

无土栽培营养液循环控制系统

秦琳琳, 孙德敏, 王永, 张利

(中国科学技术大学自动化系, 合肥 230027)

摘要: 该文介绍了营养液循环控制系统的设计和构成, 营养液检测控制过程。采用最小二乘拟合的方法建立离子选择电极的测量模型, 从而实现温室无土栽培中营养液的在线检测。采用动态矩阵控制算法控制离子浓度, 在一定程度上克服了某些不确定干扰的影响, 并解决了超调的问题。

关键词: 无土栽培; 营养液; 动态矩阵控制; 离子选择电极

中图分类号: S317

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)04-0264-03

1 引言

营养液栽培是无土栽培的一种, 它可以代替天然土壤向作物提供水分、养分、氧气, 从而使作物能够正常生长并完成其整个生命周期。营养液循环栽培作物在世界上一些发达国家已经有了普遍的发展与应用, 形成了成套技术, 完整的设施设备。而国内自行研制的仪器绝大多数只能检测和控制在营养液的 pH 值和电导 (EC) 值^[1-3]。我们结合无土栽培中对营养液进行检测和控制的特点研制了一套无土栽培营养液循环控制系统。该系统可以实现营养液中温度、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 、pH 值、EC 值和溶氧值的在线检测, 营养组份中各离子浓度、pH 值的自动控制以及营养液自动加温。

2 营养液循环控制系统简介

该控制系统由营养液循环系统、在线检测系统和控制系统组成。营养液循环系统由栽培床、营养液池、供液管道系统和回流管道组成。栽培床盛营养液, 给作物提供营养和水分, 并为作物根系生长创造良好的根际环境。营养液池是贮存和供应栽培床营养液的容器, 母液罐、酸罐、碱罐和清水罐中的溶液在电磁阀门的控制下流入营养液池。母液罐至少是由两个罐组成: 一个盛硝酸钙母液, 一个盛其它营养元素的母液。供液系统将贮液池的营养液输送到栽培床以供作物需求。回流系统则将栽培床内的营养液回流至营养液池, 从而形成一个循环系统。营养液供液方式分别由水泵、供液主管、支管、出水龙头与滴头或喷头组成。在线检测系统由检测池、离子选择电极、电导电极和温度传感器组成, 检测池中用隔板将不同的传感器隔开以防止相互干扰。工控机控制所有的阀门以及加热棒, 系统在控制软件的支持下通过各种传感器检测到各种信号, 经过阻抗变换和放大得到相应的电压信号, 由数据采集卡送到微机进行处理, 根据控制算法产生控制信号并由 I/O 端口输出, 经驱

动电路驱动执行机构, 完成营养液的加温以及各种离子浓度的控制。营养液循环在线检测控制系统如图 1 所示。

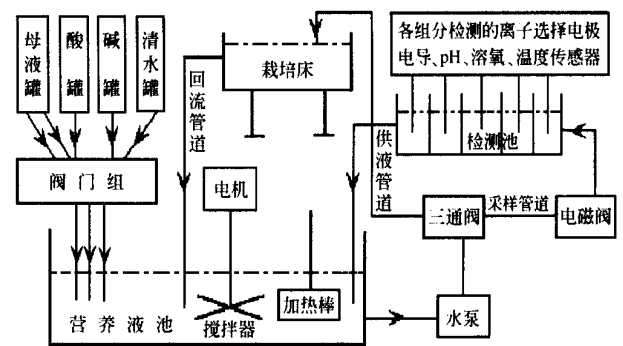


图 1 营养液循环系统结构图

Fig 1 Structure of circulating nutrient solution system

2.1 在线检测

在线检测系统由各种传感器组成, 包括温度传感器, 钾、钙和硝态氮离子选择电极, pH 玻璃电极, 电导电极和溶氧电极。针对离子选择电极高阻抗的特点, 我们选择了高阻放大器并采用差分电路来实现阻抗变换和信号放大, 调理后的电压送至数据采集控制卡, 通过研华公司的 PCL-711S 数据采集控制卡实现 8 路模拟量 A/D 转换。对于离子选择电极, 检测的电压信号要转化为离子浓度信号。最后可以从系统软件直接读取当前营养液的温度、钾、钙、氮的浓度、pH 值、EC 值和溶氧值。

2.2 实时控制

控制系统由 I/O 接口、继电器和电磁阀组成。系统在控制软件的支持下通过 PCLD-711 多功能卡输出控制信号, PCLD-885 继电器卡接受到信号后对电磁阀和电热棒进行控制。控制系统结构如图 2 所示。

温度采用 bang-bang 控制。微机检测由传感器送来的温度信号, 当营养液温度低于温度的设定值下限时, 由计算机向 PCLD-711 多功能卡的 I/O 接口送出控制信号, 该信号被转换为 TTL 电平输出到 PCLD-885 继电器卡, 继电器闭合, 电加热棒开始工作; 当检测温度达到设定值上限时输入控制信号使电加热棒停止工作。

