

doi:10.11937/bfyy.20193269

温室蔬菜智能水肥一体化研究进展

孙红严¹, 马德新^{1,2}

(1. 青岛农业大学 动漫与传媒学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东省计算中心/国家超级计算济南中心, 山东 济南 250014)

摘要:蔬菜在生长的过程中需要对其进行合理的灌溉与施肥才能达到提质增产的目的,但由于盲目灌溉与不合理的施肥造成了蔬菜产量不高、大量肥料与农业用水资源的浪费。为此,该研究将结合温室蔬菜生产的实际状况,探究智能水肥一体化技术在温室蔬菜中的应用现状及其对温室蔬菜生理生长、品质状况、产量情况以及水肥耦合的影响效果。同时针对智能水肥一体化技术在温室蔬菜生产发展应用方面进行了研究展望。研究成果可用于提高温室蔬菜智能水肥一体化技术应用发展,以期促进温室蔬菜生产向着高效、节水、增产提质的方向发展。

关键词:温室蔬菜;水肥一体化;耦合效应;节水灌溉;智能施肥

中图分类号:S 152.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2020)08-0136-05

蔬菜是主要农业经济作物之一,作为餐桌上的必需品,其需求与种植规模都在不断的扩大。蔬菜在生长的过程中受到自身生理情况、种植品种与栽培技术的综合影响,同时还受施肥灌溉与环境条件等因素的影响。我国北方冬天温度较低,不适宜蔬菜生长,因此,可在温室中种植反季节的蔬菜,但由于传统的种植方式在灌溉施肥时难以把控,过量施肥造成土壤污染,大量灌溉浪费农业用水资源,并且利用率较低。因此,在温室蔬菜种植中应当加大智能水肥一体化技术的应用。

水肥一体化技术最早起源于以色列,我国目前水肥一体化在蔬菜、粮食、果树、茶树等种植中也得到了广泛的应用。水肥一体化简单来说就是

水肥协同耦合效应,普通的水肥一体化技术是将水与可溶性肥料按照一定比例进行混合,通过滴灌管道将水肥混合液送至作物根部,以供作物生长发育^[1]。随着科学技术的发展,在水肥一体化技术中融入云计算、物联网、传感器技术、人工智能等一系列现代技术,形成了智能水肥一体化技术。

智能水肥一体化即是由灌溉系统根据作物生长状况自动做出动态监测与灌溉决策执行的过程,进行深度的反馈学习并且能够实现精准化、智能化的灌溉^[2]。通过对温室蔬菜的需水、需肥规律和蔬菜生长所需营养元素进行深入研究,运用关键技术进行处理分析,这样能够充分发挥水肥耦合作用,提高蔬菜产量、质量和降低人工成本,同时减少农业用水资源以及肥料的浪费^[3]。为实现我国蔬菜产业新旧动能转化做出巨大贡献,促进农业生产可持续发展。

1 温室蔬菜智能水肥一体化

1.1 温室蔬菜智能水肥一体化灌溉体系简介

温室蔬菜智能水肥一体化灌溉体系中主要包括水源工程、输配水管网、动力装置、水肥混合装

第一作者简介:孙红严(1994-),男,硕士研究生,研究方向为水肥一体化技术。E-mail:1036523836@qq.com.

责任作者:马德新(1977-),男,博士,教授,硕士生导师,研究方向为精准施肥技术。E-mail:madexin@163.com.

基金项目:山东省重点研发计划资助项目(2019GNC106001);淄博市重点研发计划资助项目(2019gy010101);青岛市民生科技计划资助项目(18-6-1-112-nsh);山东省高等学校科技计划资助项目(J17KA154)。

收稿日期:2019-11-12

置、水肥控制管理平台、田间环境感知设备、手机和 PC 端软件应用构成。在温室蔬菜灌溉方式中最常用的灌溉方式为微灌,微灌又包括滴灌、微喷灌、脉冲微喷灌等^[4]。叶进等^[5]使用不同方式对苦瓜和番茄进行灌溉试验,结果表明滴灌不仅能够节约水资源而且还能提高作物的品质与产量,是最适宜蔬菜种植的微灌溉方法。现对温室蔬菜智能水肥一体化灌溉体系中的各方面进行详细介绍,其流程图见图 1。

