

Emergency Water Diversion Based on Drought Forecasting

Weizhou Xing

Handan Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Handan Hebei
Email: xingweizhou@126.com

Received: Oct. 3rd, 2017; accepted: Oct. 12th, 2017; published: Oct. 20th, 2017

Abstract

For severe water shortage areas, it is necessary for regional water transfer to be restricted by underground water pressure during the severe drought season. In view of the low water resources, the optional water source limitation and the relative increase of water transfer cost, the water transfer time must be accurately controlled in order to maximize the limited water resources. In agricultural irrigation, a mathematical model is established based on the soil moisture monitoring data, crop growth, dry time prediction of crop, and the emergency water diversion water canal characteristics. The point implementation of precision irrigation is used to minimize water loss and maximize water diversion irrigation efficiency.

Keywords

Soil Moisture Monitoring, Soil Moisture Content, Irrigation, Water Transfer Model

基于旱情预报条件下的应急调水研究

邢威洲

河北省邯郸水文水资源勘测局, 河北 邯郸
Email: xingweizhou@126.com

收稿日期: 2017年10月3日; 录用日期: 2017年10月12日; 发布日期: 2017年10月20日

摘要

对于水资源严重匮乏的地区, 遇到旱情较严重的枯水季节, 受地下水压采限制, 区域性调水成为必然。针对枯水期水量少, 可选择的水源限制, 调水成本相对增加, 为使有限的水资源发挥最大效益, 必须准确把握调水时机。在农业灌溉期, 通过农作物的生长特性、土壤墒情监测数据, 预测农作物的缺水时限, 结合输水河渠的特

作者简介: 邢威洲(1963-), 河北威县人, 大学本科, 正高级工程师, 从事水文水环境方面研究。

性建立应急调水数学模型, 实现点对点精准灌溉, 最大限度减少输水损失, 保证调水灌溉效率最大化。

关键词

土壤墒情监测, 含水量, 灌溉, 调水模型

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

邯郸市位于河北省南部, 晋冀鲁豫的四省交界处, 面积 1.2 万 km², 人口 896.4 万。以煤炭、冶金、建材、电力、陶瓷、医药和化工为主要产业, 农作物以小麦、玉米、棉花、大豆等为主, 是全省粮、棉、油的重要产区。自 70 年代后期, 降水逐渐减少、部分河流干涸, 地下水超采严重, 地下水位持续下降, 形成了大小不同的漏斗区, 且范围逐渐扩大, 区域水生态环境持续恶化。近些年经济与社会的快速发展, 需水量也随之增加, 缺水现象日趋严重。2006 年 10 月“中共邯郸市委、邯郸市人民政府关于邯郸生态水网工程建设的实施意见”的出台, 拉开了邯郸市兴建生态水网建设工程的序幕。目前水网工程建设已经完成, 通过对民有渠、滏阳河、东风渠、卫河四大工程体系进行疏通、整修, 在河渠上维修或新建必要的拦蓄工程, 实现灌渠与排渠的联合调度。利用长达 1200 km 的四大河渠工程体系, 充分利用境内外八大可供水源为东部 13 个平原县进行长距离、大范围输水, 提供生态用水和农业用水, 构建“纵横交织、河渠畅通、节节拦蓄、余缺互补”的东部平原水网, 补充地下水, 涵养水源, 改善农业用水条件和生态环境。

在正常年份, 通过水网系统可向东部平原 13 个县提供水源 2~4 亿 m³, 可满足工农业和生态用水的需要。遇到枯水年, 水源紧缺, 调水成本增加, 河湖蓄水稀少, 无法满足工农业用水需求。为使有限的水资源发挥最大效益, 必须精准调水时机。目前国内外对于调水研究成果大都集中在大中型调水工程中, 主要技术成果集中在对调水工程模型的研究; 对自然生态与环境影响研究; 对生态与环境影响预测评估的研究。对于区域性调水工程的研究很少, 特别是短距离点对点的精准输水规律研究甚少, 存在空白点。本文通过土壤墒情监测数据, 对农作物的需水进行预报, 在旱情严重时及时选择供水水源, 精准实现点对点输水灌溉, 最大限度减少输水损失, 保证调水灌溉效率最大化。