收稿日期: 2002-08-06 修订日期: 2003-05-10

基金项目: 国家“863”项目“可控环境农业数据采集与自动控制系统研究”(2001AA247021)资助

作者简介: 秦琳琳(1975-), 女, 硕士生, 合肥 中国科学技术大学自动化系, 230027。Email: qinlinlin@163.net

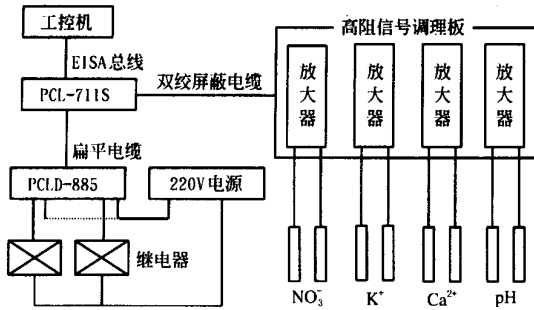


图 2 控制系统结构图
Fig. 2 Structure of control system

营养液循环系统的离子浓度控制方法是: 由离子选择电极检测出各种离子浓度, 根据动态矩阵控制算法控制电磁阀的开关状态以及开关的时间。酸度的控制需要操作两个罐, 当 pH 值低时开启碱罐, pH 值高时开启酸罐, 电磁阀的开启时间同样由控制算法来确定。每次加入溶液时, 由搅拌器搅拌均匀。

3 软件功能

营养液循环系统的软件采用 Delphi6 实现, 具有良好的人机界面, 可以满足现场控制和农业科研的要求。该系统软件的功能可以用图 3 所示的画面来说明。

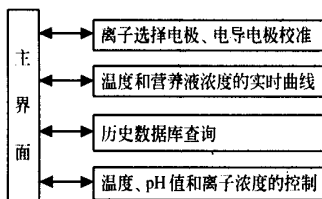


图 3 营养液循环控制系统软件功能框图
Fig. 3 Software function structure of recirculating nutrient solution system

3.1 检测部分

检测的电压信号要转化为离子浓度信号。采用系统辨识的方法和采用最小二乘法逐步拟合的数学建模方法, 得到离子选择电极(钾、钙、氮)、pH 玻璃电极和电导电极的关于测量信号- 温度- 被测对象值的一个三维数学模型, 这是在线检测的理论基础。根据离子选择电极数学模型的计算公式, 当前的离子浓度就可以由温度和电压计算出来。从系统软件的主界面主菜单“数据”中的“开始检测”, 即可显示选择“数据”中的“查询记录”, 则屏幕动态显示当前的浓度变化曲线。

3.2 控制部分

对于营养液中的离子浓度一般采用 PD 控制, 它的优点是调节时间较短, 但是 PD 的参数一般是由经验设定的, 而且会产生超调。我们将动态矩阵控制引入营养液循环过程控制领域。采用预测控制的方法, 能在一定程度上克服某些不确定干扰的影响, 也解决了超调的问题。

作物吸收对营养液离子浓度产生一个扰动, 其时间常数远远小于营养母液控制作用的时间常数, 营养液离子浓度可看作一个非自衡对象: 其阶跃响应在一定时间后便以一定速度直线变化^[5]。以硝酸根浓度为为例, 如式(1)所示:

$$N(k+1) = \alpha N(k) + bu(k) \quad (1)$$

式中 $N(k)$ —— k 时刻硝酸根浓度; $u(k)$ —— k 时刻营养母液添加量, $\alpha = 1$ 。动态矩阵控制基于线性对象的有限阶跃响应, 它只适用于渐近稳定的线性对象, 不能直接用于带积分环节的非自衡系统^[6]。本文在每个控制周期内加入清水, 稀释 k 时刻硝酸根离子浓度, 使 $\alpha < 1$, 这样原来不稳定的非自衡系统被改造为稳定的一阶惯性系统, 其阶跃响应的动态系数 a_n 如式(2)所示

$$a_n = b\alpha^{k-1} \quad (2)$$

式中 $k = 1, 2, \dots, N, N$ —— 模型长度, 这就可以方便的应用动态矩阵控制, 算法推导见文^[7], 动态矩阵控制系统框图如图 4 所示。

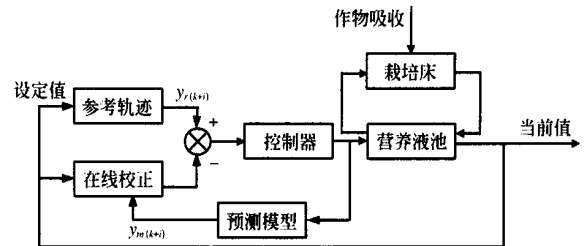


图 4 营养液循环系统的动态矩阵控制框图
Fig. 4 Dynamic matrix control of the circulating nutrient solution system

