

棉花灌溉决策指标研究

杜江涛

塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔
Email: 1543967915@qq.com

收稿日期: 2021年3月25日; 录用日期: 2021年4月19日; 发布日期: 2021年4月26日

摘要

棉花产业是新疆农业的支柱产业, 2018年新疆棉花产量511万吨, 占全国棉花产量的比重达83.8%。新疆属于极端干旱的地区, 全疆水资源的总量为793亿 m^3 , 每1万 km^2 占有水量为4.96亿 m^3 , 仅为全国平均占有量的18%。农业用水在新疆地区需求量大, 占全疆用水总量的90%以上。节水农业具有显著的节水、保质、稳产的特点, 因此, 发展节水农业可以缓解新疆水资源用量日趋紧张的状况, 满足建设现代农业的需求, 促进新疆社会稳定和长治久安。

关键词

节水灌溉, 土壤水分, 气象信息, 灌溉决策

Research on Irrigation Decision Making of Cotton

Jiangtao Du

College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarim University, Alaer Xinjiang Uygur Autonomous Region
Email: 1543967915@qq.com

Received: Mar. 25th, 2021; accepted: Apr. 19th, 2021; published: Apr. 26th, 2021

Abstract

Cotton is a pillar industry of Xinjiang's agriculture. In 2018, Xinjiang's cotton output reached 5.11×10^6 tons, accounting for 83.8 percent of the country's cotton output. Xinjiang is an extremely arid region. The total amount of water resources in Xinjiang is $7.93 \times 10^{13} m^3$, and the amount of water per 10,000 km^2 is 4.96×10^{14} million m^3 , only 18% of the national average. Agricultural water is in great demand in Xinjiang, accounting for more than 90 percent of the total water use in Xinjiang.

Water-saving agriculture has the characteristics of water saving, quality preservation and stable yield. Therefore, the development of water-saving agriculture can alleviate the situation of water resource shortage in Xinjiang, meet the needs of modern agriculture construction, and promote the social stability and long-term peace and stability in Xinjiang.

Keywords

Conservation Irrigation, Soil Moisture, Weather Information, Irrigation Decision-Making

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

农业用水在新疆地区需求量大, 占全疆用水总量的 90% 以上[1]。节水农业具有显著的节水、保质、稳产的特点, 新疆属于极端干旱的地区[2], 全疆水资源的总量为 793 亿 m^3 , 每 1 万 km^2 占有水量为 4.96 亿 m^3 , 仅为全国平均占有量的 18% [3]。棉花产业是新疆农业的支柱产业, 2018 年新疆棉花产量 511 万吨, 占全国棉花产量的比重达 83.8% [4], 特别是阿克苏地区, 棉花产量占了新疆的三分之一, 长绒棉更是为新疆产量最大的地区, 占全国产量的 90% 以上。棉花产业的发展水平极大地影响着新疆其他相关产业的发展。因此, 发展节水农业可以缓解新疆水资源用量日趋紧张的状况, 满足建设现代农业的需求, 为促进新疆社会稳定和长治久安总目标做出贡献[5]。水灌溉是实施节水农业的主体, 其关键问题为如何提高水分利用率, 即探寻适宜时间、适宜灌水量的节水灌溉指标问题[6]。全疆应用膜下滴灌规模已超过 5000 万亩, 占全国比重的 60% 左右。常规滴灌系统均采用人工控制球阀进行灌溉, 受传统长期沟灌思维的影响, 种植户往往不能严格按照设计进行灌溉, 经常人为延长灌溉时间和轮灌周期, 最终造成棉花滴灌系统运行异常, 很难达到预期的节水增产目的[7] [8]。所以, 灌区农田灌溉和管理必须向集约化、自动化和精量化的方向发展[9]。

目前在自动化灌溉决策方面, 国际上主要形成 3 种方法, 即基于土壤水分的方法、基于作物水分的方法、基于气象信息的方法[10]。气象条件对作物的生长影响很大, 能够提供作物生长过程中对干旱的最直接的反应, 它决定了作物在本时段内的蒸腾量大小, 而且气象信息的获取相对容易和方便。因此, 研究出通过适合新疆南疆地区的通过气象信息来判断田间灌水的研究很有意义。此举将推动棉花产业健康发展, 实现棉花生产从数量型向质量型转变, 巩固提升新疆作为国家优质商品棉基地地位, 让棉花真正成为农民的“致富花”。

