

农业耗水管理研究与应用——以吐鲁番地区为例

➤ 简要信息

【获奖等级】 应用成果奖一等奖

【任务来源】 其他项目

【课题起止时间】 2012 年 8 月~2017 年 1 月

【完成单位】 中国水利水电科学研究院

【主要完成人】 张宝忠、雷 波、杜丽娟、彭致功、刘 钰、
刘 洋、白云岗、李彦彬、王 蕾、陈 鹤

➤ 背景

旱区农业用水管理中过度强调供水控制，极易出现“节水后继续扩大灌溉面积，导致更严重缺水”的突出问题。2018 年由 8 个国家 11 名科学家共同在《Science》上发表了题为“灌溉效率悖论”的文章，引起全世界关注。针对这一问题，本项目发展了 ET（耗水）管理理念，创新提出由“取水管理”向“取水+耗水双管理”的转变。通过研究吐鲁番地区节水灌溉定额控制阈值，将原灌溉规划理念和方法上升到“取水+耗水双管理”阶段，创新提出了基于耗水的农业配水方案，在吐鲁番全域推广应用，实现了“耗水控制”从理念到大范围落地应用的跨越，推动了资源性缺水地区的科学用水管理。

➤ 主要内容

- 作物耗水阈值时空优化。研究葡萄、蔬菜等主要作物需水

规律和耗水特征，解析水分生产效率多时空变异和经济耗水定额，研究不同区域、不同灌溉方式下的耗水与取用水之间的转换系数，形成耗水阈值时空优化分布。

- **基于耗水控制的节水规划技术。**基于作物耗水特点，研究不同区域、不同阶段农业目标耗水的确定方法，提出农业耗水优化的方案措施与路径，构建基于“取水+耗水”双控制的节水规划技术方法。
- **耗水控制下农业用水优化配置。**分析吐鲁番盆地气候变化和来水、耗水历史演变规律，研究不同频率年型下的地表来水和农田耗水过程，依据节水规划提出多情境下满足目标耗水的农业配水方案。
- **基于遥感的耗水管理监测预警。**研究遥感监测区域耗水的快速解译方法，建立瞬时监测值向生育时段转换的方法，提出区域超农业目标耗水的预警机制、控制方法及措施。

➤ **创新点**

- 发展了“耗水管理”理念，融合作物耗水优化方法、区域控制技术和监测预警机制，创新提出了水资源由“取水管理”向“取水+耗水双管理”的控制体系，实现了“耗水管理”从理念到大范围落地应用的跨越。
- 阐晰了葡萄与温室蔬菜的需耗水特征，提出了经济耗水定额确定方法及时空优化分布，填补了当地特色农作物适宜需耗水阈值不明确的空白。
- 创新提出了基于耗水控制的农业节水规划理论及配水方

法，发展了耗水测控预警技术，弥补了“耗水管理”控制方法的不足。

➤ 推广应用情况

研究成果可显著提高研究区水资源利用效率和效益，实现减少农业用水和耗水总量，实现资源性节水。成果在吐鲁番全域推广应用，项目区累计减少蒸散量 1384 万 m³，对农业稳产约束下减缓地下水超采具有重大意义。基于耗水控制的农业节水规划理论与方法，成功应用于河套、淠史杭等 10 多处（占全国计划投资的灌区数量的 10% 以上）大型灌区规划，对灌区实现资源性节水和生态环境改善具有重要意义。世界银行对本项成果的评价等级为“非常满意”，已将其作为典型案例和成功经验进行推广。成果还得到联合国粮农组织（FAO）关注，编制的《基于耗水的农业用水管理手册》将作为 FAO 官网文件进行发布。