2. 土壤墒情监测与预报

墒情监测是农田用水和区域水资源管理的一项基础工作, 对于农田灌溉的合理实施和提高水资源的利用率等有重要作用。墒情预报主要是田间含水率的预报。

2.1. 墒情监测站网

邯郸水文水资源勘测局于 2002 年 9 月开始墒情监测, 全市共设有 18 处墒情监测站。表 1 为邯郸市墒情监测站网统计表。

2.2. 墒情监测要素

气象条件、土壤的物理特性及土壤水分状态、浅层地下水、作物种类及生长发育状况是墒情和旱情监测的四大要素[1]。

Table 1. Statistical table of soil moisture monitoring station network in Handan city
表 1. 邯郸市墒情监测站网统计表

序号	名称	监测地块位置	土壤类型	田间持水率(%)	干容重(g/cm ³)
1	曲周	曲周县城关镇陈庄村西南 500 m	粘土	40.0	1.4
2	小寨	鸡泽县小寨镇小寨村北 100 m	砂土	34.0	1.4
3	魏县	魏县城关镇气象局西 50 m	壤土	36.3	1.4
4	蔡小庄	魏县蔡小庄水文站南 700 m	壤土	34.5	1.5
5	平固店	广平县平固店镇平固店中学南 30 m	壤土	37.7	1.4
6	魏僧寨	馆陶县魏僧寨镇魏增寨村东 300 m	壤土	35.0	1.4
7	辛安镇	肥乡县辛安镇乡辛安镇村北 1500 m	壤土	38.3	1.4
8	何横城	成安县商城镇何横城村北 100 m	壤土	35.0	1.3
9	龙王庙	大名县龙王庙镇龙王庙村东 300 m	壤土	42.3	1.4
10	杨桥	大名县杨桥镇杨桥村西 300 m	粘土	45.5	1.4
11	临漳	成安县辛义乡徐村村南 500 m	壤土	37.2	1.4
12	刘家庄	涉县石门乡新桥村南 500 m	壤土	40.9	1.4
13	匡门口	涉县西达镇林旺村东 200 m	壤土	37.0	1.4
14	观台	磁县观台水文站北 60 m	壤土	36.8	1.4
15	大马堡	邱县邱城镇大马堡村北 500 m	壤土	35.0	1.4
16	徘徊	武安市徘徊镇徘徊村东 200 m	壤土	33.0	1.3
17	张庄桥	邯郸市马庄乡张庄桥村东南 500 m	壤土	45.0	1.5
18	临洺关	永年县临洺关水文站西 2000 m	壤土	34.3	1.4

(1) 气象要素。降水量、气温、气压、湿度、风速、水面蒸发量、地温、日照为主要气象观测要素。

把历年的日降水量、日平均气温、最高气温、最低气温、日平均湿度、日最高、最低相对湿度、日平均气压、日平均地温、最高地温、最低地温、日平均风速、日水面蒸发量、日照时数等数据收集整理。除收集气象资料外，墒情监测站点还要时时关注气象部门的对未来天气趋势预报，进一步掌控墒未来天气变化趋势。

(2) 作物生长发育状况及墒情要素。收集国家和地方的墒情监测站点代表区域的作物种植情况，即作物的分布情况、作物的种类及各种作物的所占比重。收集不同作物、不同生长期的适宜土壤含水量资料，其数值一般以土壤相对湿度来表示。收集不同作物不同生长期脱墒(缺水)和受旱的临界含水量资料，记录脱墒和受旱开始的日期、受旱的天数、代表区域干旱程度及干旱的分布情况。记录作物的播种日期、作物生长发育期，观察作物的生长发育状况，同时观测土壤含水量。

