

网络出版时间:2016-04-07 09:00

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.05.030

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160407.0900.060.html>

温室轻筒式灌溉施肥机的设计

狄 娇¹,汪小岳^{1,2},孙国祥^{1,2},施印炎¹,王 煊¹

(1 南京农业大学 工学院,江苏 南京 210031;2 江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室,江苏 南京 210031)

[摘 要] **【目的】**设计一款基于比例施肥泵和嵌入式控制器的轻筒式灌溉施肥机,为实现温室大棚无土栽培的肥水一体化灌溉与施肥提供支持。**【方法】**灌溉施肥机的结构采用轻型的铝型材配以万向轮进行设计,硬件主要包括比例施肥泵、嵌入式 STM32 控制器、HMI 触控屏、多路传感器、电磁阀及营养液混合泵等,实现 6 种肥水信息的在线监测、多路执行设备的实时控制与人机交互;同时为实现肥水精准混合建立营养液稀释模型。**【结果】**成功设计了温室轻筒式灌溉施肥机,在温室进行的肥水混合灌溉试验表明,灌溉施肥机作业前营养液母液自混合 3 min 以上,能够消除营养液母液沉淀产生的肥水不均匀问题,灌溉施肥机电导率(E_c)控制精度误差 ≤ 0.02 mS/cm,标准偏差为 0~2.83%,能够满足温室无土栽培作物的灌溉施肥要求。**【结论】**所设计的灌溉施肥机具有较高的肥水混合精度,能有效提高肥水利用率,建立的营养液稀释模型为确定作物不同生长期适宜的肥水混合比例提供了一种快速、简便的方法。

[关键词] 无土栽培;灌溉施肥机;机械设计;营养液稀释模型

[中图分类号] S224.21

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)05-0222-06

Design of light and simplified fertigation machine for greenhouse

DI Jiao¹, WANG Xiao-yan^{1,2}, SUN Guo-xiang^{1,2}, SHI Ying-yan¹, WANG Xuan¹

(1 College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210031, China;

2 Jiangsu Province Engineering Lab for Modern Facility Agriculture Technology & Equipment, Nanjing, Jiangsu 210031, China)

Abstract: **【Objective】** A light and simplified fertigation machine based on proportional fertilizer pump and embedded controller was designed for soilless cultivation in tunnel greenhouse to provide support for achieving integrated fertigation. **【Method】** Structure of this machine consisted of light aluminum profile with universal wheels, and hardware mainly included proportional fertilization pump, embedded STM32 controller, HMI touch system, multi-channel sensors, solenoid valves and nutrition mixing pump. The machine had the characteristics of online monitoring of 6 fertilizers, real-time control of multiple execution device and human computer interaction. Nutrition liquid dilution model was also established to achieve precise mixing of fertilizers. **【Result】** The light and simplified fertigation machine for greenhouse was designed successfully. Fertilizer mixed irrigation experiments showed that self-mixing of mother nutrient solution over 3 minutes before fertilization could eliminate the problem of non-uniform caused by nutrient solution precipitate. The precision error of E_c value control was less than 0.02 mS/cm with standard deviation of 0—2.83%, which met the requirement of soilless cultivation in greenhouse. **【Conclusion】** The designed fertigation machine with high fertilizers mixing precision could effectively improve the utilization ratio of fertilizer, and the built nutrition liquid dilution model provided an analysis method for fast, simple and convenient

[收稿日期] 2014-10-09

[基金项目] 国家自然科学基金项目“基于作物信息融合的多尺度温室环境控制系统研究”(61273227)

[作者简介] 狄 娇(1990—),女,江苏溧阳人,在读硕士,主要从事农业设施环境模拟与控制研究。

E-mail: nancy900601@163.com

[通信作者] 汪小岳(1968—),男,安徽怀宁人,教授,博士,博士生导师,主要从事农业生物环境模拟与调控研究。

determination of suitable fertilizer proportions for crops at different growth periods.

