

有机栽培水肥一体化系统设计与试验

李友丽 李银坤 郭文忠 赵倩 贾冬冬 聂铭君

(北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 设计了一种有机栽培水肥一体化系统,该系统集有机液肥制备、肥料配比和自动灌溉于一体,在各子程序控制下分别进行有机物料的有氧发酵、原液过滤、配比与稀释、决策灌溉与执行,实现了有机栽培的营养液制备与管理一体化,水肥管理的高效化和精细化。为验证有机水肥一体化系统的可靠性与适用性,以椰糠为有机基质,在日光温室内开展了有机无土黄瓜栽培试验。结果表明,有机栽培水肥一体化系统运行稳定,较好地实现了有机液肥制备、黄瓜生产液肥配置及灌溉的机械化、自动化,大幅降低了劳动成本,提高了生产效率;发酵系统中循环系统和搅拌系统的周期性自动运行创造了良好的发酵条件,制备的3种有机液肥经过逐级过滤后达到了120目滴灌要求,适用于微灌灌溉;所含必需营养元素浓度较高,稀释几倍到数十倍后仍能满足黄瓜的养分需求;配肥系统中水泵和吸肥电磁阀在程序控制下执行开闭命令,参照设定的混液桶液位和灌溉液肥电导率上下限值完成每次灌溉液肥配制;灌溉系统完全执行了灌溉决策命令,即整点打开田间电磁阀进行灌溉,当流量计反馈的本次灌溉量达到设定值时,关闭对应电磁阀,结束本次灌溉;系统的稳定运行为有机黄瓜生产提供了所需水分和养分,确保了黄瓜的产量和品质,产量达48 165 kg/hm²,其品质指标可溶性总糖为2.7%,还原型维生素C为99.2 mg/kg,可滴定酸度为0.08%。

关键词: 水肥一体化; 发酵系统; 灌溉系统; 有机液肥; 有机栽培

中图分类号: S275; S626.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0273-07

Design and Test of Integrated Water and Fertilizer System in Organic Cultivation

Li Youli Li Yinkun Guo Wenzhong Zhao Qian Jia Dongdong Nie Mingjun

(Beijing Research Centre of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: A water and fertilizer integrated system for organic cultivation was designed. The system integrated functions of preparing and compounding organic liquid as well as automatical irrigation. Through different subroutines of the system, the aerobic fermentation of organic materials, liquid filtration, compounding and dilution of stock solution, and decision and execution of irrigation strategy can be conducted. Thus, the integration of preparation and management of nutrient solution in organic cultivation, as well as high efficiency and fine management in water and fertilizer could be achieved. In order to verify the reliability and applicability of the system, coconut chaff was selected as organic matrix and non-soil and organic cultivation experiment of cucumber was carried out in the solar greenhouse. The results showed that the system was operated stably in preparation of organic liquid and management of water and fertilizer was good in cucumber cultivation. The mechanization and automation of organic fertilizer and water management was implemented. The yield of cucumber was up to 48 165 kg/hm², the content of total soluble sugar, vitamin C and titratable acidity were 2.7%, 99.2 mg/kg and 0.08%,

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-19

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD05B02)、国家自然科学基金青年基金项目(41501312)、北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140415)和北京市优秀人才项目(2015000057592G267)

作者简介: 李友丽(1985—),女,助理研究员,主要从事设施蔬菜水肥一体化研究,E-mail: lily@nrcita.org.cn

通信作者: 郭文忠(1970—),男,研究员,主要从事设施园艺工程技术与智能装备研究,E-mail: guowz@nrcita.org.cn

respectively. The development and application of this system would break through the bottleneck that existed in water and fertilizer management in organic cultivation, and it had important realistic significances.