动态矩阵的各种参数均可在预测控制设置的对话框中进行调节。各种被控离子浓度的值每隔一秒实时显示, 同时以不同的颜色绘制出曲线。用户只要将被控离子浓度的设定值输入, 选择主菜单中控制方式的手动控制, 即可实现动态矩阵控制。如硝酸根当前的质量浓度为 240 mg/L, 设定值为: 710 mg/L, 其控制曲线如图 5 所示, 图中的小矩形面积为硝酸钾溶液的母液添加量, 大矩形面积为清水添加量。离子浓度的稳定值为 700 mg/L, 与设定值的相对误差为 1.4%。

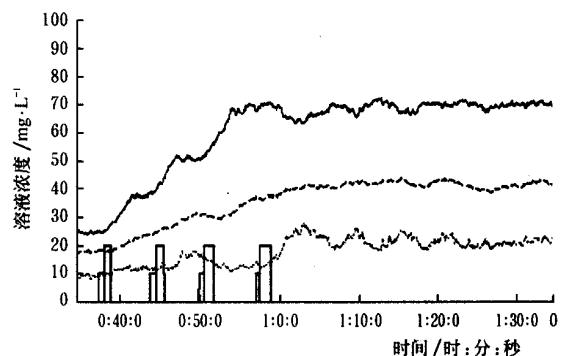


图 5 动态矩阵控制曲线
Fig. 5 Dynamic matrix control curve

4 结 语

介绍了无土栽培营养液循环控制系统的硬件设计及组成、软件的主要功能、软件中检测和控制方法所涉及的关键技术。该系统的实际应用表明,系统的设计及软件合理可行。

1) 针对营养液循环过程的特点,设计了无土栽培营养液的检测和控制系統。

2) 采用最小二乘的辨识方法建立离子选择电极的测量模型,用软件补偿的方法对离子选择电极进行温度补偿,从而实现温室无土栽培中营养液的在线检测。

3) 将动态矩阵控制引入营养液循环过程控制领域,将离子浓度和酸碱度控制在专家设定值水平。与通常的 PD 控制相比,这种方法能在一定程度上克服某些不确定干扰的影响,也解决了超调的问题。

本系统的研制与开发对促进无土栽培技术的发展与推广有积极推动作用。为了使该系统更加智能化和自动化,系统还需进一步完善,如:研制出基于现场总线控制计算机系统的营养液循环自动控制系统;增加自动标定的软硬件模块,对离子电极的标定进一步达到自动控制的要求等。

[参 考 文 献]

- [1] 陈春宏,杨志杰,等. 现代化温室栽培营养液分析和监测研究初报[J]. 上海农业学报, 1998, 14(增刊): 51~ 56
- [2] 李萍萍. 生菜无土栽培的营养液调控技术[J]. 长江蔬菜, 1999, 4: 1~ 2

- [3] 毛罕平,谢明岗,王多辉. 无土栽培营养液循环灌溉系统[J]. 排灌机械, 1997, 2: 49~ 52
- [4] 范世福. 现代分析仪器发展的前沿技术和新思想[J]. 世界仪表与自动化, 2000, 4(4).
- [5] 谢声洛. 离子选择电极分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1985
- [6] 袁 璞,等. 状态反馈预估控制[J]. 自动化学报, 1993, 19(5): 569~ 575
- [7] 张政江,孙优贤. 基于阶跃响应的非自衡对象预测控制控制与决策, 2001, 16(3): 378~ 379
- [8] 舒迪前. 预测控制系统及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998
- [9] 王 永,司 炜,孙德敏,等. 膜式溶氧电极在线测量数学模型的建立与应用[J]. 自动化仪表, 已录用
- [10] 王 永,司 炜,张 利,等. 温室营养液循环检测系统中离子选择电极的数学建模与测量[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5).
- [11] Morimoto T, Nishina H, Hashimoto Y. For In-Control: An Approach to Control of Nutrient Solution in Hydroponics[J]. Acta Hort, (ISHS), 1992, 304: 301~ 308
- [12] Vestergard B. Sensors in recirculating nutrient solution systems[J]. Acta Hort, (ISHS), 1992, 304: 363~ 365
- [13] Lundstrom P, Lee J H, Morari M. Limitations of dynamic matrix control[J]. Comp Chem Eng, 1995, 19(4): 409~ 421.
- [14] Lee J H, Morari M, Garcia C E. State space interpretation of model predictive control Automatic, 1994, 30(4): 707~ 717.

Control system of circulating nutrient solution system in soilless culture

Q in Lin Lin, Sun Dem in, Wang Yong, Zhang Li

(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: The system structure and design for circulating nutrient solution system were introduced in this paper. The solution on-line measurement and control were constructed. An approach based on least square fitting was applied to nutrition solution on-line measurement. The dynamic matrix control was developed to control the ion density, which has ability to reject disturbance and it was a near perfect response with no overshoot.

Key words: soilless culture; nutrient solution; dynamic matrix control; ion-selective electrode