田间作物灌溉决策指标一般包括土壤水分、气象指标和作物本身生理反应三大类[11]。土壤可供作物需要的大部分水分和养分, 是作物正常生长的主要载体; 作物本身的生理生态反应可以更加直接地显示水分胁迫的程度; 通过田间小气候的变化产生的气象指标, 能够提供作物生长过程中对干旱的最直接的反应。

2. 基于土壤水分判断

在农田墒情管理过程中, 由于灌溉的直接对象是土壤, 因此, 快速、准确地监测和获取土壤水分信息, 对于及时、准确地进行灌溉决策具有重要意义。

土壤湿度测量方法有电阻法、中子法、TDR (Time Domain Reflectometry)、FDR (Frequency Domain

Reflectometry)、驻波率法、电容法等,电阻法测量易受土壤中金属、电解质含量、土壤质地的影响,测量精度低;中子法捕捉浅层土壤含水量较难,土壤中的有机质含量也会影响土壤湿度的测量结果,且中子法存在辐射问题、造价较高,所以不适宜推广应用;TDR 利用电磁波在土壤中传播速率的变化测量土壤湿度,具有精度高、测量范围广、灵敏度高等优点,基于 TDR 原理的土壤水分测量仪成本较高,适用于科研院所和学校实验室;FDR 是通过电磁脉冲,根据土壤中不同介电常数反射回传频率来分解土壤介电常数的实部和虚部进而换算出土壤的含水率,FDR 原理传感器量程宽,测量精度高,但价格较高。驻波法相较于 TDR 技术,在测量精度上稍低,传感器成本也相应有所降低。电容法则可以实时测量,量程宽,成本低,是目前研究较广的土壤湿度测量方法[12]。

田强明等[13]通过改进定时器、流量计以及利用模糊控制方法实现的灌溉决策系统,通过利用作物蒸发蒸腾量和土壤下降率输入到模糊逻辑系统,可以输出当前作物需要灌溉的时间。该系统不仅考虑了土壤因素,而且考虑了作物本身生理活动造成的水分流失,可以针对作物各个时期进行按需灌溉。Michael T. Plumblee [14]通过对土壤埋设温湿度传感器,进而确定棉花灌溉阈值,以及最大化产量、高于灌溉成本的净回报和灌溉用水效率(IWUE)。通过研究发现在美国中南部地区,当灌溉阈值长时间保持在-90 Kpa 时,产量高于灌溉成本的净收益并且 IWUE 达到最大值。

杨春曦等[15]设计了一种便携式土壤检测装置,同时基于该装置构建了一个精准灌溉决策系统,并把该系统应用于田间的精准灌溉决策。最后通过 30 m × 30 m 草坪的土壤湿度为检测参数的田间验证,该系统的平均决策准确率大于 90%,且可以根据需要增减检测点个数。因此既可以独立应用,也可以作为固定检测方式的有效补充,实现作物区域土壤湿度信息的精确采集,有效提高水资源利用率。陈大春等[16]使用水量平衡方法及消退系数法对土壤进行墒情预报,使用泰森多边形等方法计算土壤的平均含水率和使用模糊综合评判进行灌溉实时决策。通过在田间的试验应用这种方法能较准确的预测土壤墒情并实时指导田间灌溉。从而实现作物按需供水减少水量损失,从而达到节水目的。申孝军等[17]和王凤姣等[18]通过对膜下滴灌棉花生理生长的试验结果发现,初步认定水分传感器位置在地表下 40 cm 时能较好地反映土壤水分信息。可为新疆自动化控制灌溉提供理论依据。

3. 基于作物本身生理反应判断

通过作物本身生理反应的决策灌溉方法是基于作物的水分信息,采用的作物水分信息主要包括叶水势、叶片相对含水量、气孔导度、光合速率、细胞液浓度、叶温或冠层温度、植株茎直径变化等[19]。