Key words: soilless cultivation; fertigation machine; mechanical design; nutrition liquid dilution model

温室无土栽培作物所需的养分和水分均需从灌溉营养液中汲取,所以肥水一体化灌溉是温室无土栽培的核心技术之一,肥水一体化灌溉配套机具的研制符合我国设施农业的发展需求,具有极其重要的意义^[1-2]。传统肥水灌溉设备通常采用文丘里施肥器,但其肥水均匀性和浓度无法精确控制。目前以色列、荷兰等设施农业发达国家肥水一体化技术已相当成熟,已开发应用了新型的水溶肥料和功能完善成熟的灌溉施肥机具^[3-6],如荷兰 Priva 公司生产的 NutriFit 灌溉施肥机和以色列 Netafim 公司生产的 Netajet 自动灌溉施肥机,均能有效地控制灌溉水和肥液的混合,实现对电导率(Electrical conductivity, Ec)、酸碱度(Potential of hydrogen, pH)的精确控制,但其价格较贵。我国肥水一体化技术的研究与应用还处于起步阶段,国内学者对肥水灌溉设备也有较多研究^[7-12],如杨仁全等^[13]研制的精密施肥机,能精确控制肥液的 Ec 值和 pH 值,实现定时、定量的自动灌溉施肥;姚舟华等^[14]研制的 WGF-6-12 型温室自动灌溉施肥机及俞卫东等^[15]研制的基于 PLC 的智能灌溉施肥机,均能实现多路营养液、酸液的动态配比,但这些设备大多适用于大型温室多路肥料的混合与施用,存在体积大、营养液沉淀和

自动化管理水平不高等问题。

为此,本研究采用嵌入式控制器与触控系统相结合的硬件控制平台,设计了一种轻简式灌溉施肥机,拟实现对肥水信息的在线监测和各执行机构的实时控制,以解决小型温室大棚的肥水灌溉一体化问题,并以黄瓜为研究对象,依据其不同生长时期的营养需求建立营养液稀释模型,对其各个生长时期适宜的肥水比例进行分析;同时,为了验证灌溉施肥机的稳定性与可靠性,在温室进行了灌溉施肥性能与 Ec 控制精度测试,以期为温室无土栽培的肥水一体化灌溉与施肥提供支持。

1 轻简式灌溉施肥机的设计

1.1 灌溉施肥机的结构设计与工作原理

灌溉施肥机主要由 4 部分组成:传感器、控制器、执行机构和辅助设备,其中传感器包括液位传感器、Ec 传感器、pH 传感器、流量传感器和土壤湿度传感器,控制器包括上位机 HMI 触控系统和下位机 STM32 控制器,执行机构包括比例施肥泵、进水泵、电磁阀和营养液混合泵,辅助设备包括控制箱、营养液液桶、滴灌带、过滤器等。灌溉施肥机的结构原理如图 1 所示。