1)水源工程。水源工程的主要作用就是提供水源,在一些干旱地区还有储备灌溉用水的功能,主要来源于蓄水池、井水、河水、湖泊等。但在使用前如有必要,需添加沙石过滤器、碟片过滤器或者离心式过滤器,防止沙石、水草等杂物堵塞管道。

2)输配水管网。输配水管网的主要作用是按照作物需求与管道设计将水肥运送至每个灌水单元。主要由主路和支路组成,主路承担运输作用,支路则通过滴灌的形式将水肥送至蔬菜所需位置。

3)动力装置。动力装置一般由水泵和加压装置构成,根据水阀、流量表、压力表的示数调控水泵和加压装置使其扬程和运行工作点在有效区的

范围内。

4)智能配施肥机。一般包括肥液混合灌、施肥器、操控平台等,主要作用是根据物联网云平台收集分析的数据进行精确配肥与精准化灌溉,降低人工的浪费。

5)田间环境感知设备。田间环境感知设备由各种传感器组成,可监测温室内湿度、温度、光照强度、土壤营养成分等因素,其中植物本体传感器则可以检测农作物外部生长情况,而且还能够检测作物自身数据信息,比如蔬菜叶面湿度、果实膨胀程度等,这些数据经过传感器的收集经过传感网传至云平台,通过大数据分析计算可对蔬菜灌溉做出决策。

6)物联网云平台。通过物联网和农业大数据的智能服务平台,将传感器收集的各种蔬菜相关数据传送至云平台,利用农业大数据进行挖掘计算,再结合本地专家知识库,控制智能配肥机和施肥机,从而实现智慧施肥。

7)手机和 PC 端应用软件。将智能水肥一体化技术系统开发成应用软件,这样用户就可以对相关设备进行远程操作,并且可以随时随地查看相关数据信息。

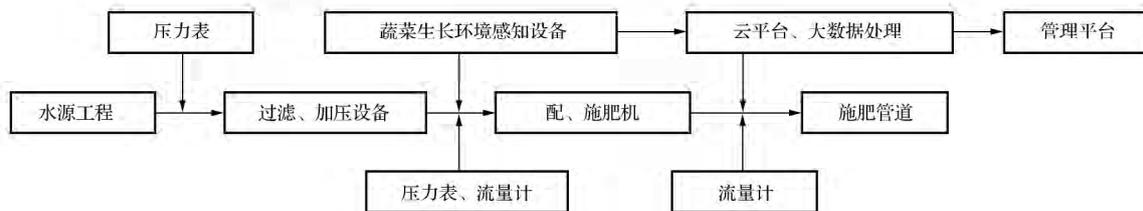


图 1 温室蔬菜智能水肥一体化灌溉体系

Fig 1 Intelligent water and fertilizer integrated irrigation system for greenhouse vegetables

1.2 温室蔬菜智能水肥一体化研究现状

温度、光照强度、水分以及营养元素对蔬菜的生长发育有着极大的影响,不同的温度、湿度和土壤营养成分都有可能会导致蔬菜减产或者发生病虫害。在我国北方地区由于冬天温度较低,为了解决温度问题人们采用温室种植的方法来栽种蔬菜。就目前来说我国温室蔬菜施肥灌溉方式存在一定的弊端,常常是靠自身进行灌溉追肥,这样就有可能造成水肥流失、影响作物正常生长,还有提高了人工成本等问题。为此,国内外的专家学者

对温室蔬菜灌溉施肥问题在农业工程等领域进行了大量的研究分析探讨工作。截止至 2019 年 8 月 14 日在 CNKI 上检索与水肥一体化在蔬菜上应用相关的文献进行统计分析,将检索结果按照被引量 and 下载量的排名进行排序,并分别对排名前 20 的文章进行分析,整理结果见表 1。蔬菜水肥一体化在技术发展与研究试验的分布相对均衡,但因为蔬菜中有很多品类应该加强对每种蔬菜实际应用技术的研究。在 CNKI 中搜索水肥一体化与现代技术相关的文献并进行整理,见表 2。