Key words: integration of water and fertilizer; fermentation system; irrigation system; organic nutrient solution; organic cultivation

引言

有机作物生产体系是现代农业可持续发展的农业模式之一^[1]。有机液肥是一种纯天然、多功能、高肥效、环保型的有机液体肥料,与传统化肥相比,具有易被作物吸收利用、无残留和污染、施用简单等特点。有机液肥是有机物料合理配比后在微生物菌剂作用下发酵而成,其在活化土壤、保持地力、抑制病害及提高作物产量和品质等方面的效果显著^[2-3]。已有研究表明,将海产品浆液、豆饼、糖、骨粉、母液以及清水按比例混合发酵,可获得有机质含量在 28% 以上,纯氮、磷、钾含量在 8% 以上以及微量元素含量在 2% 以上的有机液肥^[4]。在番茄、辣椒生产上,有机液肥根施+叶面喷施可显著提高产量,增幅在 10% 以上^[5]。目前,有机栽培作物的水肥管理一般采用定植前施足固态有机肥,生长期大水灌溉的简单模式。这种模式固态有机肥肥效慢,养分含量不稳定;体积大,制造费工费力;施用机械化程度低,劳动强度大^[6]。再次,长季节栽培后期或随着种植年限的延长,土壤速效养分(尤其氮、磷、钾等需求量较大的养分)逐渐被消耗殆尽,导致出现养分供应不足、作物生长受抑制以及病虫害加重等问题,限制了有机栽培效益的提高,也是制约有机农业发展的瓶颈所在。

水肥一体化技术可根据土壤性状、作物生长及水肥需求规律精确调控土壤水分和养分,具有节水、节能、省工、增产增收以及便于规模化管理和标准化生产等优点^[7-10]。现有研究中,水肥一体化所用肥料主要为可溶性的化学矿物质肥,仅限于常规栽培中,并不适用于有机栽培体系。基于上述问题,本文设计一种有机水肥一体化装备系统,用于有机栽培作物的水肥一体化管理,以有助于推动有机栽培水肥管理高效化和有机生产轻简化发展。

1 系统设计

1.1 系统需求分析

目前,有机栽培农业的水肥应用仍以传统管理模式为主,缺少一种能够实现有机栽培作物水肥一体化管理的系统和生产模式。基于此,提供一种适用于有机栽培的水肥一体化系统,通过将有机液肥

发酵系统与水肥一体化技术相结合,能够实现有机栽培作物水肥的智能化、精细化管理,大幅度提高劳动生产效率。

1.2 系统设计及流程

设计的有机栽培水肥一体化系统,主要包括:有机液肥发酵系统、配液施肥系统、控制系统和灌溉系统。系统的工作流程如图 1 所示。

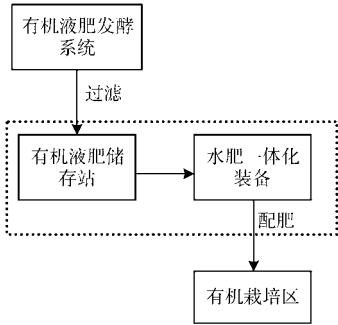


图 1 系统工作流程图

Fig. 1 Work flow chart of negative pressure irrigation system

有机液肥发酵系统包括发酵罐、循环系统和曝气供气系统,实现有机物料有氧发酵、肥液自循环均匀发酵和初级过滤。配液施肥系统包括混液罐、施肥水泵、吸肥器和储液箱,将储存的有机液肥原液配置成适宜浓度的有机营养液。控制系统可以实现所述有机水肥一体化系统中所有电磁阀、水泵的开启、关闭和各种传感器采集数据的检测、记录。灌溉系统包括水源、灌溉水泵、第 1 过滤器、施肥泵、施肥电磁阀和田间控制阀,能够实现在有机栽培区域的灌溉管理。

2 系统实现

2.1 系统结构

图 2 为系统的结构图。有机水肥一体化系统主要包括水源、有机液肥发酵系统、配液施肥系统、控制系统和灌溉系统。

有机液肥发酵系统包括发酵罐、循环泵和曝气装置。发酵罐可分别发酵不同的有机液肥。发酵罐内有过滤层,可实现发酵液的初级过滤。循环泵安装在发酵罐外,其进水口与出水口分别与发酵罐的底端与顶端连接,可实现发酵液由下至上的循环,使发酵液充分均匀。发酵罐内布置有液位传感器,用于辅助控制循环系统,即液位传感器实测数据小于