植物叶片水势是定量描述植物体内水分状况的指标,可表示植物从土壤中获取水分的能力,也是指示植物耐旱能力的一个重要生理指标[20]。植物水势在物种耐旱性比较中得到了很好的应用[21],并成为评价植物对水分胁迫响应最常用的生理指标之一[22]。徐邦发等[23]高产棉花各生育期叶片水势和细胞汁液浓度测定结果表明,从蕾期开始叶片水势逐渐下降,细胞汁液浓度则呈现相反趋势,并初步提出南疆棉花各生育期相应的生理指标。同时研究结果也表明,南疆宽膜覆盖栽培棉花在 6 月 15~20 日为头水灌溉适宜期。

作物冠层红外温度可以反映农田作物蒸腾蒸发情况和水分亏缺状况[24],利用冠层-空气温度差这一指标能够直观进行缺水诊断。Miguel Noguera 等[25]开发了一个以热红外为基础低成本的设备,用于测量橄榄树树冠温度和监测水分状况。通过对作物水分状况指标的采集,可以减少用水量,并全面改善橄榄园管理。边江等[26]基于无人机热红外的作物水分情况诊断模型研究。使用无人机热红外遥感平台优化了传统手持热红外仪监测作物冠层温度的方式,并可以快速获取作物的表面状冠层温度信息,来诊断作物水分胁迫状况去指导灌溉。蔡甲冰等[27]设计了一个可以在线连续监测田间作物冠层温度、环境信息的实时灌溉决策系统,系统配置了红外温度、气温/湿度等传感器,能够很精细的刻画田间作物实际生长状况,

可以用于灌区综合灌溉决策, 实现田间精量灌溉管理和控制, 为灌溉管理的精量化和智能化提供数据支持。

利用植物茎直径变差法监测作物水分状况, 因为具有不破坏植株组织、适合长期自动监测的优点[28]。王晓森等[29]研究了充分灌溉和干旱胁迫对棉花茎直径变化的影响, 以干旱胁迫和充分灌溉条件下的桶栽棉花的茎变化为检测对象, 探讨棉花茎直径在随土壤含水量下降的过程中变化的规律性。但由于试验是在 8、9 月份棉花吐絮期进行的仅以桶栽棉花为材料, 还缺少其它生育阶段及大田试验数据的验证, 同时也缺少其它与蒸腾相关的重要生理指标的测定。

通过上面的研究, 国内外不少学者们围绕着土壤水分和植物生理特征来判断灌溉, 但灌溉的决策还是主要集中在某一指标来反应作物的水分状况和受胁迫的程度。这其中的难点有测量个体的差异性, 作物水分测量仪器的范围、价格、和数据的代表性及稳定性较差。在实际生产中难以大规模的应用和指导灌溉制度。

4. 基于气象指标判断

作物生长及农业生产受气候变化的影响很大, 它决定了作物在本时段内的蒸腾量的大小, 所以必然导致作物耗水过程的变化, 再加上降水的波动, 会引起灌溉需水量的变化[30]。蒸散作为唯一在地表能量平衡和水量平衡中都出现的因素, 是连接生态与水文过程的重要纽带, 也是制定农田灌溉计划的关键环节[31]。

目前 60%~70% 的地表降水会通过蒸散返回大气, 且超过 90% 的农业用水最终以蒸散的形式消耗[32], 因此农田蒸散是表征农田土壤通过农田土壤表面蒸发以及作物植株蒸腾散发到大气系统过程中的重要指标[33]。而农田蒸散量的定量化描述通常通过参考作物需水量(ET_0)来间接估算, Allen 等[34]人将参考作物需水量定义为一种理想作物的需水量, 即假设作物表面开阔、高度一致(0.12 m)、生长旺盛、完全遮盖地面(叶面阻力为 70 sm^{-1} , 反射率为 0.23), 无病虫害且没有水分胁迫。准确估算 ET_0 对于提高灌区灌水效率及灌溉水资源利用效率具有重要的意义。目前, 国内外参考作物需水量的估算方法主要有蒸发皿法和基于温度、基于辐射、基于能量平衡等数学方法[35], 但这些方法均有一定的适用性。Penman-Monteith 公式是被 FAO 推荐确定 ET_0 的标准方法, 经过不断的改进和发展, 该方法已能准确计算不同地区和气候条件下的 ET_0 , 并在世界范围内被广泛采用, 并作为其他估算模型的标准[36] [37]。