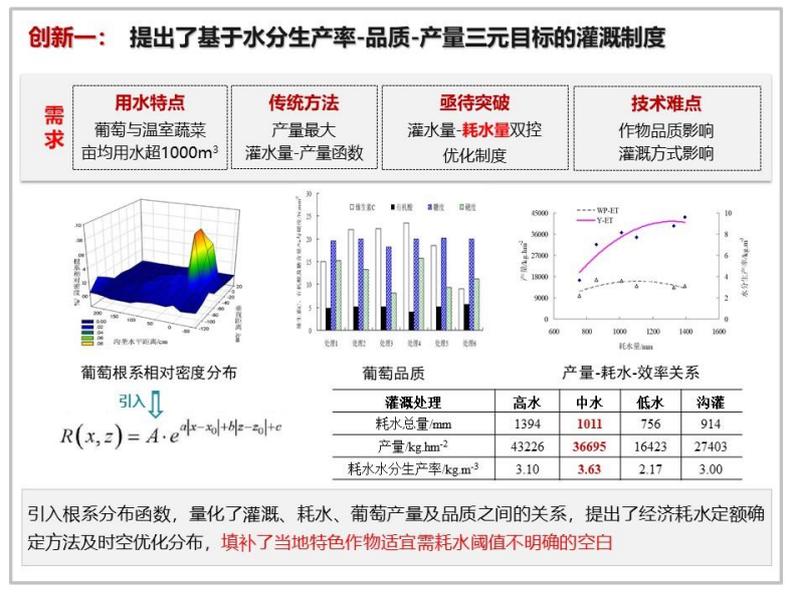


图 1 基于水分生产率~品质~产量三元目标的灌溉制度

创新二： 创新提出了基于耗水控制的农业节水规划方法，发展了耗水测控技术，弥补了“耗水管理”控制方法的不足

需求	传统方法 供需平衡 取水量+效率评价	缺陷 以试验监测点简单扩大到面 单纯取水控制导致高估节水	突破点 供需耗平衡 遥感ET监测	技术难点 空间变异性表征 时间连续性表征
	<p>引入蒸发比、冠层阻力等参数，发展了不同气象条件、不同能量状况、不同下垫面类型的时间尺度扩展方法，误差为3%~15%，实现了基于瞬时监测值来获取日蒸散量的目的</p>			

蒸发比法

蒸发比： $EF = IE / (R - G_c)$
假定蒸发比在白天恒定不变：
 $ET' = EF \cdot (R_c - G_c) \cdot [cf / \lambda, \rho_w]$

正弦系数法

假定 ET 在日内呈现正弦变化的趋势：
 $ET' = LE' \cdot \frac{2N}{\pi \sin(\pi T)} [cf / \lambda, \rho_w]$

时间尺度提升：

针对数据缺失状况，提出了移动窗口法，实现了蒸散从日到全生育期的时间尺度扩展，误差为**10%以内**

逐日计算分布 插补后

图2 基于耗水控制的农业节水规划方法

创新三： 研发了基于耗水控制的农业用水优化配置模型，解决了极度干旱区地下水开采总量和耗水双控的技术难题

地下水开采量最小目标

$$\min(\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (ET_{it}^d + ET_{it}^g) - [\alpha_1 \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \eta_i x_{it}^d + \alpha_2 \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \eta_i x_{it}^g])$$

ET_{it}^d 第i用户第t时耗水量 x_{it}^d 第i用户第t时供水

耗水红线控制目标 $\text{Max. } F(ETa) = \sum_i B(Q_{ETi}, A_i)$

Set. $ET_{\text{目标}} \geq \sum_{i=1}^n A_i \cdot et_{it}^i$ Set. $\sum A_i \leq A$

$ET_{\text{目标}}$ 农业目标ET, A_i 作物i的种植面积 et_{it}^i 表示作物i推荐耗水定额。

构建了**地下水开采+耗水红线双控**的地表水、地下水联合调配优化方案，实现了水资源由“取水管理”向“取水+耗水双管理”的转变

研发了基于**多水源+多用户**的农业用水优化配置平台。空间尺度：**田块、村级、乡镇级**，时间尺度：**旬、月、年尺度**

图3 基于耗水控制的农业用水优化配置模型