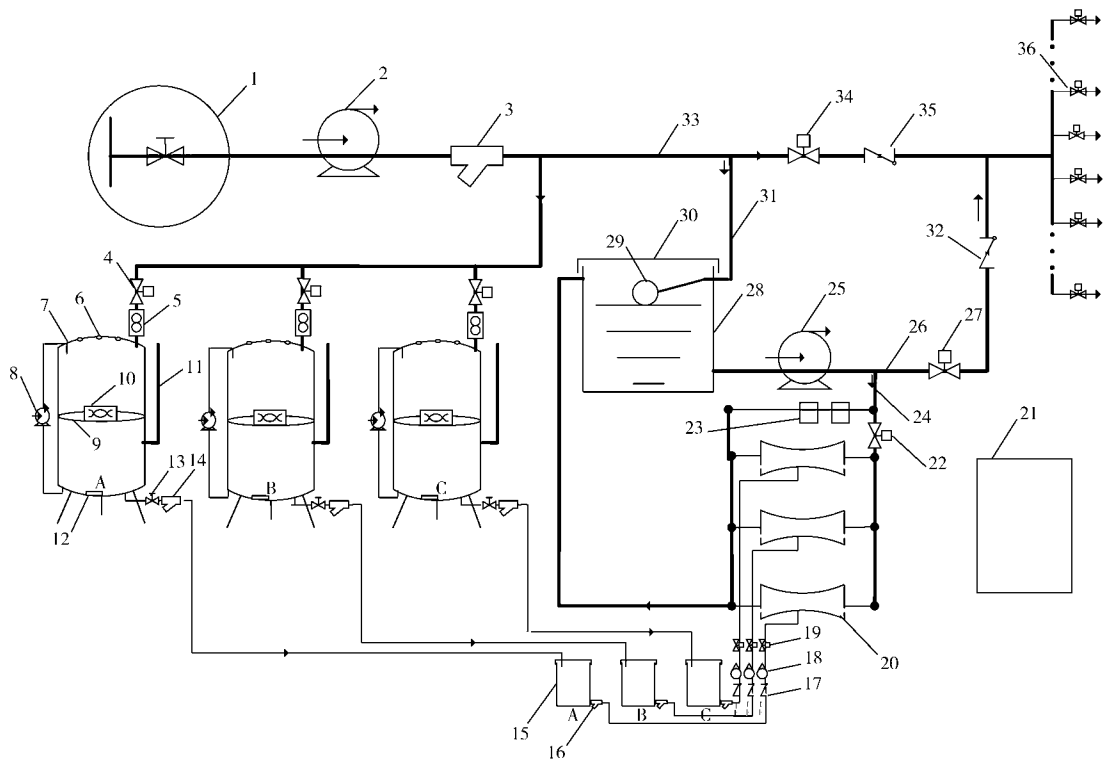


图2 有机水肥一体化系统结构图

Fig. 2 Structure diagram of organic fertigation system

1. 水源 2. 灌溉水泵 3. 第1过滤器 4. 注水电磁阀 5. 流量传感器 6. 通气孔 7. 发酵罐 8. 循环泵 9. 过滤层 10. 曝气装置 11. 通气管 12. 液位传感器 13. 排液阀门 14. 第2过滤器 15. 储液箱 16. 第3过滤器 17. 吸液止回阀 18. 浮子流量计 19. 吸液电磁阀 20. 吸肥器 21. 控制柜 22. 配液电磁阀 23. 肥液检测装置 24. 配液管道 25. 施肥水泵 26. 施肥管道 27. 施肥电磁阀 28. 混液桶 29. 液位传感器 30. 混液桶盖 31. 注水管 32. 施肥逆止阀 33. 灌溉管道 34. 灌溉电磁阀 35. 灌溉逆止阀 36. 田间控制阀

等于系统设置的液位下限或大于等于液位上限时，本次循环不启动。曝气装置置于过滤层上，用于氧气供应，为有机物料发酵提供良好的有氧条件。发酵罐侧面有通气管，以保持发酵罐下层空间与外界环境的气体畅通。在发酵罐中发酵好的有机液肥经第3过滤器抽至对应储液箱中待用，更换发酵罐中的物料等，继续进行新一轮发酵制备有机液肥。

