

关于在我国开展作物蒸散凝结灌溉技术研究的建议

多年来,为了应对世界水危机,从水循环过程调控出发,提出了诸如工程节水、生物节水、农艺节水和管理节水等技术和方法。这些技术和方法的实施,极大地提高了世界水资源的利用效率。但这些大多局限于通过减少作物生产系统水分的输入和支出过程中的损失来提高水分利用率和效率,从未系统地考虑如何把作物蒸散水汽就地回收,做到水的循环利用。目前国外一些科学家根据作物水分蒸散过程、水汽凝集条件与控制机制、集水仿生学原理和节水灌溉原理,提出一种农田节水调控的新思路——作物蒸散凝结灌溉技术,而且有关研究已取得重大突破,其成果发表于 *Nature* 杂志。该项技术将提高水分利用率和效率,为严重缺水但太阳能、风能资源丰富的地区带来新希望。基于中国目前农业灌溉缺水的窘迫现状,现对作物蒸散凝结灌溉技术有关情况进行介绍,并对我国应怎样开展这项技术的研究提出具体建议。

作物蒸散凝结灌溉技术其基本原理是:聚集作物蒸散发的湿热水汽,创造低温条件和凝结面/凝结核,将水汽冷凝成液态水并高效富集,最后又回灌到土壤中供作物根系吸收,如此循环往复,整体上构成农田水分微循环系统,使作物水分利用率和效率大大提高。这项技术的关键在于水汽凝结条件的建立,即如何将湿热水汽的热能带走,并借助低温的凝结面/凝结核将冷凝的液态水富集起来,其中,蒸散水汽凝结和收集效率,水汽的回收率以及能耗效率是衡量该项技术效果的关键参数。

作物蒸散凝结灌溉技术目前理想的实施方式有温室型和大田型两种。

1) 温室型。温室、大棚是该项技术实施的理想场所,因为它提供了密闭的环境,能高效地聚集湿热水汽。可以借助低温物质(夏季的土壤、冬季的空气或者液态水等)来降低温室作物散发的湿热水汽温度,同时构造较大的接触面富集水汽凝结形成的液态水。该类型的水汽回收率在 30% 以上,与温室结构、风机功率、接触面大小、接触面-水汽温差和地下管道热传导特性等因素有关。目前可以在北方缺水地区大范围应用推广,技术上完全可行,只需要对系统结构和运行工况参数进一步优化,就可极大地提高节水节能效果。温室型蒸散凝结灌溉又包括浅层土壤吸热型和空调除湿型。

① 浅层土壤吸热型。在炎热的季节或光照强烈的中午,由于作物蒸腾作用和温室效应,温室温度可达到 30~50℃,湿度接近饱和状态,只要将湿热的空气通入到预埋在低温(比空气低 10~30℃)土壤中的管道,就可以凝聚水滴并通过管道的渗水孔渗入土壤中供作物根系吸收,如此往复运行,这种运行方式就叫做温室作物蒸散凝结地下滴灌。系统运行的动力主要来自太阳能发电。晚上还可以利用系统反向运行对温室空气加温、土壤降温储冷,为下次凝结水汽做准备。实际上,还可以利用温室对劣质水净化后灌溉,首先进行蒸发产生湿热的空气,然后采用该运行方式凝结水汽进行大田灌溉。可以用来蒸馏净化污水、海水、微咸水等劣质水,用于灌溉大田作物、蔬菜和果树。

② 空调除湿型。基于空调除湿的原理,白天抽取温室湿热气,利用低温物质和压缩机,对湿热水汽进行吸热降温处理并将热能储存下来,同时将低温饱和态的空气通过大面积低温金属网

富集液态水,经灌溉系统回灌到土壤中;晚上,将系统进行反向运行,加热空气和储存冷量,为第二天的白天工作准备;如此往复运行。该运行方式,日水汽回收效率极高,可以达到 40% 以上,但技术成本和运行成本较高,适合极端缺水的沙漠边缘地区、海岛、太空空间站和月球基地的蔬菜作物生产。

2) 大田型。利用太阳能、风能、核能等低碳能源驱动风机,抽取高空低温空气或地下水提供凝结条件,基于仿生学原理构造大规模的纳米纤维网收集凝结水,净化处理后用于大田灌溉。理论计算水汽的回收效率为 25% 以上。这是一项具有广阔应用前景的节水技术。

随着纳米技术的发展和生物表面特殊浸润、聚集水的机制的进一步阐明,已为作物蒸散凝结灌溉技术的实施提供坚实的理论基础和物质条件。实现作物蒸散凝结灌溉,理论上应当不成问题,下一步需要重点解决的问题聚集凝结水的材料开发以及如何高效组建系统和优化结构、运行参数。但是,该项技术的深度开发和大面积推广应用,还需要走较长时间的一段路。因此我们建议在作物蒸散凝结灌溉技术研究中应该根据中国国情,围绕以下几个方向、内容重点研发:

1) 基于仿生学原理的集水机制、材料和装置的研发。仿生学集水机制的揭示将为特殊材料和结构的开发提供理论依据,而集水机制和材料、装置的重大突破,又将为大幅度提高水汽的回收效率,这是该项技术的核心。

2) 高效的热交换装置和风机的研发。低碳农业是应对气候变化的良方,高效的热交换装置和节能风机的研发,将会有助于提高水汽的回收效率和能量利用效率。

3) 系统结构与运行工况的优化及其智能控制技术研究。以水汽回收效率和能耗效率为目标,利用运筹学和系统控制论,对系统结构与运行工况参数的优化并融合智能控制技术进行研究是非常必要的,将会极大地降低技术、运行成本,从而提高经济、环境效益。

4) 经济效益和环境影响评价体系的研究。必须先将缺水地区水资源的生态价值和经济价值纳入技术和环境的收益,再对该项技术进行经济效益评估和环境影响评价。有必要嵌套陆地地表过程模型和区域气候模式,评价当该项技术在大田大规模应用后,是否造成对天气系统的影响,有多大影响,如何控制规模,等等科学问题。

这些问题一旦解决,该项技术的大面积推广应用也就指日可待,将会带来农业节水技术领域的革命,严重缺水地区定会创造奇迹。因此,我们呼吁国家抓紧投入专项研究经费,组织国内优势单位,对该项技术开展联合攻关,争取早日取得重大突破,为缺水地区人民造福。

——中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所
作物高效用水国家工程实验室 姜道柱,梅旭荣

本栏目专门刊登广大读者就促进科学技术发展提出的意见和建议,欢迎国内外科技工作者及各级科协、学会投稿。

(责任编辑 王芷)