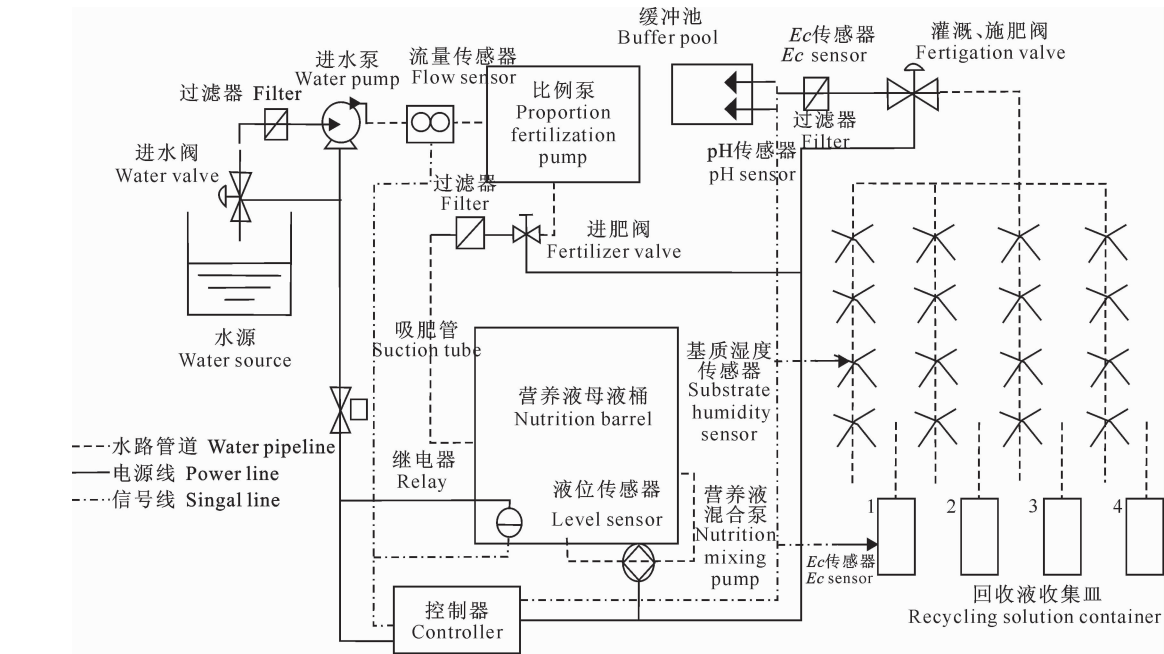


图 1 灌溉施肥机的结构原理图

Fig. 1 Principle diagram of irrigation fertilizer

当进行施肥作业时,开启进水泵、进水阀、进肥阀和施肥阀,灌溉水经过滤器进入比例泵,同时在水压的驱动下,吸肥管吸取相应比率的肥液和灌溉水一起经滴灌带输送到作物根部。TEFEN-MixRite 比例施肥泵的比例调节范围为 0.4%~4.0%,肥水混合前可以根据作物所需的肥水比例转动“U”型调节锁调节比例,肥水混合的比例在工作中保持恒定。营养液母液桶内部设有液位传感器,控制器可实时读取当前母液液位并显示在触控界面上,当液位低于 3 cm 时,施肥阀自动关闭,并提示用户添加母液。灌溉施肥机的试验样机如图 2 所示。



图 2 灌溉施肥机试验样机

Fig. 2 Irrigation fertilizer experimental prototype

营养液与水的均匀混合是均匀施肥的先决条件。研究中选用固体肥料配制营养液母液,多种肥料之间的兼容性问题会使混合溶液产生沉淀,导致比例混合后的灌溉营养液 E_c 值和 pH 值不够准确,从而影响灌溉施肥机肥水混合的控制精度,故在灌溉施肥机中配置有营养液母液混合泵,在施肥作业前启动该泵循环混合营养液母液,形成“自混合”,为比例混合泵提供混合均匀的肥液,可以有效地提高灌溉施肥机的控制精度。

1.2 灌溉施肥机的控制电路

灌溉施肥机控制电路如图 3 所示,控制器上位机采用 WQT-T8048 型 HMI 触控屏,下位机采用基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103ZET6 控制器,各传感器信号经模拟量电压转换模块接入 STM32 控制器的模数接口 A0~A5,控制器对采集到的参数进行数据处理,数据经 RS-232 标准协议转发给上位机 HMI 触控系统,上位机侦听到数据后对数据进行解析并通过人机界面直观显示,实现对各肥水信息的在线监测。通过向 HMI 触控系统输入控制信号,选择施肥机的工作模式:灌溉、施肥和监测,同样控制信号经 RS-232 标准协议转发给下位机控制器,控制器对信号进行解析,相应地驱动各执行设备(电磁阀和营养液混合泵)。