配液系统包括混液罐、施肥水泵、吸肥器以及储液箱。混液罐用于混合配比肥液，其内安装有液位传感器，以实时监测所述混液罐内的液位，辅助配液。混液罐上口还有封盖，防止杂物进入混液罐。施肥水泵后连接有施肥管道和配液管道，施肥管道串联有施肥电磁阀和施肥逆止阀，并与灌溉管道连接。配液管道还连接有肥液检测装置和配液电磁阀。配液电磁阀后连接多个文丘里吸肥器（可根据实际需求增减吸肥器），文丘里吸肥器吸液端连接有吸液电磁阀、浮子流量计、吸液止回阀以及第3过滤器，最后与储液箱连接。肥液检测装置与文丘里吸肥器平行安装，用于检测肥液浓度和酸碱度。

灌溉系统包括灌溉水泵、第1过滤器、灌溉电磁阀和灌溉逆止阀，及施肥水泵、施肥管道、施肥电磁阀和施肥逆止阀。灌溉水泵后连接第1过滤器，第

1过滤器后依次连接灌溉电磁阀和灌溉逆止阀。施肥管道连接到灌溉管道上，灌溉管道末端连接若干田间控制阀，田间控制阀可以实现对田间灌溉的控制。

灌溉水泵、灌溉电磁阀、田间控制阀、施肥水泵、施肥电磁阀、肥液检测装置、配液电磁阀、吸液电磁阀、循环泵、搅拌机、注水电磁阀和流量传感器均与控制系统电连接，控制系统可以实现对水泵和电磁阀的开启和关闭以及所述传感器采集数据的检测和记录。

2.2 系统工作步骤

有机水肥一体化系统的工作步骤如下：①通过控制系统控制有机液发酵系统，开启注水电磁阀，使水流进入发酵罐，同时，将有机物料、发酵菌剂按比例添加至发酵罐内，通过曝气装置及循环泵工作，一方面获得良好的有氧发酵条件，另一方面形成液体环流使发酵液浓度均匀；待一个发酵周期完成后，将制备好的有机液肥输送至储液箱待用。②通过控制系统控制配肥系统，关闭灌溉电磁阀和施肥电磁阀，开启施肥水泵、配液电磁阀；通过灌溉水泵向混液罐注入水流，并在施肥水泵的作用下使水流经过吸肥器，吸肥器利用负压将储液箱内的发酵液输送至混

液罐内,并在混液罐内配成作物所需浓度的肥液;同时,经过肥液检测装置检测判断肥液浓度是否达到设定值,在肥液浓度满足需求后关闭配液电磁阀,完成本次配液。③通过控制系统控制灌溉系统,开启灌溉水泵、灌溉电磁阀,或施肥水泵和施肥电磁阀,及所需灌溉地块的田间电磁阀,在水泵的动力作用下使水流(肥液流)经管道进入田间,进行清水或肥液灌溉。

2.3 系统硬件

考虑到系统的扩展性和开发周期,以 PLC 作为核心控制器,以触摸屏作为人机界面的设计方案。控制系统的硬件由电源模块、核心控制器、AD 模拟量采集模块、串口通信模块以及外围传感器接口模块组成。系统利用触摸屏进行现场参数设定,PLC 通过串口通信模块调用设定参数,并结合传感器监测数据进行管理决策,从而控制水泵、电磁阀等执行元器件的打开和关闭,实现有机栽培作物水肥一体化的自动管理和生产。

2.4 系统软件

控制系统软件开发环境为 Windows 7,基于组态软件的可视化操作功能,在上位机设计系统监控画面。基于系统功能,该控制系统采用模块化设计方法,将主程序分解为发酵子程序、配液子程序和灌溉子程序等模块。在 PLC 执行程序的过程中,总是在扫描周期内顺序地执行主程序,主程序根据相应条件不断地调用相应子程序。系统主程序流程如图 3 所示。

参照图 3,控制系统采用顺序控制的方法,以时间作为子程序执行入口,灌溉时间、发酵启动时间以及液位下限通过触摸屏现场设定。

3 应用试验

3.1 试验材料与方法

在北京市小汤山国家精准农业研究基地 5 号日光温室安装有机水肥一体化装备及无土栽培系统(自主研发),于 2015 年 7—11 月份进行有机栽培水肥一体化系统应用试验。其中,发酵系统的发酵罐体积为 4 m³,单次发酵可得到有机液肥 3 m³;灌溉

