

阴国富,朱创录. 基于物联网的精密温室环境管控系统研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):491-494.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.152

# 基于物联网的精密温室环境管控系统研究

阴国富,朱创录

(渭南师范学院数学与信息科学学院,陕西渭南 714000)

**摘要:**通过构建无线 WiFi 网络,将传感器采集到的数据进行统一控制,建立一套适用于精密温室内农作物栽培的环境与营养液监控物联网系统,包括精密温室环境监测网络、数据实时采集与无线传输、生长环境监测与预警发布、远程控制等。试验田应用表明,该系统管理简便、控制精准,对其进行进一步优化,综合型植物工厂可实现大面积管控。

**关键词:**物联网;传感器;精密温室;监控;农作物;无线传输

**中图分类号:** TP277.2;S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0491-03

随着信息通讯技术的快速发展,物联网(internet of things)技术应运而生。通过物联网可使物体与网络连接,相互沟通,人们可在任何地点、任何时间对这些物体进行监控或基于这些物体所反馈的信息提供服务。精密温室环境管控系统基于物联网技术,可以为管理者简便、实时获取精密温室内的状况,并以此为基础使管控系统设计简化,使设备扩充更为容易。陕西省渭南市地处我国西部、关中平原东部,农业资源相对紧张,适合密集化精细农业的生产,目前已形成大规模的草莓生产基地;但长期以来草莓生产处于粗放式管理,若能运用精确灌溉技术,如利用蒸发量、重量变化和蒸汽压差等配合自动化灌溉设备决策灌溉,不但可以提高草莓的质量,而且通过统一精细化管理,草莓果品质量的一致性也可得到保证。

## 1 基于物联网环境的植物工厂模式

“植物工厂”广义是指在一定生产管理下全年无休的植物生产系统,而狭义是指在完全人工环境下全年无休的植物生产系统,主要目的皆是使植物生产能达到全年的稳态量产。植物工厂依照其光源利用方式一般可分为太阳光利用型、完全控制型与综合型3大类<sup>[1]</sup>。

太阳光利用型植物工厂使用日光为光源,外部结构由玻璃或塑料材质构成,屋顶具有遮阳网,当光照过强时可用来遮蔽;仅能以平面单层栽种,多为一般花卉温室或具有高度环控设备的精密温室,如台湾蝴蝶兰温室等。完全控制型植物工厂使用人工光源,对植物生长有影响的主要环境条件温度、湿度、二氧化碳、培养液等由人工控制,不易受到外界环境所干扰,是理想的植物工厂,非常适合立体化栽种,可以增加土地利用效率,但需要的能源成本相对较高,如日本短期叶菜类栽培等。综合型植物工厂兼用太阳光与人工光源,介于前2种类型之间,以日光为主、人工补光为辅,在北欧、北美冬季日照较

短的地区应用较多,如欧美名贵花卉、西红柿、莴苣种植等。

微处理器成本越来越便宜,功能也越来越强大。物联网是指在某一物体中嵌入一个微处理器,使物体变得具有智慧,能“自动开口说话”,同时,借助无线网络技术,人们可以和物体进行“对话”,物体和物体之间也能相互进行“交流”。2011年,日本学者 Fukatsu 等针对中小型温室环境控制设备建构提出一个解决方案,即环境监控系统(ubiquitous environment control system,UECS)<sup>[2]</sup>,其基本单元为配有嵌入式计算机的设施与传感器(称为节点),作业具有独立性,可通过局域网与计算机连接。该系统线路简化为电源线与网络线,通过网络传输信号再通过嵌入式计算机控制,不会存在使用特定规格部件的问题,且可通过笔记本电脑、PDA、可携式游戏机进行节点设定或远程操作<sup>[3-4]</sup>。而集中型环境控制系统线路较为复杂,各项设备可能会因生产国家、型号不同,使节点或控制信号不同,温室计算机只能使用特定機種进行监测与调控。

