

# 作物主动汲水技术内涵与研究进展

龙怀玉<sup>1</sup>, 武雪萍<sup>1</sup>, 张淑香<sup>1</sup>, 王佳佳<sup>1,2</sup>, Patrick J. Drohan<sup>3</sup>, 张认连<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 中科鼎实环境工程有限公司, 北京 100102;  
3. 宾西法尼亚州立大学生态系统科学与管理系, PA 16802, 美国)

**摘要:** 持续创新农田灌溉技术, 有利于应对农业水资源短缺、耕地资源不足, 也是确保中国粮食安全的重要技术基础。该研究提出了“作物主动汲水”(Crop Initiate Drawing Water, CIDW)概念, 并分析其得以实现的基本条件是土壤水非饱和性、外界水水势始终小于大气压、外界水和作物根系的距离有效性、高效的水势能差转化界面。综合文献划分出了压力势差(Pressure Potential Difference, P-CIDW)、渗透势差(Osmotic Potential Difference, O-CIDW)和重力势差作物主动汲水(Gravitational Potential Difference, G-CIDW)等 3 种形式的 CIDW, 并分析了其势能特征和基本实现途径。进一步, 从硬件设备技术、作物表现、水盐运移与分布、土壤生境等几个方面, 重点综述了 P-CIDW 的研究进展。近十多年来的研究表明, 相比漫灌、沟灌、滴灌等传统灌溉技术, 适宜参数的 P-CIDW 能够显著提高作物产量与水分利用效率、养分吸收和肥料利用率、根际土壤酶活性和微生物多样性、水肥耦合效应, 明显地影响了作物生理生化指标、土壤养分有效性和养分空间分布; 土壤质地及其剖面构型显著地影响了 P-CIDW 下的水盐运移与分布; 利用初始土壤含水率和基质势、渗水器导水率、供水压力以及时间等参数, 可以半机理半经验地估测 P-CIDW 的累积入渗量。最后展望了 CIDW 研究的未来, 认为, 土壤水分-作物关系的基础理论急需突破、研发高效的势能转化界面材料仍然是发展 CIDW 技术的关键任务、尽快制定 P-CIDW 技术标准、P-CIDW 控压方法还需要革命性的创新。

**关键词:** 农业; 灌溉; 水资源; 作物主动汲水; 负压; 土壤水分-作物关系

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.23.017

中图分类号: S275

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-23-0139-14

龙怀玉, 武雪萍, 张淑香, 等. 作物主动汲水技术内涵与研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(23): 139-152. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.23.017 <http://www.tcsae.org>

Long Huaiyu, Wu Xueping, Zhang Shuxiang, et al. Connotation and research progress of crop initiate water drawing technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(23): 139-152. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.23.017 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

作物生长发育需要吸收、消耗大量的水分, 人类社会自从进入农耕文明, 灌溉就是一项重要的农事活动, 中国五千多年前就有了比较完善的灌溉系统<sup>[1]</sup>, 没有灌溉技术的创新发展, 人类社会及其所依赖的粮食就不可能发展<sup>[2]</sup>。在现代农业中, 灌溉更是作物水分消耗的最主要来源。将灌溉水从江河、溪流、湖泊、管井等水源引到农田、灌溉到生长作物的土壤中, 总是要消耗一些人类劳动和物资的, 因此人们总是希望用最少的灌溉水消耗得到最高的作物产量、最好的作物品质, 一直持续注重研发高效灌溉技术。21 世纪以来的 20 余年里, 国内外科技工作者、主要是国内的科技工作者, 在研究一种名为“负压灌溉(Negative Pressure Irrigation, NPI)”的灌水技术, 有时候也称之为“负压给水技术”<sup>[3]</sup>, 国外有些学者也称之为 plant-controlled subsurface drip irrigation<sup>[4]</sup>。笔者认为“负压灌溉”这个名称只是体现了技术实现途径,

并不能十分准确地体现它的科学原理和技术内涵, 恰巧 2012 年科技部发布了《“十二五”国家科技计划农村领域 2013 年度备选项目公开征集指南》, 其中专题五有水养分调控方面的内容, 笔者于是以“作物主动式土壤水分养分平稳供应技术”为题提出了申请, 科技部经过严格评审后通过了该项申请。在此后的多年研究过程中, 项目组做了几十个盆栽和田间小区试验, 同时国内外也出现了不少有着类似涵义的文献, 笔者认为“作物主动式土壤水分平稳供应技术”的概念逐渐清晰了, 而且可以将之精简为“作物主动汲水技术”(Crop Initiate Drawing Water, CIDW)。因此在本研究中对这一概念进行阐述, 并结合国内外最新文献, 概要地介绍了目前主要形式的“作物主动汲水技术”, 即负压灌溉技术的研究与应用现状, 对“作物主动汲水技术”今后的研发重点进行了展望, 以期促进灌溉技术的发展。

## 1 “作物主动汲水”的技术内涵

### 1.1 “作物主动汲水”的概念与辨析

“作物主动汲水”是指在一定条件下, 位于土壤-作物根系系统外部的外界水在作物蒸腾耗水生理活动的驱动下进入土壤, 变成土壤水、继而供作物吸收利用的过程, 而非被人力灌入土壤的供水过程。在宏观世界里, 任何

收稿日期: 2020-07-23 修订日期: 2020-11-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFE0112300); 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA102901)

作者简介: 龙怀玉, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤水肥调控研究。Email: longhuaiyu@caas.cn