基于气象信息的灌溉决策方法具有通用性强且易于实行的特点, 国内外很多人对此进行了研究。戚迎龙等[38]为了解玉米浅埋滴灌典型应用区农业气象要素对参考作物腾发量(ET_0)的影响, 采用拓展傅里叶幅度敏感性检验(Fourier Amplitude Sensitivity Test, FAST)法对农业气象因子进行全局敏感性分析, 明确不同 ET_0 的气象成因, 为了解获知农业气象变化对作物蒸散发耗水的影响以及合理设计灌溉制度提供参考。陈诚等[39]以柳园口灌区为例研究黄河下游灌区作物需水量变化规律, 采用国际上通用的 Penman-Monteith 公式, 分析研究主要参考作物的需水量变化情况, 并结合引黄河水流量与含沙量的变化特点, 探讨了灌区节水灌溉模式。范文波[40]采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算了石河子垦区 ET_0 。发现石河子垦区 50 年来 ET_0 整体呈现上升趋势。气候生产潜力对棉花单产的作用与 ET_0 对棉花的作用有相似的结果。随着 ET_0 的增加, 灌溉水量也有增加的趋势。

5. 展望

近年来, 节水灌溉技术日益受到重视。节水灌溉技术向精准化、信息化、多元化发展。农田水利节水灌溉技术的应用能够有效提高对水资源的利用效率, 促进了农业的可持续发展。对于促进当地农业可持续发展, 推广先进灌溉技术的应用具有参考价值。

参考文献

- [1] 王振华, 杨培岭, 郑旭荣, 等. 膜下滴灌系统不同应用年限棉田根区盐分变化及适耕性[J]. 农业工程学报, 2014(4): 90-99.
- [2] 王全九, 王文焰, 吕殿青, 等. 膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 54-57.
- [3] 余美, 杨劲松, 刘梅先, 等. 不同膜下滴灌模式对土壤水分及棉花产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(12): 2368-2374.
- [4] 汪焯. 从棉花和糖的变迁看我国经济作物 70 年发展[J]. 农经, 2019(10): 56-59.
- [5] 山仑. 节水农业与作物高效用水[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2003(1): 1-5.
- [6] 蔡利华, 练文明, 邵红忠, 等. 南疆两种膜下滴灌布管方式对机采棉产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(2): 52-58.
- [7] 王永素. 棉田滴灌自动化控制在生产中存在的问题及解决对策[J]. 农村科技, 2007(4): 66.
- [8] 陈林, 程莲. 新疆滴灌自动化技术存在的问题及对策[J]. 大麦与谷类科学, 2015(3): 1-3.
- [9] 王熠晗, 张周锐, 刘金荣. 基于土壤湿度参数的自动化节水灌溉装置在草坪绿地上的应用[J]. 农业工程, 2020, 10(3): 63-67.
- [10] 王怀博, 田军仓, 宋露露, 等. 作物优化灌溉制度理论与方法研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2014(6): 21-25.
- [11] 陈智芳. 基于多源信息融合的灌溉决策方法研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院农业水土工程, 2018.
- [12] 刘华. 分布式土壤湿度检测和灌溉决策系统研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [13] 田强明, 温宗周, 李丽敏, 等. 基于 APSO-ELM 和模糊逻辑的灌溉时间决策[J]. 中国农村水利水电, 2020(4): 124-128.
- [14] Plumblee, M.T., Dodds, D.M., Krutz, L.J., et al. (2019) Determining the Optimum Irrigation Schedule in Furrow-Irrigated Cotton Using Soil Moisture Sensors. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 5, 1-6. <https://doi.org/10.2134/cftm2018.06.0047>
- [15] 杨春曦, 刘华, 谢可心, 等. 便携式土壤湿度检测装置用于精准灌溉决策系统[J]. 农业工程学报, 2018, 34(22): 84-91.
- [16] 陈大春, 雷晓云, 曹伟, 等. 滴灌棉花灌溉决策支持系统研究[J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 72-75.
- [17] 申孝军, 孙景生, 张寄阳, 等. 滴灌棉田土壤水分测点最优布设研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 90-95.
- [18] 王凤姣, 王振华, 张金珠, 等. 水分传感器位置及灌水阈值对膜下滴灌棉花生理指标及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2018(5): 14-19, 25.
- [19] 郭长新. 棉花灌水的生理指标[J]. 河北农业大学学报, 1989(3): 149-154.
- [20] Liu, M.Z., Jiang, G.M., Li, Y.G., et al. (2005) Leaf Osmotic Potentials of 104 Plant Species in Relation to Habitats and Plant Functional Types in Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China. *Trees*, 19, 231-232. <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0356-5>
- [21] Liu, C.C., Liu, Y.G., Fan, D.Y., et al. (2012) Plant Drought Tolerance Assessment for Re-Vegetation in Heterogeneous Karst Landscapes of Southwestern China. *Flora*, 207, 38. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.06.002>
- [22] 郭冰寒, 王若水, 肖辉杰. 沙棘苗期叶水势与气孔导度对水分胁迫的响应[J]. 核农学报, 2018, 32(3): 609-616.
- [23] 徐邦发, 杨培言, 徐雅丽, 等. 南疆高产棉花灌溉生理指标研究[J]. 中国棉花, 2000, 27(3): 14-15.
- [24] Jackson, R.D., Idso, S.B.R., Reginato, R.J., et al. (1981) Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research*, 17, 1133-1138. <https://doi.org/10.1029/WR017i004p01133>
- [25] Noguera, M., Millán, B., Pérez-Paredes, J.J., et al. (2020) A New Low-Cost Device Based on Thermal Infrared Sensors for Olive Tree Canopy Temperature Measurement and Water Status Monitoring. *Remote Sensing*, 12, 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs12040723>
- [26] 边江. 基于无人机热红外的作物水分状况诊断模型研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学水利工程, 2019.
- [27] 蔡甲冰, 许迪, 司南, 等. 基于冠层温度和土壤墒情的实时监测与灌溉决策系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 133-139.
- [28] 张寄阳, 段爱旺, 孟兆江, 等. 棉花茎直径变化与环境因子关系研究[C]//中国植物生理学会. 2004 年中国植物生理学会第九次全国会议论文摘要汇编. 中国植物生理学会, 2004: 1.