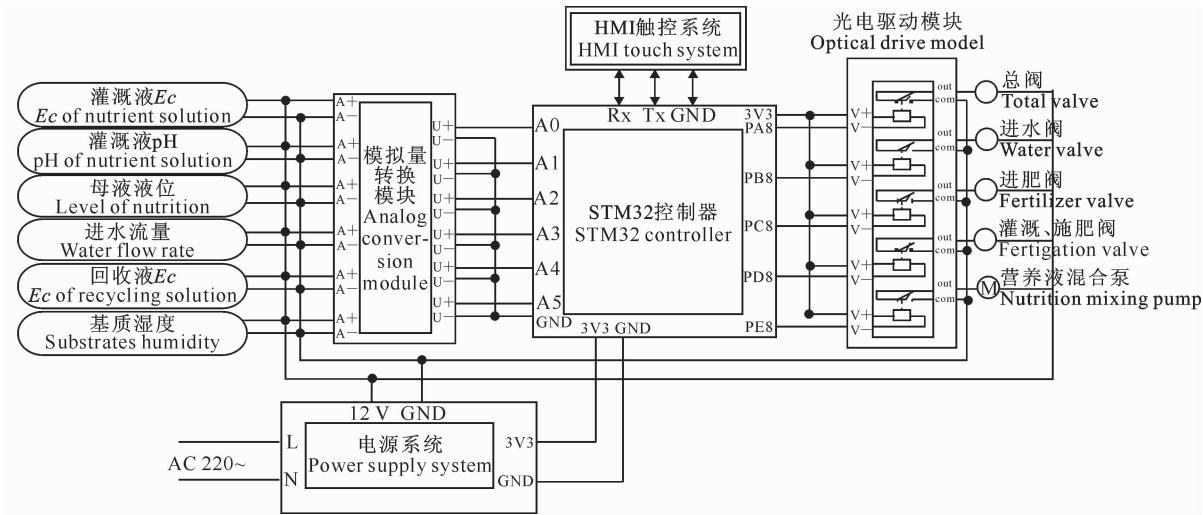


图 3 灌溉施肥机的控制电路图

Fig. 3 Control circuit of irrigation fertilizer

1.3 灌溉施肥机的触控系统

HMI 触控系统通过 RS-232 接口连接下位机 STM32F103ZET6 控制器,实时显示与存储肥水信息,其触控系统界面如图 4 所示。利用该触控系统,可触控设置灌溉施肥机的工作模式、查询系统工作

状态和历史数据等。灌溉施肥机通过触控系统设置其控制模式,如手动控制与自动控制:手动控制模式下,实现手动触控灌溉、施肥,其灌溉时间和灌溉量、施肥时间和施肥量由用户决定;自动控制模式下,依据系统设定的湿度下限实现自动灌溉,即湿度传感

器实时监测基质湿度,当其低于 60%时触发中断,定时滴灌 5 min。通过在线分析灌溉营养液与前一次灌溉后回收液之间的 ΔEc ($\Delta Ec = Ec_1 - Ec_2$,其中 Ec_1 表示灌溉液的 Ec , Ec_2 表示前一次灌溉后回收

液的 Ec ,参考国内外专家推荐固体基质栽培的灌溉施肥原则设计^[16])实现自动施肥,设定 $\Delta Ec > 0.5$ mS/cm 对作物进行施肥,反之不施肥。

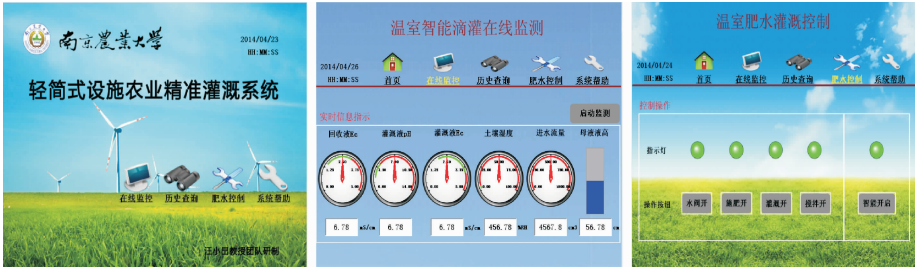


图 4 灌溉施肥机触控系统界面

Fig. 4 User interface for irrigation fertilizer

2 营养液母液稀释模型的建立

灌溉施肥系统可实现水与营养液母液的自动精确比例混合,而营养液母液稀释模型是实现高效混肥的基础。不同作物在不同生长发育时期对营养液的浓度要求存在一定差异,以温室黄瓜营养液灌溉为例^[16],黄瓜定植前期适宜灌溉营养液的 Ec 值为 0.8~1.0 mS/cm,定植后期为 1.5 mS/cm,营养生长期为 2.0~2.2 mS/cm,开花期为 2.5~3.0 mS/cm,坐果期为 2.2~2.8 mS/cm,而整个生长发育时期营养液的最适宜 pH 值为 6.4~7.5。

本研究以新津春 4 号黄瓜为研究对象,参考黄瓜灌溉营养液的成熟配方^[16],选定相应元素肥料配制营养液母液,标定营养液母液稀释模型,确定适合黄瓜不同生长发育时期营养需求的稀释比例,为系统肥水混合精准控制提供决策依据。采用净化水稀释营养液母液,每次取 10 mL 样本母液,稀释倍数依次从 10 增加至 300,标定营养液母液在不同稀释倍数下的 Ec 值和 pH 值,重复 3 次,取其均值为最终标定值,标定液温度为 23.5 ℃。标定结果如图 5 所示。