智能水肥一体化技术相对于传统的灌溉方式具有诸多的优势,在提升作物产量和品质的同时,也能减少农业用水资源和肥料的浪费。并且随着信息技术的快速发展,越来越多的现代信息科技应用

在了农业领域,运用人工智能、大数据、物联网等技术将是以后农业发展的研究方向,对实现对智慧农业巨大的促进作用。

表1 水肥一体化在蔬菜应用方面相关文献按被引量 and 下载量的各前20名分析

Table 1 Analysis of the top 20 literatures related to water and fertilizer integration in vegetable applications by citation and download

项目 Item	技术试验研究 Technical test research	应用技术研究 Applied technology research	发展研究 Progress research
被引量文章篇数 Cited articles	9	7	4
下载量文章篇数 Downloads articles	5	5	10

表2 智能水肥一体化技术的关键技术应用及其优势

Table 2 Key technology applications and advantages of intelligent water and fertilizer integration technology

应用技术 Applied technology	优点 Advantage
物联网技术 ^[6] Application technology	降低人工成本,传输控制不受时间、空间限制
云计算技术 ^[7] Cloud computing technology	提高精准性、实时性
大数据技术 ^[8] Big data technology	精准计算、自动、智能、远程管理
智能监控技术 ^[9] Intelligent monitoring technology	对田间实施全景监控,实时上传数据

2 智能水肥一体化对温室蔬菜生长生产影响的研究现状

2.1 对温室蔬菜生长品质的影响

杜常亮等^[10]在温室中采用随机区块组合对马铃薯进行试验,研究表明灌溉与施肥投入对马铃薯生长、产量和品质的影响较大。HEBBAR等^[11]在对番茄进行水肥田间试验时也发现水肥对番茄的生长和品质会产生巨大的影响,且水肥这2种影响因素是诸多因素中最好进行控制的。李耀霞等^[12]通过对灌水上限和施肥配比调控,研究其对日光温室番茄生长发育的影响,结果表明,在F2W2(80%灌水上限+节肥20%)灌溉施肥条件下,番茄的水肥吸收率最高,对其生长促进作用最大。王丽学等^[13]研究了水肥协同作用对陕北地区温室马铃薯生长品质的影响,通过对3个灌水水平以及3个施肥水平组进行试验,发现水肥协同作用对温室马铃薯不同生长期的株高、茎粗、叶面积、叶绿素含量、产量和品质有巨大的影响。

2.2 对温室蔬菜养分、水分利用效率的影响

李银坤等^[14]通过设置不同灌溉施肥的模式,研究其对温室番茄节水省肥效能上的不同,结果表明,基于负压装置的供液模式,养分(N+P₂O₅+K₂O)的周年投入比分别降低了5.0%和

17.2%,同时更加有效促进了番茄植株生长,提升了番茄产量与品质。贾宋楠等^[15]探究了温室秋冬茬番茄在高效水肥灌溉模式下的生长发育时期营养成分移动规律,结果表明,番茄果干物质积累过程与Logistic函数轨迹几乎一致,在番茄结果期灌溉施肥是非常有必要的。王鹏勃等^[16]研究了温室条件下袋培番茄的水肥使用与水分利用率的关系,结果表明,在单株灌水量一定时,产量随着施肥量的增加表现出抛物线的轨迹,施肥量、灌水量以及水肥的相互作用对番茄产量的影响都极其显著,其影响大小顺序为水分作用>肥料作用>水肥交互作用。

2.3 对温室蔬菜生长环境与土壤理化性的影响

张绍武等^[17]以水肥使用量为试验条件,对温室土壤硝态氮残留的影响进行了探究,试验方法为五元二次通用旋转组合设计,试验数据结果显示灌水量在455.1~471.5 mm,施氮量532.3~586.5 kg·hm⁻²,施磷量420.8~466.4 kg·hm⁻²,施钾量646.1~723.5 kg·hm⁻²,有机肥用量25.6~27.9 t·hm⁻²,耕层土壤硝态氮量一般能保持在100~150 mg·kg⁻¹的区间内浮动,为较低水平。所以当温室菜地土壤硝态氮残留量较高时,能够通过一定的水肥来降低硝态氮残留的影响,从而有利于蔬菜的生长。罗勤等^[18]以温室土