## 2 基于物联网的精密温室环境管控系统关键技术

### 2.1 无线网络监控架构

无线监控系统的网络架构主要由数据库服务器、网页服务器、无线基站、网络摄影机及 PICNIC 卡组成(图1),环境参数、视频影像等信息存储于资料库服务器,远程使用者可通过客户端网页系统监控精密温室环境。精密温室需要调控环境的风(温度、湿度、内循环风速)、光(光量、光质、光周期、均匀度)、水(供给方式、时机、频度)、养(营养液、供给方式、时机、频度)、气(二氧化碳)五大要素<sup>[5-6]</sup>,对这些环境状况随时记录,并能通过互联网获取实时信息,在环境异常时实时告知管理者。

### 2.2 营养液控制系统

精密温室的栽培方式多为水培方式立体化种植,搭配使用人工光源,并通过营养液供给补充植物生长所需,而营养液电导率与酸碱度会随植物生长而发生改变,进而影响植物的生长。电导率是判断营养液浓度的指标,营养液浓度越高,电导率也会越高,因此,可依据电导率来调控营养液。电导率变化由电阻给出信号,为方便测量,可将电阻信号转换为电压或电流信号,并在电极与数据获取端之间加装信号传送器。营养液控制系统采用的电导率传感器型号为 HOTEK CM-61,测量范围最高可达 20 mS/cm。另外,电导率传送器具有 LCD

收稿日期:2015-05-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:11304230);陕西省自然科学基金(编号:2012JM8048);渭南师范学院科研项目(编号:14YKS005、15YKF006);渭南师范学院特色学科建设(编号:14TSXK02)。

作者简介:阴国富(1980—),男,陕西富平人,硕士,副教授,主要从事计算机网络应用研究。E-mail:yinguofu@126.com。

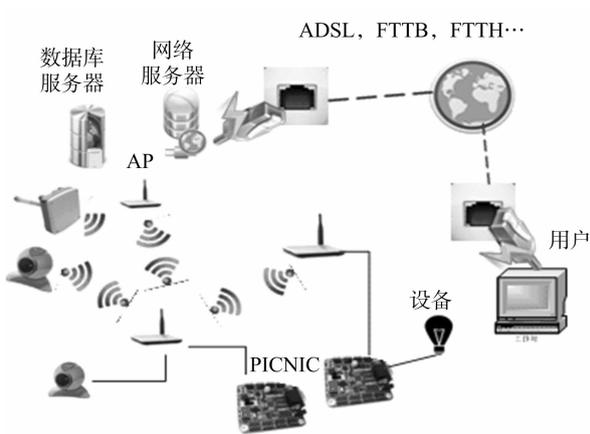


图1 无线监控系统的网络架构

面板,可供现场人员实时监看测量值。系统采用的酸碱度传感器型号为 HOTECH PH-10C,也具有 LCD 面板供现场人员实时监看测量值。

营养液调控是将高浓度的原液通过蠕动泵以微量的方式添加到水中,而蠕动泵是以凸轮为转子,通过凸轮转动挤压软管,使软管内的流体向前移动,同时也会吸取液体。由于转子转速可以调控,因此可使推进的流量相同。系统采用的蠕动泵型号为 CS074-3,采用 12 V 直流电马达驱动。

营养液控制系统与无线监控系统相比,除传感器外具有相同的软件架构,具有 PICNIC、计算机、酸碱度电极、电导率电极、蠕动泵、A 液与 B 液、内含氢弱酸性阳离子交换树脂的调酸槽、混合槽及循环泵(图 2)。PICNIC 负责获取酸碱度与电导率电极所测得的信号,驱使蠕动泵动作;计算机负责下达控制命令给 PICNIC,储存所获取的信号;蠕动泵负责抽取 A 液与 B 液至混合槽,由混合槽抽取营养液至氢弱酸性阳离子交换树脂使酸碱度降低,再回到混合槽;循环泵负责将营养液供给植物,增加混合槽内营养液的循环。