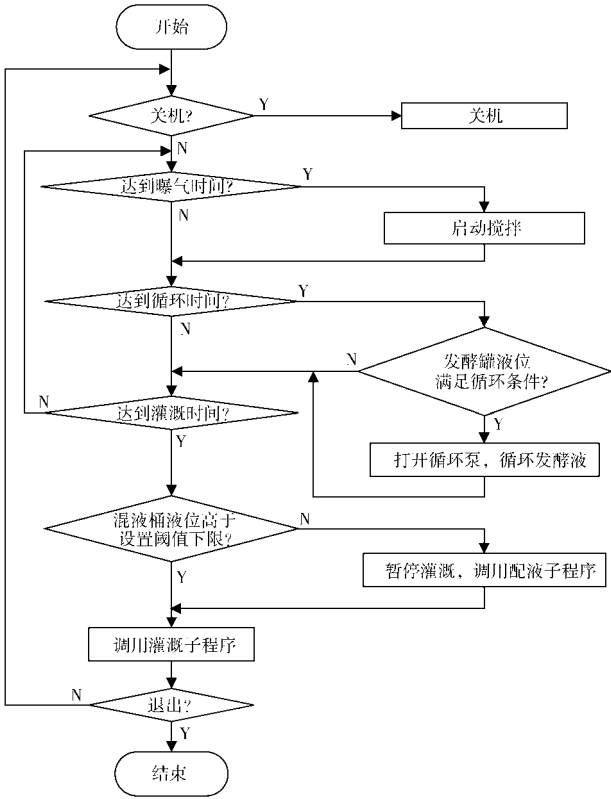


图 3 控制系统主程序流程图

Fig. 3 Main program flow chart of control system

系统的流量为 0.2 ~ 20 m³/h,配有 5 路吸肥(药)通道,吸肥速率为 0.3 m³/h;无土栽培系统由栽培架、基质槽(5 m × 0.2 m × 0.16 m)、滴灌系统组成。以椰糠为栽培基质(有机),黄瓜(中农 26)为供试作物,于 8 月 17 日定植,定植密度 30 000 株/hm²,采收期为 9 月 21 日—11 月 10 日。所有生产管理操作严格遵守有机黄瓜生产操作技术规程。具体试验内容如下:

(1)利用有机液发酵系统制备有机液肥,3 种有机液肥的原料配方如表 1 所示,在上位机界面中设定循环周期(10 min/h)和曝气周期(15 min/h)。发酵终止时,监测 3 种有机营养液中目标元素硝态氮和铵态氮(流动分析法)、速效 P、速效 K 的含量(ICP 法),及 Ca、Cu、Fe、Mg、Mn、Zn 等其他必需营养元素含量(ICP 法),以验证系统控制下所制备的有机营养液质量。

表 1 3 种有机液肥的制备配方

Tab. 1 Preparation of three kinds of organic nutrient solution

材料	有机液肥 1		有机液肥 2			有机液肥 3			黑糖	发酵菌剂	清水
	豆饼	豆秸	鸡粪	骨粉	磷矿粉	草木灰	秸秆	钾矿粉			
质量/kg	70	34	70	17	14	60	27	14	7	0.25	1 000

(2)利用灌溉系统进行营养液配比与灌溉管理,记录灌溉时间和灌溉量,参比系统嵌入的自动灌溉模型分析或计算值,以验证灌溉系统稳定性。其

中,在营养生长期的初果期和盛果期将灌溉液肥电导率分别控制在 1.8 ~ 2.2 mS/cm 和 2.2 ~ 2.5 mS/cm^[11],采用时序法进行自动管理营养液灌

溉,07:00—18:00 每整点启动电磁阀进行灌溉,单次灌溉量为 0.4 mm/h^[12],每个流量计记录 1 个重复的累积灌溉量,反馈信息至系统控制,当本次灌溉量达到设定值(折算每个重复的灌溉量为 2.8 L)时,自动关闭电磁法,结束本次灌溉。试验设 3 次重复。

(3)在灌溉系统控制下对发酵系统制备出的 3 种有机营养液进行浓度配比和灌溉决策,经滴灌系统输送至黄瓜根系,进行黄瓜有机基质栽培的水肥一体化自动管理。同时,测量产量,测定黄瓜品质包括粗蛋白(凯氏定氮法)、可溶性总糖(蒽酮比色法)、还原型维生素 C(2,6-二氯酚酚滴定法)、可滴定酸度(碱测定法)和硝酸盐含量(浓H₂SO₄-水杨酸法)^[13],以分析有机水肥一体化系统在生产中的应用效果。