记录代表性地块的作物的水分状态，用涝、渍、正常、缺水、受旱等分级表示作物的缺水程度。旱地田间积水时间超过 24 h 为涝、地下水面达及土壤表层为渍、土壤含水量小于适宜土壤含水量时为缺水、土壤含水量小于凋萎含水量时为受旱。

(3) 土壤的物理特性及土壤含水量。土壤的物理特性由土壤的质地、土壤的结构、土壤的比重、土壤干容重、土壤孔隙度来表达。土壤水分常数是土壤水分特性的重要指标，主要有饱和含水量、田间持水量、凋萎含水量及作物不同生长期适宜的含水量。土壤含水量是墒情和旱情监测的主要指标，土壤水分状态可由重量含水量、体积含水量、土层中的蓄水量和土壤相对湿度四个指标来表达。

2.3. 墒情预报模型

根据该区现有资料情况以及观测方法,采用消退系数法[2]。

消退系数法是根据土壤水垂向变化规律,用水文预报的方法推求逐日土壤消退系数来预测土壤含水量的变化。表层土壤含水量与降水、灌溉、径流、下渗、蒸发等因素关联。概述一次降水过程,降水量为 P ,产流量为 R ,初损水量为 I ,则三者关系为:

$$R = P - I \quad (1)$$

在降雨初损历时中,表层土壤与地面的水量平衡关系为:

$$I = I_m - P_a \quad (2)$$

式中: I_m 为流域中的最大亏损,在一定的区域视为固定值; P_a 为前期影响雨量。

影响损失的最主要因素是前期影响雨量,当 $t_i = 1$ 天,且前后两日晴天无雨时,用下式计算:

$$P_{a,t+1} = K \times P_{a,t} \quad (3)$$

如果 t 日有降雨但未产流,则

$$P_{a,t+1} = K \times (P_{a,t} + P_t) \quad (4)$$

式中: P_a 为前期影响雨量; P_t 为前期降雨量; K 为土壤含水量的日消退系数; t_i 为对应于 P_t 的前期降雨距本次降雨的时间; $P_{a,t}, P_{a,t+1}$ 分别为 t 日和 t 日后一日的后期影响雨量; P_t 为 t 时刻降水量, mm。当 $P_{a,t} + P_t \geq I_m$ 时,以 I_m 值作为 P_a 的上限值计算。

根据灌溉及农作物根系分布特征,重点研究深度为敏感层(0~0.2 m)和根系发育层(0~0.5 m)。依照上述降雨径流预报方法,把表示根系发育层土壤水分的量化指标称为墒情指标,则墒情指标计算公式可表示为:

$$\theta_{a,t+1} = K_t (\theta_{a,t} + P_t + q_t) \quad (5)$$

式中: $\theta_{a,t+1}, \theta_{a,t}$ 表示为 $(t+1)$ 日和 t 日墒情指数, mm; P_t 为第 t 日的降水量(雨量较小不产流的情况下); q_t 为第 t 日的灌水量, mm; K_t 为第 t 日的土壤水分消退系数。

根据河北省实验站的实验资料,结合邯郸市墒情监测资料,分别建立了山前平原区和黑龙港平原区相应月份不同深度土壤消退系数,成果列于表 2 和表 3 中。

2.4. 土壤墒情预报方法

(1) 土壤含水量计算[3]

田间持水量的野外测定法可在长期降水和饱和灌溉后,用地膜或秸秆及土壤覆盖测验地块的表面以防土壤蒸发,用称重烘干法测出其重量含水量和体积含水量。

凋萎含水量的野外观测可在作物发生凋萎的情况发生时去施测。也可以在实验室通过种植实验来测定,即在不大的容器中种植作物,待其根系完全发育时,让其自然消耗土壤中的水分,当叶片发生枯萎时测其土壤含水量。

各种作物的适宜土壤含水量应对不同作物不同生育期进行实验研究来确定,可选用已有的研究成果作为监测点的适宜土壤含水量,以指导灌区科学的用水灌溉。

饱和土壤含水量计算公式为:

$$W_b = \frac{A - W}{W - W_{环}} \times 100\% \quad (6)$$

毛管持水量计算公式为:

Table 2. Calculated soil regression coefficients at Heilonggang plain
表 2. 黑龙江平原区土壤日消退系数计算成果表

月份	不同深度土壤消退系数												垂线平均
	10 cm			20 cm			50 cm			80 cm			
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
3	0.983	0.982	0.975	0.988	0.984	0.980	0.993	0.989	0.985	0.998	0.994	0.990	0.987
4	0.968	0.961	0.959	0.976	0.971	0.969	0.981	0.977	0.976	0.986	0.983	0.982	0.974
5	0.957	0.955	0.957	0.967	0.964	0.965	0.975	0.975	0.974	0.980	0.979	0.979	0.969
6	0.959	0.960	0.960	0.967	0.968	0.967	0.973	0.972	0.972	0.979	0.979	0.978	0.970
7	0.959	0.959	0.961	0.966	0.965	0.967	0.973	0.973	0.973	0.977	0.977	0.977	0.969
8	0.963	0.966	0.968	0.968	0.969	0.972	0.974	0.974	0.976	0.978	0.979	0.980	0.972
9	0.970	0.972	0.973	0.974	0.977	0.977	0.977	0.980	0.981	0.982	0.983	0.984	0.978
10	0.974	0.975	0.979	0.978	0.978	0.982	0.982	0.982	0.985	0.985	0.985	0.987	0.981
11	0.983	0.987	0.990	0.985	0.989	0.993	0.988	0.990	0.993	0.989	0.991	0.993	0.989

Table 3. Calculated soil regression coefficients at Piedmont plain
表 3. 山前平原区土壤消退系数计算成果表

月份	不同深度土壤消退系数												垂线平均
	10 cm			20 cm			50 cm			80 cm			
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
3月	0.985	0.980	0.974	0.985	0.982	0.979	0.985	0.986	0.987	0.988	0.989	0.990	0.984
4月	0.970	0.963	0.960	0.976	0.973	0.970	0.988	0.988	0.987	0.991	0.990	0.987	0.979
5月	0.957	0.954	0.955	0.967	0.964	0.966	0.986	0.985	0.984	0.987	0.990	0.988	0.974
6月	0.957	0.958	0.961	0.967	0.969	0.970	0.983	0.983	0.984	0.986	0.986	0.987	0.974
7月	0.964	0.966	0.966	0.971	0.971	0.972	0.985	0.986	0.987	0.988	0.989	0.990	0.978
8月	0.967	0.968	0.971	0.973	0.975	0.977	0.988	0.990	0.990	0.992	0.993	0.992	0.981
9月	0.974	0.978	0.977	0.978	0.980	0.980	0.991	0.991	0.990	0.991	0.991	0.990	0.984
10月	0.975	0.974	0.977	0.980	0.980	0.982	0.989	0.989	0.990	0.989	0.989	0.990	0.984
11月	0.980	0.984	0.986	0.984	0.987	0.989	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.988

$$W_m = \frac{B - W}{W - W_{环}} \times 100\% \tag{7}$$

田间持水量计算公式为：

$$W_t = \frac{C - W}{W - W_{环}} \times 100\% \tag{8}$$

式中：A 为浸润 12 h 后环刀 + 湿土重，g；B 为在干砂上放置 12 h 后环刀 + 湿土重，g；C 为在干砂上放置 24 h 以上后环刀 + 湿土重，g；W 为环刀和干土总重，g；W_环 为环刀重，g。

最佳含水量下限% = 田间持水量(%) × 0.7；排水能力 = 最大持水量 - 最小持水量(田间持水量)。

(2) 不同土壤类型的水分常数

各种作物的土壤含水量下限值用土壤相对湿度表示，可取用已有的研究成果。当土壤相对湿度低于下限值时应给予灌溉，当无灌溉时可判断作物缺水，开始出现旱情，影响作物的正常生长。表 4 为各类土壤水分常数和容量，依次判断作物是否缺水。