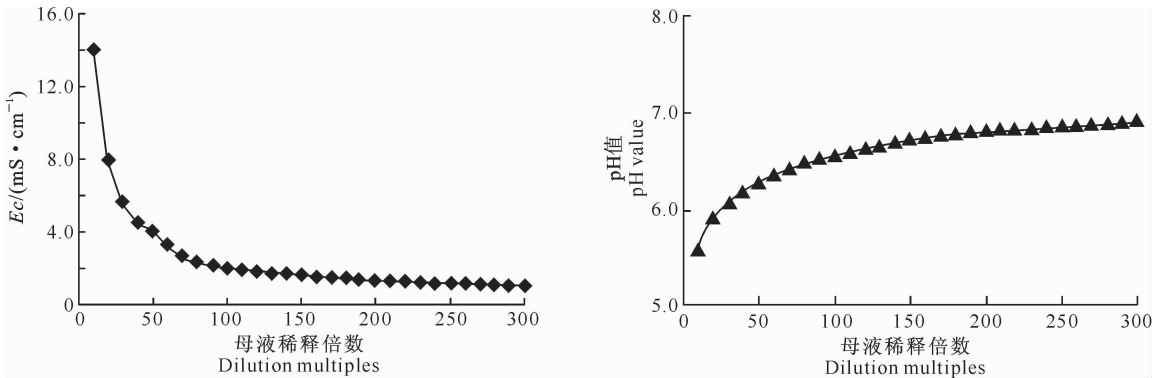


图 5 黄瓜营养液 Ec 值、pH 值与稀释倍数的关系

Fig. 5 Relationship between pH and Ec of cucumber nutrient solution with diluted times

研究中采用不同稀释倍数下 Ec 值和 pH 值的 3 次标定结果均值,分别建立营养液 Ec 、pH 值与稀释倍数的拟合方程,结果为:

$$K = 73.19E^{0.76}; \tag{1}$$

$$K = 0.385 \ln P + 4.723 \ 2; \tag{2}$$

式中: K 为营养液母液稀释倍数, E 为营养液 Ec 值 (mS/cm), P 为营养液 pH 值。

拟合方程(1)、(2)的决定系数分别为 0.991 6 和 0.996 4,该营养液母液稀释模型方程为黄瓜不同生长期适宜的肥水混合比例提供了参考。

由营养液 Ec 、pH 值与稀释倍数的拟合方程可以得出:黄瓜定植前期、定植后期、营养生长期及开花坐果期适宜的肥水比例分别为 1 : 250,1 : 150,1 : 100 与 1 : 70。

3 灌溉施肥机肥水混合试验

3.1 灌溉施肥机自混合性能稳定试验

3.1.1 试验方法 试验在南京农业大学工学院在三脊 Venlo 型温室中进行。具体试验方案为:分别在黄瓜定植前期、定植后期、营养生长期及开花坐果期等 4 个不同阶段进行灌溉营养液的性能测试,肥水比例分别为 1:250,1:150,1:100 及 1:70,每个阶段测试 3 次,取 3 次试验结果的均值进行分析,试验周期贯穿黄瓜的整个生长周期。每次测试系统运行 2 min,每 10 s 对灌溉营养液采样 1 次,连续采样 12 次,用精度为 0.01 的便携式电导率笔测定样品的 E_c ,最后分析系统自混合时间对不同肥水比例灌溉营养液 E_c 达到稳定值的影响。系统自混合时间分别设置为 0,1,2 和 3 min。

3.1.2 试验结果与分析 如图 6 所示,不同肥水比

例灌溉营养液的 E_c 值随系统自混合时间的不同而变化。试验表明:滴灌施肥作业前不开启自混合功能时,肥水比例为 1:250,1:150,1:100 和 1:70 的灌溉营养液的 E_c 依次在 80,90,90 和 100 s 后达到稳定值, E_c 分别是 1.02,1.53,1.98 和 2.51 mS/cm。而开启自混合功能 1,2 和 3 min 时,各肥水比例营养液的 E_c 均分别在 60,30 和 10 s 后达到相应稳定值。因此,灌溉施肥机不开启自混合功能时,营养液 E_c 值的稳定与肥水比例有关,营养液浓度越大, E_c 值稳定所需时间越长;而当开启自混合功能后,营养液 E_c 值的稳定与自混合的时间直接有关,受肥水比例影响较小。因此,施肥作业前,灌溉施肥机自混合 3 min 以上,营养液母液即混合均匀,灌溉营养液的 E_c 可达稳定值,有效解决了因营养液沉淀带来的测量误差。