试验数据采用 Excel 进行处理,用 SPSS 17.0 软件进行显著性差异分析($P < 0.05$)。

3.2 结果与分析

3.2.1 应用有机液肥发酵系统制备有机营养液

按照配方将发酵物料、微生物和水加入发酵罐后,启动发酵装置,在系统控制下按照设定参数启动/停止循环和曝气系统(图 4),确保制备有机液肥

的有氧条件。经一个发酵周期(20 d 左右)关闭发酵系统,将 3 种有机液肥经第 2 过滤器抽至对应储液罐中待用,此时的有机液肥已达到了 120 目滴灌的标准,可用于微灌灌溉。同时,从储液罐中分别取有机液肥各 50 mL,检测铵态氮、硝态氮、速效 P、速效 K、Ca、Cu、Fe、Mg、Mn、Zn 含量。由表 2 结果可知,3 种有机液肥所含养分元素含量是山崎黄瓜营养液配方^[14]中对应元素的几倍到数十倍,认为 3 种有机液肥可作为营养液原液,经灌溉系统控制,满足黄瓜生长发育的养分供应。可见,该有机液肥发酵系统具备较好的有机液肥制备条件,使高浓度有机液肥制备流程高效化。

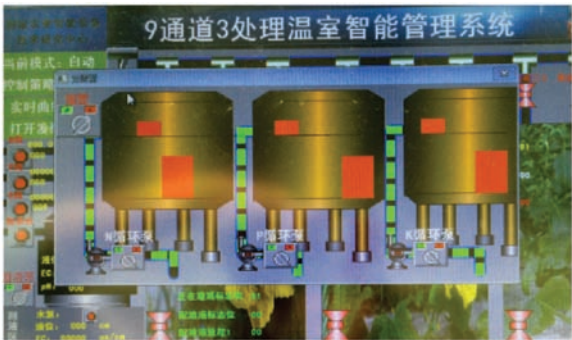


图 4 循环系统运行的显示界面

Fig. 4 Display interface of running for circulating system

表 2 3 种有机液肥中养分含量

Tab.2 Nutrient content of three kinds of organic nutrient solution

项目	mg/L									
	铵态氮	硝态氮	P	K	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
有机液肥 1	594.26	75.08	1 167.00	2 966.00	3 897.00	0.24	6.15	757.20	12.79	0.87
有机液肥 2	162.74	0.33	167.30	988.40	2 356.00	0	7.59	673.70	4.90	0.22
有机液肥 3	135.60	0.86	1 028.00	1 649.00	3 686.00	0.28	3.04	841.40	113.80	7.50

3.2.2 应用灌溉系统管理营养液灌溉

根据系统中所写程序,上位机触摸屏的控制界面中显示计算灌溉量或设定灌溉量 2.8 L 和本次灌溉量(实时数据),在 07:00—18:00 的整点时刻,系统打开灌溉电磁阀 1、2、3 进行灌溉,对应的流量计记录并反馈累积灌溉量,当本次灌溉量达到 2.8 L 时,系统关闭电磁阀(田间控制阀),结束本次灌溉,同时记录灌溉详情,包括灌溉量和结束灌溉的时间。从上位机下载 2015 年 9 月 3 日灌溉系统管控下的详细灌溉情况如表 3 所示,可以看到当日 07:00—18:00,每整点时各电磁阀打开启动灌溉,单次灌溉量均为 2.8 L,与设定灌溉量一致,说明该灌溉系统运行稳定,能较好地实现数据采集与存储、命令发送与执行,应用于有机蔬菜生产中,可帮助实现其水肥管理的精细化、高效化。