壤水分作为研究对象,将“千鼎一号”小型西瓜作为试验材料,采用张力计监测0~20 cm和20~50 cm温室土壤水分的变化,结果显示,灌溉定额为 $570 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时水肥的利用率最高。李若楠等^[19]对温室秋冬茬番茄-冬春茬黄瓜进行了研究分析,基于试验结果提出了在新建设日光温室内采用单施化肥、化肥与农家肥配合使用,可以在较短的时间内增强土壤无机氮供应强度,以满足温室蔬菜的需求,改善蔬菜生长环境。

3 研究展望

3.1 加大对温室蔬菜智能水肥一体化关键技术的研究

施肥灌溉智能控制的核心是控制系统,它通过环境采集终端进行数据上传,结合相关知识系统与实际状况给出最优的灌溉决策,从而达到精准、自动灌溉施肥^[20]。在进行收集信息、灌溉决策、自动控制时需要利用现代信息技术,利用物联网技术可将温室内各传感器组成传感网,实现无线信息数据传输,通过连接控制器可实现信息化、远程管理控制施肥灌溉。在对温室环境以及蔬菜生长情况进行检测时会产生大量数据,利用云平台进行存储,可减少存储资源的浪费,简单方便快捷。将云计算技术引入到水肥一体化中,利用大数据技术进行挖掘储存在云端的温湿度、光照强度、土壤含水量等一系列数据,结合专家知识系统做出灌溉决策。在控制系统中一般采用PLC作为核心硬件,结合相关信息技术进行自动或者手动控制施肥灌溉。因此,应当加大对水肥一体化关键技术的研究,使施肥灌溉向着更加智能化、精准化发展。

3.2 探索创新温室蔬菜智能水肥一体化模式研究

探索研究温室蔬菜地下滴灌水肥一体化模式。蔬菜根系在土壤里主要进行养分吸取以及水分吸收,进行地下滴灌水肥一体化研究,降低水分以及养分在施肥灌溉时的挥发,提高利用率,同时促进蔬菜根系向着土壤深处生长,增强吸取营养成分的能力,从而提升蔬菜的经济效益。加强对温室蔬菜膜下滴灌水肥一体化模式的研究,在膜下滴灌施肥的基础上,利用现代信息技术进一步

降低水分和养分的流失,结合实际作物情况,加强温室蔬菜膜下灌溉施肥技术的研究。增加对多种微灌模式结合使用的模式,微灌、喷灌、滴灌等灌溉方式各有其优势,综合各种灌溉模式的优点,结合其对温室蔬菜生理生化以及品质产量、经济效益等方面的研究成果,形成适合温室蔬菜灌溉施肥的模式^[21]。

3.3 建立合适温室蔬菜水肥一体化的数学模型

蔬菜是我国主要的农业经济作物之一,它对种植区域以及种植环境的要求较高,在我国北方地区的冬天常以温室的形式进行种植。目前,很多专家学者以产量为因变量,施肥量和灌溉量作为自变量进行数学回归模型建立。张昌爱等^[22]在温室对芹菜进行了试验,建立了适合芹菜的水肥一体化模型,并根据模型得出了最佳施肥灌溉组合,提高了水肥利用率以及蔬菜产量和品质的增长。但蔬菜中品种较多,因此应加大对不同品种蔬菜的研究,建立合适的温室蔬菜水肥数学模型。

4 结语

温室蔬菜水肥一体化技术的应用是现代农业发展前进的必然要求,与传统的灌溉施肥方向比,智能水肥一体化在节约资源、降低成本、精准施肥、智能控制、提质增产等方面具有重大的优势。智能水肥一体化技术的合理发展运用,对于我国温室蔬菜向着智能化发展具有重要的意义,应用前景非常广阔。

参考文献

- [1] 孙红严,马德新.基于物联网的水肥精确配比技术[J].内蒙古科技与经济,2019(9):78-79,81.
- [2] 王应海,刘勇兵.对智能灌溉的几点认识[J].节水灌溉,2017(7):123-129.
- [3] 吴现兵,白美健,李益农,等.蔬菜水肥一体化研究进展分析[J].节水灌溉,2019(2):121-124.
- [4] 吴萍,马敬,李艳杰,等.简述微灌的种类、特点及适用范围[J].北方园艺,2002(3):7.
- [5] 叶进,刘玲,虎海波.攀枝花市蔬菜节水灌溉的实验研究[J].农机化研究,2006(2):106-108.
- [6] 赵进,张越,赵丽清,等.水肥一体化智能管理系统设计[J].中国农机化学报,2019,40(6):184-190.
- [7] 张宾宾,李家春,蔡秀,等.基于云计算的水肥一体化控制体