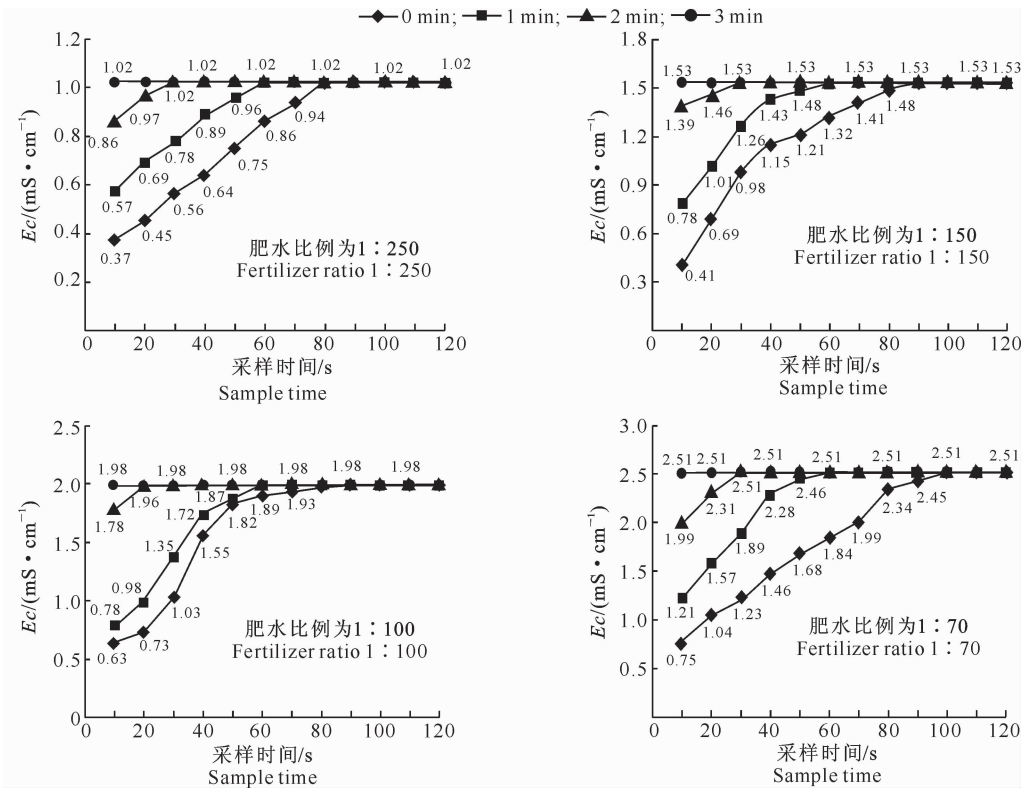


图 6 不同肥水比例灌溉营养液 E_c 值随系统自混合时间的变化

Fig. 6 Change in E_c of different fertilizer proportional nutrient solutions with system self-mixing time

3.2 灌溉施肥机肥水混合 E_c 控制精度试验

3.2.1 试验方法 选定不同的肥水比例,测定肥水混合后相应比例的 E_c 值,每种比例重复试验 3 次,计算实测 E_c 均值及标准偏差,分析 E_c 值的控制精度。每次试验前,灌溉施肥机自混合 3 min,确保营养液混合均匀。

3.2.2 试验结果与分析 E_c 值控制精度试验的具体数据如表 1 所示,其结果表明:本灌溉施肥机对不同肥水比例营养液的 E_c 值均具有较好的控制精度,控制精度误差 ≤ 0.02 mS/cm,标准偏差为 0~2.83%,试验期间样机运行正常,性能稳定,能满足作物不同生长发育时期的灌溉施肥需求。

表 1 灌溉施肥机肥水不同比例混合后 E_c 值控制精度试验结果

Table 1 Result of control precision test of E_c value after irrigation fertilizer in different mixing proportion