- [29] 王晓森, 孟兆江, 段爱旺, 等. 充分灌溉和干旱胁迫对棉花茎直径变化的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(5): 75-78.
- [30] 胡玮, 严昌荣, 李迎春, 等. 气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2367-2377.
- [31] 张宝忠, 许迪, 刘钰, 等. 多尺度蒸散发估测与时空尺度拓展方法研究进展[J]. 农业工程学报, 2015(6): 8-16.
- [32] 连晋姣, 黄明斌, 李杏鲜, 等. 夏季黑河中游绿洲样带蒸散量遥感估算[J]. 农业工程学报, 2014(15): 120-129.
- [33] Valiantzas, J.D. (2013) Simplified Forms for the Standardized FAO-56 Penman-Monteith Reference Evapotranspiration Using Limited Weather Data. *Journal of Hydrology*, **505**, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.005>
- [34] Allen, G.R. (2000) Using the FAO-56 Dual Crop Coefficient Method over an Irrigated Region as Part of an Evapotranspiration Intercomparison Study. *Journal of Hydrology*, **229**, 27-41. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00194-8)
- [35] Xing, Z., Chow, L., Meng, F.R., et al. (2008) Testing Reference Evapotranspiration Estimation Methods Using Evaporation Pan and Modeling in Maritime Region of Canada. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, **134**, 417-424. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:4\(417\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:4(417))
- [36] (2005) Evapotranspiration: The FAO-56 Dual Crop Coefficient Method and Accuracy of Prediction for Project-Wide Evapotranspiration. Monografías Inia Agrícola.
- [37] Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., et al. (2006) A Recommendation on Standardized Surface Resistance for Hourly Calculation of Reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith Method. *Agricultural Water Management*, **81**, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.007>
- [38] 戚迎龙, 赵举, 李彬, 等. 玉米浅埋滴灌典型种植区参考作物腾发量的气象敏感性研究[J]. 节水灌溉, 2020(6): 14-19.
- [39] 陈诚. 柳园口灌区作物 ET₀ 变化及节水灌溉模式研究[J]. 节水灌溉, 2017(4): 70-72.
- [40] 范文波, 吴普特, 耿宝江. 石河子垦区 50 年 ET₀ 变化对棉花单产和灌溉水量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 47-50.