究, 没有考虑各种节水技术的相

互影响, 以及节水对研究流域内部和周边生态环境的影响。如根据渠道衬砌、喷灌、滴灌等节水措施在某一尺度的实施效果简单估算其在某一流域的节水潜力。因此, 开展农业节水潜力的研究, 应该根据水量平衡原理, 采取不同尺度的节水措施, 在考虑节水伴生的经济、社会、生态与环境效应的前提下, 借助科学的计算和模拟手段得到流域最佳节水潜力。

1 不同尺度农业节水潜力计算框架

针对目前国内农业节水潜力研究的现状和存在的问题, 本文提出不同尺度农业节水潜力的计算框架如图 1 所示。不同的尺度采取的节水措施不同, 如调亏灌溉适合于作物尺度, 喷灌和滴灌适合于田间尺度, 渠道衬砌和种植结构调整适合于灌区尺

度 因此 ,不同尺度农业节水潜力计算 ,首先要根据研究区的试验效果情况评价和选择每个尺度适合的节水措施 ,设定每种措施推广实施的比例 ,组成不同尺度可能的节水方案 ,对设定的方案进行经济、社会、生态与环境需水量预测 ,然后进行广义水资源合理配置 ,模拟水循环转化过程 ,研究流域农业节水措施实施引起的水循环转化和耗用水变化规律 ,分析灌溉节水和资源节水两种不同统计口径的节水能力及其产生的经济、社会、生态、环境响应 ,如果不满足调控要求(调控要求为经济可行、社会认可和生态环境良好) ,则需重新设定方案 ,直到满足调控目标为止。通过对不同节水措施的节水效应进行综合评价 ,得到保障流域经济合理、技术可行、生态环境健康、水资源高效利用的农业节水潜力。

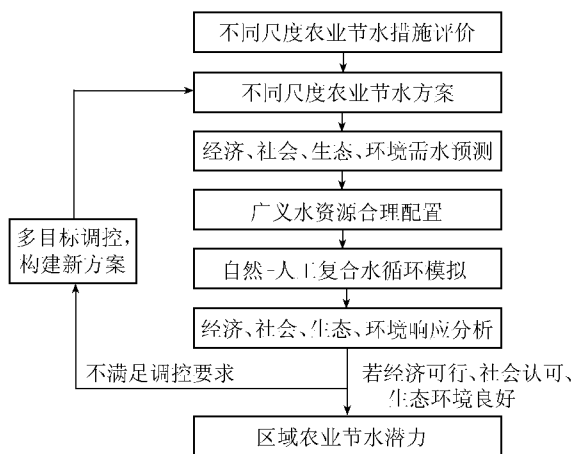


图1 区域农业节水潜力计算框架

灌溉节水 ,是指通过采取多种节水措施 ,与未采取节水措施前相比 ,部门所需取水量的减少量 ,这种减少量包括减少的蒸发蒸腾量、渗漏损失量以及回归水量等 ,资源节水 ,考虑水的资源特性 ,以蒸发蒸腾消耗水量的减少作为其节约量。经济合理指的是采取的节水措施在技术本身的成本来说能够为农民接受 ,技术可行指采用的技术简便易行 ,便于实际操作 ,生态环境健康是指采取节水措施后 ,流域的生态环境保持在一个良好的状态 ,不至于发生恶化。

2 不同尺度农业节水潜力计算模型——水资源合理配置模型

根据研究的需要 ,采用水资源合理配置模型——WACM(water allocation and cycle model)计算徒骇马颊河流域的农业节水潜力。WACM^[9-11]开发的主要目的是研究人类活动频繁地区水的分配与循环转化规律 ,及其伴生的物质、能量过程 ,为流域农业节水等方面的研究提供模拟分析手段。农业节水措施的实施 ,必然会重塑水循环过程 ,影响水资源在各个部门之间的重新分配。为保障节水不对作物产量和

周边生态环境产生负面影响 ,因此在 WACM 水资源合理分配模拟、自然-人工复合水循环模拟和水环境模拟的基础上 ,增加植被生长模拟和土壤侵蚀模拟的功能和模块 ,可以更好地揭示农业节水对“降水-作物水-地表水-土壤水-地下水”五水之间的循环转换规律的影响 ,同时清晰地展现节水条件下“降水-地表水-土壤水-地下水-植被-侵蚀”之间的相互关系。