(3) 主要农作物适宜土壤含水量

根据邯郸地区农业种植结构，主要以种植冬小麦 - 夏玉米两熟农作物为主，一季作物以种植棉花为主。不同农作物在不同生长期的适宜土壤含水量见表 5。

Table 4. Soil moisture constants and bulk density

表 4. 各类土壤水分常数和容重

土壤类型	容重(g/cm ³)	重量含水量(%)		体积含水量(%)	
		田间持水量	凋萎含水量	田间持水量	凋萎含水量
砂土	1.60	5.0	2.0	8.0	3.2
壤砂土	1.55	8.0	4.0	12.4	6.2
砂壤土	1.50	14	5.0	21.0	7.5
壤土	1.40	18	8.0	25.2	11.2
粘壤土	1.30	30	22	39.0	28.6
粘土	1.20	40	30	48.0	36.0

Table 5. Soil water content suitable for main crops

表 5. 主要作物适宜土壤含水量范围

冬小麦	生育期	播种期	幼苗期	返青期	拔节孕穗期	抽穗扬花期	成熟期
	土层深度(cm)	0~20	0~20	0~40	0~80	0~80	0~80
	土壤含水量(%)	70~80	65~85	60~80	65~85	60~80	65~80
夏玉米	生育期	播种期	苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期
	土层深度(cm)	0~20	0~40	0~50	0~60	0~80	0~80
	土壤含水量(%)	75~85	65~80	70~90	65~90	65~85	60~70
棉花	生育期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期		
	土层深度(cm)	0~20	0~40	0~60	0~60		
	土壤含水量(%)	55~60	60~70	70~80	55~70		
夏大豆	生育期	播种~分枝	分枝~始花	始花~结荚	结荚~鼓粒	鼓粒~成熟	
	土层深度(cm)	0~20	0~40	0~60	0~60	0~60	
	土壤含水量(%)	65~75	70~80	75~85	70~80	70~80	
夏花生	生育期	播种~出苗	齐苗~开花	开花~结荚	结荚~成熟		
	土层深度(cm)	0~20	0~30	0~30	0~30		
	土壤含水量(%)	60~70	55~70	65~75	60~70		
马铃薯	生育期	苗期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	成熟期	
	土层深度(cm)	0~20	0~40	0~40	0~40	0~40	
	土壤含水量(%)	60~70	70~80	70~80	70~85	60~70	

(4) 土壤含水量预报模型

根据每旬的土壤墒情日消退系数，可以利用公式，由 t 日的土壤含水量，预测 $(t+n)$ 日的土壤含水量。计算公式为[4]：

$$\theta_{a,t+n} = K_t^n (\theta_{a,t} + P_t + Q_t) \tag{9}$$

式中： $\theta_{a,t}$ 为第 t 日墒情指数，mm； $\theta_{a,t+n}$ 为第 $(t+n)$ 日墒情指数，mm； P_t 为 t 日的预测降水量，mm； Q_t 为 t 日的灌溉水量，mm； K_t 为 t 日的消退系数，可分时段取不同的 K 值。

在预测时段内，遇到降水，则要对降水前后段分开计算。如，根据 7 月 21 日土壤墒情指标，预测 7 月 28 日土壤含水量；在 7 月 25 日发生降水，则计算方法为，先计算 7 月 25 日降水前 5 天的土壤含水量，然后根据该时期的土壤含水量和降水量，计算 7 月 28 日的土壤含水量。

$$\theta_{a,t+5} = K_1^5 \times \theta_{a,t} \tag{10}$$

$$\theta_{a,t+8} = K_2^3 \times (\theta_{a,t+5} + P_{t+5}) \tag{11}$$

(5) 灌水时间预测模型

为及时实施灌溉，用灌水时间模型预测旱情发生的时间。根据作物生长需要的最低土壤含水量 $\theta_{a,t+n}$ ，结合 t 日的土壤含水量 $\theta_{a,t}$ ，如果土壤含水量低于 $\theta_{a,t+n}$ 时，就要及时灌溉。预测灌水时间间隔天数用下式计算：

$$n = \frac{\lg(\theta_{a,t+n}) - \lg(\theta_{a,t} + P_t)}{\lg K_t} \tag{12}$$

式中： $\theta_{a,t}$ 为第 t 日墒情指数，%； $\theta_{a,t+n}$ 为保持作物生长的土壤墒情指数，%； K_t 为土壤含水量日消退系数， P_t 为第 t 日的降水量产生的土壤体积含水量，%。