3.2.3 有机水肥一体化系统在黄瓜栽培中的应用

黄瓜是对水肥敏感的作物,而基质的持水性、缓冲型等较土壤差,基质栽培条件下极易出现水肥供

应不足或过量、基质盐渍化等问题,合理的灌溉制度对确保黄瓜的水分、养分充足供应及产量和品质等至关重要^[15]。在本试验条件下,利用有机水肥一体化系统制备了高浓度有机液肥,抽至储液罐中待用;配肥系统控制水泵和吸肥电磁阀开闭,可配置适宜浓度的营养液(初果期 1.8 ~ 2.2 mS/cm 和盛果期 2.2 ~ 2.5 mS/cm);灌溉系统通过决策模型和配套数据采集器的反馈信息,调控水泵和田间电磁阀开闭,完成黄瓜有机基质(椰糠)栽培水肥的精细化、自动化管理。

试验黄瓜全生育期灌溉量为 3 118 m³/hm²,单株黄瓜日均灌溉量为 1.35 L,李邵等^[16]利用负水头盆栽灌溉装置在温室中种植黄瓜得到单株黄瓜主动耗水的日均耗水量为 0.39 L,认为该系统灌溉管理能满足黄瓜水分供应。本试验条件下每次灌溉的排出液(回液)体积为该次灌溉量的 20% ~ 25%,排出液的电导率与灌溉液电导率差值为 0.5 ~ 1.0 mS/cm。SCHRODER 等^[17]认为,在无土栽培的单次营养液

表 3 有机水肥一体化系统控制下 2015 年 9 月 3 日的灌溉量

Tab.3 Irrigation amount under control of organic fertigation system on September 3, 2015				L			
灌溉停止时间	电磁阀 1	电磁阀 2	电磁阀 3	灌溉停止时间	电磁阀 1	电磁阀 2	电磁阀 3
07:02:51	—	—	2.8	13:01:54	—	—	2.8
07:03:50	2.8	—	—	13:11:15	2.8	—	—
07:04:01	—	2.8	—	13:11:44	—	2.8	—
08:04:39	—	—	2.8	14:02:16	—	—	2.8
08:05:33	2.8	—	—	14:11:17	2.8	—	—
08:06:30	—	2.8	—	14:11:40	—	2.8	—
09:07:03	—	—	2.8	15:02:18	—	—	2.8
09:08:01	2.8	—	—	15:03:38	2.8	—	—
09:08:12	—	2.8	—	15:04:10	—	2.8	—
10:02:17	—	—	2.8	16:02:02	—	—	2.8
10:03:32	2.8	—	—	16:11:27	2.8	—	—
10:04:43	—	2.8	—	16:12:04	—	2.8	—
11:03:03	—	—	2.8	17:02:17	—	—	2.8
11:04:28	2.8	—	—	17:03:34	2.8	—	—
11:04:28	—	2.8	—	17:03:54	—	2.8	—
12:04:27	—	—	2.8	18:10:09	—	—	2.8
12:05:28	2.8	—	—	18:11:40	2.8	—	—
12:06:33	—	2.8	—	18:12:08	—	2.8	—

管理中,合理的营养液灌溉制度应为排出液(回液)体积占灌溉液的 15% ~ 30%,灌溉液电导率与排出液电导率差值不超过 1.0 mS/cm。研究结果与上述结论一致。说明在有机水肥一体化系统控制下的营养液灌溉管理合理,既能满足黄瓜水分、养分需求,又能确保良好的根系环境。

在有机水肥一体化系统管理下,黄瓜单株产量 1.69 kg,总产量达 48 165 kg/hm²,黄瓜品质指标较优(表 4)。可见,基于本系统的有机液肥智能化、精细化管理能够确保无土有机栽培黄瓜的产量和优良品质。说明该系统可较好地应用于有机蔬菜生产,实现有机蔬菜生产水肥的智能化、高效化管理。

表 4 有机水肥一体化系统应用的黄瓜品质
Tab.4 Quality of cucumber with application of organic fertigation system

品质参数	粗蛋白/ %	可溶性 总糖/%	还原型维 生素 C/ (mg·kg ⁻¹)	可滴定酸 度/%	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)
数值	1.10	2.70	99.2	0.08	70.70

4 结论

(1)有机水肥一体化系统由发酵系统、配肥系统、控制系统和灌溉系统组成,使有机液肥制备、灌溉液浓度调节和决策灌溉合为一体,并在对应子程序控制下实现了各流程的自动化、精细化管理,较好地解决了有机生产水分、养分高效管理的问题。