水资源分配模块主要模拟大空间和长时段的水资源供、用、耗、排情况 ,可以为小空间和短时段的自然-人工复合水循环模拟模块提供农业耕作、实施灌溉和生活、工业的水量分配情况 ;反过来 ,水循环模拟可以为水资源分配模拟提供耗用水的时空统计、水资源均衡分析和地下水的动态变化过程信息。水资源分配模拟和自然-人工复合水循环模拟之间的相互转化可以实现不同尺度之间的信息转化 ,同时水循环模块可以与植被生长模块、水环境模块和土壤侵蚀模块实现有机耦合 ,能够模拟节水对作物和植被生长过程中干物质质量和作物产量的变化情况 ,氮、磷等营养元素的产生和运移过程 ,以及土壤风蚀和水蚀的影响情况。

植被生长模块 ,是以温光作用为基础的通用植被模拟模型 ,考虑水分胁迫对植被生理过程的影响 ,对氮、磷、病虫害等营养和生物作用进行了简化处理 ,可以模拟作物如粮食作物和经济作物和植被如林、草等的干物质质量和作物产量变化情况。

土壤侵蚀模块 ,是基于过程的、连续的、以日为时间尺度的分布式土壤风蚀模拟模型 ,可以模拟气象变化、人工供水和农业耕作等影响下的区域土壤风蚀事件。

3 徒骇马颊河流域农业节水潜力

3.1 徒骇马颊河流域概况

徒骇马颊河流域位于海河流域的南部 ,东临渤海 ,西倚太行 ,南界黄河 ,属黄河冲积平原 ,地势平坦 ,土层深厚 ,坡度平缓 ,自西南向东北逐渐倾斜 ,岗、坡、洼相间分布。行政区划包括德州市、聊城市、滨州市的绝大部分 ,济南市、东营市、邯郸市、安阳市和濮阳市的小部分 ,流域主要作物和植被包括小麦、玉米、棉花、谷子、水稻、花生、高粱、油菜、大豆、果树、瓜菜、林、草等。徒骇马颊河流域水资源匮乏 ,多年平均降水量约为 557.5 mm ,水资源总量为 37.15 亿 m^3 ,以占全国 0.13% 的水资源量养育占全国 1.2% 的人口 ,水资源处于过度开发利用和不恰当供给状态 ,严重影响到经济的可持续发展和水资源的可持续利用。

3.2 节水潜力方案设定

进行流域农业节水潜力的分析主要是基于以下

3 方面的原因 :①从作物生理、田间和灌区尺度等中小尺度考虑农业节水主要关注的是农业和作物本身 ,由于采取作物、田间和灌区农业节水措施后 ,在减少作物耗用水量的同时 ,也必然影响灌区内部及其周边的自然生态环境系统耗用水量 ,因此流域节水潜力需要考虑对生态环境的影响 ;②由于灌区之间水的重复利用影响 ,从单个灌区尺度上看 ,采取节水措施能够节约耗用水量 ,同时也会影响其他灌区的水资源利用与消耗 ,从流域尺度对节水潜力进行分析可以消除灌区与灌区之间水的重复利用导致的局部地区节水潜力的叠加大于整个流域节水潜力的问题 ;③不同尺度的多个措施之间存在着节水效果的叠加效应 ,单个措施的节水潜力会影响到其他措施的节水效果 ,因此 ,从全流域角度评价不同措施的节水效果 ,可以消除多个措施简单叠加导致的节水潜力评价误差。

为了定量评价徒骇马颊河流域的节水潜力 ,对各种节水措施的试验效果^[12-25]进行了调查分析 ,结果表明 ,作物生理措施可节水约 70 mm ,田间薄膜覆盖和秸秆覆盖技术可节水约 40 mm ,畦灌可节水约 20 mm ,喷微灌可节水约 70 mm。选择作物(生理节水技术)田间(薄膜覆盖、秸秆覆盖、畦灌及果树和蔬菜的喷微灌技术)和灌区(渠系衬砌 ,减少高耗水作物小麦和水稻的种植面积 ,调整为玉米和经济作物)尺度的农业节水措施和每种措施的实施比例 ,设定了如表 1 所示的 5 种农业节水方案 ,以此来计算分析徒骇马颊河流域的农业节水潜力。其中 ,方案 1 是节水措施实施比例最小的组合 ,可计算得到徒骇马颊河流域最小的农业节水量 ,方案 5 是节水措施实施比例最大的