为方便计算，把降水量单位毫米改成体积含水量，用百分数表示。计算土层厚度用 h 表示，则降雨量的土壤体积含水量计算公式为：

$$P_t = \frac{P}{h} \times 100\% \tag{13}$$

式中： P 为降水量，mm； h 为计算土层厚度，mm。

如土层厚度 800 mm，时段降水量为 8 mm，则该降水量产生的土壤体积含水量为 1%。例如：邯郸市南堡乡小北堡村，2012 年 6 月 1 日实测土壤体积含水量为 22.6%，作物处在生长期，要求土壤含水量不低于 21%，预测最多等几天必须灌溉？

实测土壤体积含水量 22.6%，6 月中旬的土壤日消退系数为 0.991，预测土壤体积含水量下降到 21% 时的时间，求灌溉时间：

$$n = (\lg 0.21 - \lg 0.226) / \lg 0.991 = 8(\text{天}) \tag{14}$$

要保持土壤体积含水量不低于 21%，最多等 8 天必须对农田进行灌溉。

3. 输水时间计算

水流传播时间的计算方法很多，对于河道水流传播时间的计算多采用水力学中研究的基础方法。输水时间与引水水源的距离、输水河渠的水文特征、流量等参数相关。

$$T = \frac{L}{v} \tag{15}$$

式中： T 为输水时间(s)， L 为输水距离(m)， v 为平均流速(m/s)。

平均流速由谢才和曼宁公式计算:

$$v = C\sqrt{RJ} \quad (16)$$

$$R = \frac{A}{P_w} \quad (17)$$

式中: v 为输水断面平均流速(m/s); R 为水力半径(m), A 为河渠过水断面面积, P_w 为湿周, 即水流与固体边界接触部分的周长; $J = hf/l$ 为水力坡度, hf 为流段内的沿程水头损失, 对于明渠恒定均匀流, $J = i$ (i 为明渠底坡); C 为谢才系数。根据上述推导演算, 公式演化为:

$$T = k\eta L / (R^{2/3} J^{1/2}) \quad (18)$$

式中: k 为时间换算系数, 由秒换算成天, $1/86,400(d)$; η 代表粗糙系数(n 字母用 η 代替, 为与公式(12)中的 n 区别), L 为输水距离(m), R 为水力半径(m), J 为水力坡度。

4. 干旱时期水网应急调水模型研究

在干旱时期, 农作物无水浇灌, 如无降雨, 造成减产或绝收。由于枯水期水量少, 可选择的水源受到限制, 调水成本相应增加, 为保证有限的水资源发挥最大效益, 必须准确把握调水时机。在农业灌溉时期, 通过农作物的生长特性, 结合土壤墒情监测数据和天气状况准确预测农作物枯萎时间, 并及时通过水网输水, 使农作物得到及时灌溉。

4.1. 应急调水模型的建立

应急调水数学模型的建立。用土壤墒情指数和气象数据计算旱情发生时间, 再考虑可供水源到用水地点的输水时间, 根据公式(12)和公式(18)建立时间方程组。

$$\begin{cases} n = \frac{\lg(\theta_{a,t+n}) - \lg(\theta_{a,t} + P_t)}{\lg K_t} \\ T = k\eta L / (R^{2/3} J^{1/2}) \\ n \leq T \end{cases} \quad (19)$$

式中: n 为农作物维持时间(d), $\theta_{a,t}$ 为第 t 日土壤含水量, %; $\theta_{a,t+n}$ 为保持作物生长的土壤含水量(凋萎含水量), %; K_t 为土壤含水量日消退系数, P_t 为第 t 日的降水量产生的土壤体积含水量, %, T 为输水时间(d), k 为时间换算系数, $1/86,400$, R 为水力半径(m), $J = hf/l$ 为水力坡度, η 为反映壁面粗糙对水流影响的系数, 称为粗糙系数或糙率。