肥水比例 Fertilizer proportion	稀释后 E_c 标定值/($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) E_c value measured after dilution	灌溉时 E_c 实测均值/($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) E_c value measured during irrigation	标准偏差/% Standard deviation
1 : 300	0.97	0.96	1.41
1 : 250	1.03	1.02	2.83
1 : 225	1.10	1.08	0.00
1 : 200	1.29	1.28	1.41
1 : 175	1.39	1.38	0.71
1 : 150	1.54	1.53	0.71
1 : 100	2.00	1.98	0.71
1 : 70	2.52	2.51	0.00
1 : 60	3.18	3.17	0.71
1 : 50	3.92	3.92	1.41

4 结 论

1)本研究设计了基于嵌入式控制器和 HMI 触控系统的轻简式智能灌溉施肥机,实现了肥水一体化灌溉施肥。本灌溉施肥机体积小,使用便捷,肥水利用率高,能灵活地在温室大棚中移动使用,具有一定的推广意义,尤其适用于温室无土栽培肥水一体化灌溉施肥。

2)研究中对灌溉施肥机的运行性能进行了试验设计与分析,结果表明:施肥作业前,营养液母液自混合 3 min 以上,即可有效解决因营养液沉淀产生的肥水不均匀问题;灌溉施肥机对灌溉营养液 E_c 值有较好的控制精度,精度误差 $\leq 0.02 \text{ mS/cm}$,标准偏差 0~2.83%,能够满足温室无土栽培作物的灌溉施肥要求。

3)由于比例泵的肥水比例在施肥作业前按作物生育期需求设定,施肥过程中不能更改,故对应作物不同生育期所需的肥水比例需定期调节,肥水比例的在线调节功能还有待进一步完善。

[参考文献]

[1] 张承林,郭彦彪. 灌溉施肥技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2006.
Zhang C L, Guo Y B. Irrigation and fertilization technology [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2006. (in Chinese)

[2] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京:中国农业出版社,2011.
Guo S Y. Science of soilless culture [M]. Beijing:China Agriculture Press,2011. (in Chinese)

[3] Zhang Q,Zhao C J,Wang C,et al. Data acquisition control system based on ARM processor for automatic fertigation [J]. Transactions of the CSAE,2008,24(S2):44-49.

[4] Patel N,Rajput T B S. Fertigation:a technique for efficient use of granular fertilizer through drip irrigation [J]. Journal of the Institution of Engineers,2004,85(2):50-54.

[5] Regunath S,Kadirkamanathan V. Effect of a passive mixing device on the electrical conductivity and pH values of a nutrient

solution [J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2014,140(4):1-4.

[6] Steidle Neto A J,Zolnier S,Carvalho Lopes D. Development and evaluation of an automated system of fertigation control in soilless tomato production [J]. Computer and Electronics in Agriculture,2014,103:17-25.

[7] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 柑橘园水肥一体化滴灌自动控制装置的研制 [J]. 农业工程学报,2012,28(10):91-97.
Li J N,Hong T S, Feng R J,et al. Development of automatic control device for integrated water and fertilization drip irrigation of citrus orchard [J]. Transactions of the CSAE,2012,28(10):91-97. (in Chinese)

[8] 韩丽娜,汪小昆. 文丘里施肥器水肥分布分析 [J]. 江苏农业科学,2013,41(3):385-387.
Hang L N,Wang X C. Analysis of water and fertilizer distribution on venture fertilizer [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013,41(3):385-387. (in Chinese)

[9] 孙艳琦,牛文全. 文丘里管结构参数对其水力性能的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,38(2):211-218.
Sun Y Q,Niu W Q. Effects of venturi structural parameters on the hydraulic performance [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed),2012,38(2):211-218. (in Chinese)

[10] 吴 松,杨春园,杨仁全,等. 智能施肥机系统的设计与实现 [J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2008,25(5):445-448.
Wu S,Yang C Y,Yang R Q,et al. Design and realization of the intelligent fertilizing machine [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University(Agricultural Science Edition),2008,25(5): 445-448. (in Chinese)

[11] 聂 晶,岑红蕾. 精准滴灌施肥自动控制系统的研究与实现 [J]. 节水灌溉,2011(1):57-61.
Nie J,Qin H L. Research and realization of automatic control system of precision drip irrigation fertilization [J]. Water Saving Irrigation,2011(1):57-61. (in Chinese)