- 系研究[J]. 农机化研究, 2020, 42(4): 192-197.
- [8] 曾海明. 基于大数据云平台的智能水溶肥配肥技术[J]. 中国农业信息, 2016(7): 100-101.
- [9] 臧贺藏, 王言景, 张杰, 等. 基于物联网技术的设施作物环境智能监控系统[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(5): 81-87.
- [10] 杜常亮, 王秀康, 王宁, 等. 水肥互作效应对陕北温室马铃薯生长及品质的影响[J/OL]. 分子植物育种: 1-14[2019-08-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20190424.1107.004.html>.
- [11] HEBBAR S S, RAMACHANDRAPPA B K, NANJAPPA H V, et al. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(1): 117-127.
- [12] 李耀霞, 郁继华, 张国斌, 等. 灌水上限和施肥量对温室番茄生长发育的影响[J/OL]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(2): 42-51.
- [13] 王丽学, 李振华, 姜熙, 等. 不同水肥条件对温室黄瓜生长及产量品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(1): 78-86.
- [14] 李银坤, 郭文忠, 薛绪掌, 等. 不同灌溉施肥模式对温室番茄产量、品质及水肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3757-3765.
- [15] 贾宋楠, 范凤翠, 刘胜尧, 等. 施肥量对温室滴灌番茄干物质累积、产量及水肥利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 21-29.
- [16] 王鹏勃, 李建明, 丁娟娟, 等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2): 314-323.
- [17] 张绍武, 胡田田, 刘杰, 等. 滴灌施肥下水肥用量对温室土壤硝态氮残留的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 56-63.
- [18] 罗勤, 陈竹君, 雷金繁, 等. 水肥减量对日光温室小型西瓜产量品质及土壤水分状况的影响[J]. 北方园艺, 2014(9): 48-53.
- [19] 李若楠, 张彦才, 黄绍文, 等. 节水控肥下有机无机肥配施对日光温室黄瓜-番茄轮作体系土壤氮素供应及迁移的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 677-688.
- [20] 张宾宾, 李家春, 蔡秀, 等. 基于云计算的水肥一体化控制体系研究[J]. 农机化研究, 2020, 42(4): 192-197.
- [21] 谢湛, 邵孝侯, 段卫东, 等. 烤烟水肥一体化技术研究与应用进展[J]. 土壤, 2019, 51(2): 235-242.
- [22] 张昌爱, 张民, 马丽, 等. 设施芹菜水肥耦合效应模型探析[J]. 中国生态农业学报, 2006(1): 145-148.

Research Progress of Integration of Intelligent Water and Fertilizer in Greenhouse Vegetables

SUN Hongyan¹, MA Dexin^{1,2}

(1. School of Animation and Media, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Shandong Computer Science Center/National Supercomputing Jinan Center, Jinan, Shandong 250014)

Abstract: In the process of growing vegetables, reasonable irrigation and fertilization are needed to achieve the purpose of improving quality and increasing yield. However, due to blind irrigation and unreasonable fertilization, the yield of vegetables is not high, and a large amount of fertilizer and agricultural water resources are wasted. To this end, this study combined the actual situation of greenhouse vegetable production, explored the application status of intelligent water and fertilizer integration technology in greenhouse vegetables and its effects on physiological growth, quality yield and water and fertilizer coupling of greenhouse vegetables. At the same time, the application of intelligent water and fertilizer integration technology in the development and application of greenhouse vegetable production was prospected. The relevant research results in this study could be used to improve the application development of greenhouse water and vegetable intelligent water and fertilizer integration technology, in order to promote the development of greenhouse vegetable production in the direction of high efficiency, water saving, production and quality improvement.

Keywords: greenhouse vegetables; water and fertilizer integration; coupling effect; water saving irrigation; intelligent fertilization