(2)发酵装置通过液体循环系统和曝气系统(供氧)为有机物料的好氧发酵提供了良好的有氧环境,制备出了高浓度有机液肥,合理配比稀释后能用于蔬菜生产的养分供应;灌溉系统在其子程序控制下,能采集、分析和存储各传感器数据,发送并执行配肥与灌溉的命令,实现营养液自动管理。

(3)有机水肥一体化系统在黄瓜基质栽培中应用运行稳定,自动灌溉管理科学合理供应黄瓜生长所需水分、养分,确保了黄瓜的产量和品质,即单株产量 1.69 kg,总产量达 48 165 kg/hm²,可溶性总糖为 2.7%,还原型维生素 C 为 99.2 mg/kg,可滴定酸度为 0.08%。

参 考 文 献

1 王延军,宗良纲,李锐,等. 有机栽培和常规栽培水稻体系土壤酶及微生物量的比较研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(1): 47-51.
WANG Yanjun, ZONG Lianggang, LI Rui, et al. Microbial biomass and paddy soil enzyme activity in organic and conventional faming systems[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008,16(1): 47-51. (in Chinese)

2 马艳,李艳霞,常志州,等. 有机液肥的生物学特性及对黄瓜和草莓土传病害的防治效果[J]. 中国土壤与肥料, 2010(5): 71-76.
MA Yan, LI Yanxia, CHANG Zhizhou, et al. The biological characteristics of organic fertilizer and its control effect on soil borne

- disease of cucumber and strawberry[J]. Soil and Fertilizer Science in China, 2010(5): 71–76. (in Chinese)
- 3 WELTZIEN H C. Advances in biological control of fungal leaf pathogens through fermented organic substrates and microorganisms [M]//CASIDA J E. Pesticides and Alternatives: Innovative Chemical and Biological Approaches to Pest Control, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1990.
- 4 张培樱,林元兴. 一种有机液肥:中国, 200610041487.3[P]. 2008-03-12.
- 5 陈德辉,张玉华,陈长铭,等. 有机液肥在茄果类蔬菜上的应用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 1176–1177.
CHEN Dehui, ZHANG Yuhua, CHEN Changming, et al. Application of organic nutrient solution in solanaceous vegetables[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(6): 1176–1177. (in Chinese)
- 6 武崇周. 开发应用有机肥复合肥促进农业持续发展[J]. 生态经济, 1996(3): 22–25.
WU Chongzhou. Development and application of compound fertilizer of organic fertilizer to promote the sustainable development of agriculture[J]. Ecological Economy, 1996(3): 22–25. (in Chinese)
- 7 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.
- 8 BHAT R, SUJATHA S. Soil fertility and nutrient uptake by arecanut (*Areca catechu* L.) as affected by level and frequency of fertigation in a laterite soil [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 445–456.
- 9 何小卫,李贤胜,杨平,等. 葡萄水肥一体化技术试验研究[J]. 中国农技推广, 2011, 27(5): 42–44.
- 10 赵吉红. 水肥一体化技术应用中存在的问题及解决对策[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
ZHAO Jihong. The problems and solutions in the adaption of fertigation technology[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015. (in Chinese)
- 11 ROH M Y, LEE Y B. Predictive control of concentration of nutrient solution according to integrated solar radiation during one hour in the morning[J]. International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems, Acta Horticulturae, 1996, 440: 256–261.
- 12 LIZARRAGA A, BOESVELD H, HUIBERS F, et al. Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Navarra, Spain [J]. Irrigation and Drainage, 2003, 52(2): 177–188.
- 13 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007.
- 14 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003: 77–132, 423–425.
- 15 胡越. 设施黄瓜耗水规律及节水灌溉制度研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2014.
HU Yue. Research of facilities cucumber water consumption and water saving irrigation system [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 16 李邵,薛绪掌,齐飞,等. 不同营养液浓度对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1409–1416.
LI Shao, XUE Xuzhang, QI Fei, et al. Effects of different nutrient solution contents on yield and quality of greenhouse potted cucumber[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1409–1416. (in Chinese)
- 17 SCHRODER F G, LIETH J H. Irrigation control in hydroponics [M]//SAVVAS D, PASSAM H. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Athens: Embryo Publications, 2002: 103–141.