[12] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 基于模糊控制的肥液自动混合装置设计与试验 [J]. 农业工程学报,2013,29(16):22-30.
Li J N,Hong T S,Feng R J,et al. Design and experiment of automatic mixing apparatus for liquid fertilizer based on fuzzy control [J]. Transactions of the CSAE,2013,29(16):22-30. (in Chinese)

Zhang S Q, Ma X. Force the disc opener parts and computer simulation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995, 11(4): 52-56. (in Chinese)

[12] William R G, Alvin C B, Carl A R. Harrow disk curvature-influence on soil penetration [J]. Transactions of the ASAE, 1982, 4(6): 105-112.

[13] 潘 涛. 小麦免耕播种机防堵装置的设计研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.

Pan T. Design and research of the anti blocking equipment for wheat no tillage planter [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005. (in Chinese)

[14] 赵 旭, 张祖立, 唐 萍, 等. 被动式倾斜波纹圆盘破茬刀工作性能试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 64-67.

Zhao X, Zhang Z L, Tang P, et al. Behavior of passive stubble-cutting disc with oblique ripples [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 64-67. (in Chinese)

[15] 包文育. 东北垄作免耕播种机关键部件研究与整机设计 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.

Bao W Y. Study on key parts and holistic device of the no-till planter of the ridge cropping system in northeast area of China [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009. (in Chinese)

[16] 白晓虎. 免耕播种机关键部件及其参数化设计方法研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.

Bai X H. Study on key karts of no-till planter and parameterization resign method [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012. (in Chinese)

[17] 李 卫, 李问盈, 孙先鹏. 几种圆盘驱动破茬开沟性能的土槽试验比较 [J]. 农机化研究, 2008(8): 127-129, 133.

Li W, Li W Y, Sun X P. Comparison and experiment on cutting and ditching capability of four driven disc [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(8): 127-129, 133. (in Chinese)

[18] 林维宣. 试验设计方法 [M]. 辽宁大连: 大连海事大学出版社, 1995: 134-142.

Lin W X. Design of experiment [M]. Dalian, Liaoning: Dalian Maritime University Press, 1995: 133-142. (in Chinese)

(上接第 221 页)

[18] 黄素群, 徐宏利, 刘从军. 光电旋转编码器在自动化生产线的应用 [J]. 现代显示, 2006(69): 63-66.

Huang S Q, Xu H L, Liu C J. Application of elctro-optic rotary encoder in automatic production line [J]. Advanced Display, 2006(69): 63-66. (in Chinese)

[19] 毕立海, 王 静, 金红兵. 解决 PLC 控制系统应用中干扰问题的方法 [J]. 机械制造与自动化, 2007, 36(2): 126-128.

Bi L H, Wang J, Jin H B. Method of the problem with signal to noise in PLC control system [J]. Manufacture of Machinery and Automation, 2007, 36(2): 126-128. (in Chinese)

[20] 张存礼. PLC 控制系统的干扰源分析及抑制干扰对策 [J]. 电力自动化设备, 2006, 26(8): 8-11.

Zhang C L. Interference source analysis of PLC control system and its countermeasures [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(8): 8-11. (in Chinese)

(上接第 227 页)

[13] 杨仁全, 王 纲, 周增产, 等. 精密施肥机的研究与应用 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(S1): 197-199.

Yang R Q, Wang G, Zhou Z C, et al. Research and application of precise fertilizer applicator [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(S1): 197-199. (in Chinese)

[14] 姚舟华, 魏新华, 左志宇. 自动灌溉施肥机工作状态监测系统 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 44-46.

Yao Z H, Wei X H, Zuo Z Y. Development of working status monitoring device for automatic fertigation system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2012, 43(S1): 44-46. (in Chinese)

[15] 俞卫东, 刘永华, 孔德志, 等. 基于 PLC 的智能灌溉施肥机的研制 [J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 177-179.

Yu W D, Liu Y H, Kong D Z, et al. Development of an intelligent fertigation applicator based on PLC [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 177-179. (in Chinese)

[16] 蔡象元. 现代蔬菜温室设施和管理 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.

Cai X Y. Modern vegetable greenhouse facilities and management [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2009. (in Chinese)