表 1 徒骇马颊河流域农业节水潜力方案

方案	作物节水 (小麦调亏灌溉)/%	田间薄膜和 秸秆覆盖/%		微灌/%		渠系水 利用系数 增加值	种植结构 调整/%	
		小麦秸秆 覆盖玉米	棉花地 膜覆盖	蔬菜 瓜类	果树		小麦 减少	水稻 减少
方案 1	20	80	40	40	30	0.03	5	50
方案 2	20	80	60	60	50	0.09	5	50
方案 3	40	80	80	40	50	0.06	10	50
方案 4	60	100	60	60	70	0.09	10	80
方案 5	80	100	80	80	50	0.12	15	80

表 3 徒骇马颊河流域农业节水综合方案合理性评价

方案	经济合理性	技术可行性	社会接受程度	生态环境健康
方案 1	合理	可行	接受	良好
方案 2	合理	可行	接受	良好
方案 3	合理	小麦调亏灌溉达到 40% 较难	棉花地膜覆盖 80% 社会较难接受	良好
方案 4	合理	调亏灌溉实施 60% 不太可行	玉米 100% 秸秆覆盖、果树 70% 喷微灌较难接受	良好 ,但对流域土壤风蚀稍有影响
方案 5	大幅提高渠系水利用系数 经济上不太合理	调亏灌溉实施 80% 不可行	玉米覆盖 100%、棉花地膜覆盖 80% 社会难接受	良好 ,但对流域土壤风蚀稍有影响

组合 ,可得到最大的农业节水量 ,其他 3 个方案是节水措施实施比例介于两者之间的组合。

3.3 不同方案下的徒骇马颊河流域农业节水潜力

使用 WACM 计算了徒骇马颊河流域 5 种节水方案下的农业节水潜力 ,并对每种节水方案的合理性进行评价 ,最终得到流域最佳农业节水潜力。

a. 不同方案节水量。根据设定的方案 ,将流域灌溉水资源利用与消耗量与现状情况进行对比分析 ,通过 WACM 计算得到不同方案下的流域尺度农业灌溉节水量和资源节水量(表 2)。方案 1 的灌溉节水量为 9.05 亿 m³ ,资源节水量为 6.50 亿 m³ ;方案 5 的灌溉节水量为 24.22 亿 m³ ,资源节水量为 17.29 亿 m³ ,其他方案介于二者之间。

表 2 不同方案下流域尺度农业灌溉

方案	节水量和资源节水量		亿 m ³
	灌溉节水量	资源节水量	
方案 1	9.05	6.50	
方案 2	13.00	7.88	
方案 3	15.41	10.13	
方案 4	18.50	13.17	
方案 5	24.22	17.29	

b. 不同方案合理性评价。为选择流域适宜的农业节水方案 ,从经济、技术、社会和生态 4 个方面对各个方案的可行性进行评价 ,详细评价结果如表 3 所示。方案 1 和方案 2 由于各种措施实施的比例较小 ,在经济、技术、社会和生态 4 个方面都是可行的 ,方案 3 由于小麦调亏灌溉技术主要适应于井灌区 ,实施面积达到 40% 比较困难 ,同时棉花地膜覆盖面积超过 80% 由于成本较高社会也较难接受 ,方案 4 除面临技术和社会接受问题外 ,流域土壤风蚀模数(1.231 kg/(m²·a))相对现状(1.217 kg/(m²·a))也有较大增加 ,方案 5 除了存在技术、社会和生态问题之外 ,大幅度提高渠系水利用效率在经济上不可行。因此 ,认为方案 2 是流域最佳节水潜力方案 ,该方案下徒骇马颊河流域灌溉节水潜力为 13.00 亿 m³ ,资源节水潜力为 7.88 亿 m³。

c. 推荐方案下不同尺度的农业节水潜力分析。

流域尺度的节水潜力是中小尺度节水潜力的综合体现,表4给出了最佳节水潜力方案2下的作物尺度、田间尺度、灌区尺度和流域尺度4个不同尺度的农业灌溉节水与资源节水的定量关系。从不同尺度灌溉节水与资源节水之间的关系来看,田间资源节水潜力已经基本接近田间的灌溉节水潜力,采用夏玉米覆盖、棉花地膜覆盖以及大豆、油菜、高粱等其他作物的畦灌可挖掘的节水潜力已不大,作物和灌区尺度的灌溉和资源节水潜力还有一定的发展空间,说明可以继续提高作物生理节水措施的比例,在保证流域粮食安全的情况下加大种植结构调整的力度和通过渠道衬砌继续提高灌溉水利用系数。