4.2. 模型的应用

(1) 实用条件: 该模型应用于干旱时期, 是特殊气候环境条件下为保证农业灌溉用水的应急措施。用于平原区小区域范围调水, 输水河渠通畅、无污染, 一般输水时间在 3~10 天左右, 季节特征表现为气温较高, 土壤含水量变化较大, 少雨。根据旱情发生地与供水水源的距离推算出输水时间, 结合旱情的监测数据, 以输水时间 T 为依据推算最低土壤含水量 $\theta_{a,t+n}$ 的临界值, 以保证在无降雨时作物生长需要的最低土壤含水量 $\theta_{a,t+n}$, 以减少旱情对农作物的损失最小。

(2) 应用举例: 2009 年 4 月某日曲周县城关陈庄村有旱情, 目前土壤体积含水量为 23.3%, 作物处于生长期, 要求土壤含水量不低于 21%, 需从岳城水库调水, 为保证农作物不受影响, 计算曲周县城关陈庄村土壤含水量达到多少时, 岳城水库开始提闸放水?

参数率定: 4 月中旬的土壤日消退系数 K_t 为 0.991 (埋深 20 cm), 保持作物生长的土壤含水量(凋萎含水量)

$\theta_{a,t+n}$ 为 21%，区间无降雨 P_t 为 0；假设从岳城水库放水 20 立方米/秒，输水路线从岳城水库向东，通过民有渠经魏县东土村，向北经东风渠到达目的地。分段选取粗糙系数 η ，根据河渠的不同形状和过水面积分别选取水力半径(m) R ，水力坡度 J 。依照模型：

$$\begin{cases} n = \frac{\lg(\theta_{a,t+n}) - \lg(\theta_{a,t} + P_t)}{\lg K_t} \\ T = k\eta L / (R^{2/3} J^{1/2}) \\ n \leq T \end{cases}$$

通过上述参数计算输水时间， $T = k\eta L / (R^{2/3} J^{1/2})$ ，计算结果为 8 天；

利用 $n \leq T$ 关系，代入公式 $n = \frac{\lg(\theta_{a,t+n}) - \lg(\theta_{a,t} + P_t)}{\lg K_t}$ ，推导出土壤含水量 $\theta_{a,t} = 22.6\%$ 。

由计算结果得知，目前土壤体积含水量为 23.3%，距临界值 22.6% 尚有三天时间(假设无降雨)，密切关注天气状况，及时监测土壤墒情，加大监测频率，做好应急调水准备。

5. 结论

针对枯水期水量少，可选择的水源受限制等特殊条件下，在农业灌溉时期，为了提高水资源利用效率，精准把握调水时机，利用土壤墒情数据和河渠输水时间相结合，建立了应急调水模型。该模型应用于干旱时期，是特殊气候环境条件下为保证农业灌溉用水的应急措施。适用于地下水资源严重匮乏的区域性调水，输水河渠通畅、无污染的自然环境。该方法的创立，解决了极度干旱的特殊环境下，实现了有限的水资源的精准利用，最大限度地保障了农业生产的减灾增收。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国行业标准. (SL000-2005)土壤墒情监测规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
People's Republic of China Industry Standard. (SL000-2005) Soil moisture monitoring standard. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2005.
- [2] 乔光建. 北方干旱地区土壤墒情预报模型[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(1): 39-42.
QIAO Guangjian. Prediction model of soil moisture content in arid area of North China. South to North Water Transfer and Water Conservancy Science and Technology, 2009, 7(1): 39-42.
- [3] 关连珠. 普通土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 37-57.
GUAN Lianzhu. General soil science. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 37-57.
- [4] 王振龙, 高建峰. 实用土壤墒情检测预报技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
WANG Zhenlong, GAO Jianfeng. Soil in practical detection and prediction technology. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2006.