表4 方案3下不同尺度的农业节水潜力 亿 m³

尺度	灌溉节水量	资源节水量
作物	3.50	2.30
田间	4.70	4.40
灌区	7.37	3.76
流域	13.00	7.88

4 结 论

- a. 小麦调亏灌溉,夏玉米秸秆覆盖,棉花地膜沟灌,油菜、大豆、高粱、谷子、花生等沟畦灌溉,蔬菜、瓜类、果树喷微灌,渠系衬砌,种植结构调整是比较适合在徒骇马颊河流域实施的农业节水措施。
- b. 从经济、技术、社会和生态4个方面对各综合方案的可行性进行了评价,方案2是可行的节水方案。
- c. 通过WACM计算得到徒骇马颊河流域灌溉节水潜力为13.00亿 m³,资源节水潜力为7.88亿 m³。
- d. 渠系衬砌和种植结构调整等灌区尺度农业节水措施依然是今后流域农业节水发展的主要趋势。

参考文献:

[1] 郭相平,张展羽.节水农业的潜力在哪里?[J].中国农村水利水电,2001(10):25-30.

[2] 孙忠,高铁红,贾长青.松辽流域节水潜力分析[J].东北水利水电,2008,26(1):31-33.

[3] 茆智.发展节水灌溉应注意的几个原则性技术问题[J].中国农村水利水电,2003(3):19-23.

[4] 董斌,崔远来,李远华.水稻灌区节水灌溉的尺度效应[J].水科学进展,2005,16(6):833-839.

[5] 谢先红,崔远来,代俊峰,等.农业节水灌溉尺度分析方

法研究进展[J].水利学报,2007,38(8):953-960.

[6] 代俊峰,崔远来,蔡学良,等.以灌区小流域为单元进行节水和非点源污染管理的探讨[J].土壤,2007,39(3):354-359.

[7] 茆智.节水潜力分析要考虑尺度效应[J].中国水利,2005(15):14-15.

[8] 李远华.节水的关键是提高水分生产率[J].中国水利,2005(15):16-17.

[9] 裴源生,张金萍.平原区复合水循环转化机理研究[J].灌溉排水学报,2006,25(6):23-26.

[10] 赵勇.广义水资源合理配置研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2006.

[11] 刘建刚.不同尺度农业节水潜力研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2009.

[12] 彭世彰,徐俊增,丁加丽,等.节水灌溉与控制排水理论及其农田生态效应研究[J].水利学报,2007(增刊1):504-510.

[13] 哈斌,田学林.建设节水型灌区农业节水关键技术支撑的应用[J].农业科学研究,2007,28(4):61-63.

[14] 王会肖,蔡燕,刘昌明,等.生物节水及其研究的若干方面[J].节水灌溉,2007(6):32-36.

[15] 王康,沈荣开,黄介生.地膜覆盖条件下冬小麦耗水量计算及田间试验研究[J].水利学报,2000,31(10):87-92.

[16] 张洁,吕军杰,王育红,等.豫西旱地不同覆盖方式对冬小麦生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):94-97.

[17] 蔡甲冰,蔡林根,刘钰,等.在有限供水条件下的农作物种植结构优化:簸箕李引黄灌区农作物需、配水初探[J].节水灌溉,2005(1):20-22.

[18] 高明杰,罗其友.水资源约束地区种植结构优化研究:以华北地区为例[J].自然资源学报,2008,23(2):204-210.

[19] 刘洪禄,车建明.北京市农业节水与作物种植结构调整[J].中国农村水利水电,2005(11):10-12.

[20] 周宪龙.北京地区种植业水资源优化利用研究[D].北京:中国农业大学,2005.

[21] 张喜英,裴冬,由懋正.太行山前平原农田高效用水模式研究[J].生态农业研究,1999,7(3):22-26.

[22] 张喜英,裴冬,胡春胜.太行山山前平原冬小麦和夏玉米灌溉指标研究[J].农业工程学报,2002,18(6):36-41.

[23] 张进旗,乔光建.河北省不同行业节水潜力和节水效益分析[J].水利经济,2010,28(6):15-19.

[24] 马静,乔光建.河北省农业灌溉工程节水技术实用性研究[J].水利经济,2009,27(6):60-61.

[25] 何淑媛,方国华.农业节水综合效益评价模型研究[J].水利经济,2008,26(3):62-66.

(收稿日期:2011-05-19 编辑:熊水斌)