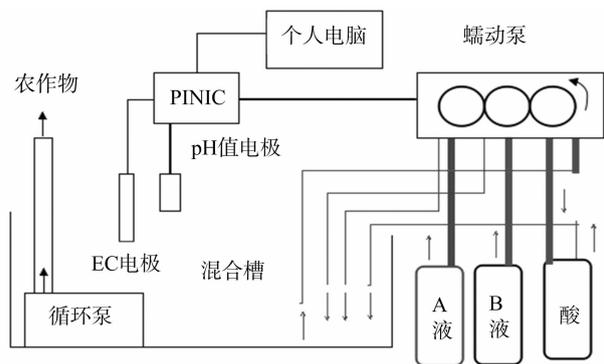


图2 营养液调控系统架构

营养液调控流程为:系统开始运行,检查营养液的电导率;若营养液电导率不足时会启动蠕动泵添加 A 液与 B 液,每次添加约 8 mL;检查营养液的酸碱值,若未达到设定值则会进行调酸;如果在进程中添加 A 液与 B 液或调酸,则会等待 10 min,使营养液与混合槽内营养液均匀混合(图 3)。A 液与 B 液添加量和等待时间可在软件中重新修改设置。

### 2.3 灌溉系统

灌溉测量平台(图4)上方安装6根T5 LED光源,灯下

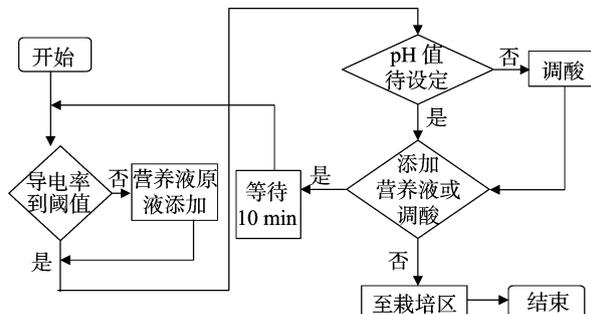


图3 营养液的调控流程

10 cm 光量最高可达 260  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;平台安装荷重元,荷重元上方装有 1 块 60 cm  $\times$  120 cm 的珍珠板用来摆放栽培物,T5 灯管距离珍珠板约 50 cm,荷重元测量的质量由 PICNIC 获取,由蠕动泵将营养液抽至栽培物内<sup>[7-8]</sup>。

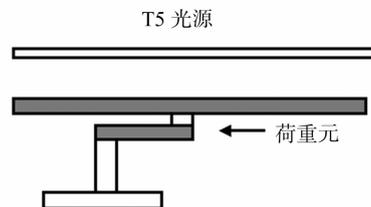


图4 测量平台示意

试验前,栽培物进行前处理:将栽培物以淹灌方式等待 10 min,使水苔充分吸收水分;移至阴凉处等待 10 min,使水苔内部的多余水分自然流出。前处理完成后才进行试验。试验每处理摆放 4 盆,测量每盆的质量变化。有 2 个试验内容:(1)灌溉时机的建立:以草莓栽培为例,在 7 ~ 14 d 进行灌溉,在之后的 16 d 内不再进行灌溉,连续记录总质量变化,计算每日质量减少百分比;(2)灌溉试验:以灌溉时机试验建立的第 10 天质量减少百分比为灌溉参考,当质量减少相同百分比时开始灌溉,灌溉量为减少百分数乘以最初总质量。试验过程中,每日连续给光 12 h,环境温度维持在  $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,湿度保持在 60% ~ 70%。

## 3 基于物联网的精密温室环境管控系统的实现

### 3.1 传感器参数校正

3.1.1 重量转换器的设定与荷重元的校正 RI 1203 重量转换器第 1 次使用时需对硬件内部进行相关设定,包含输出方式、输出格式等。步骤为:将 RI 1203 重量转换器通过 RS-232 接口与计算机连接;计算机上运行 Rinstrum PTY LTD 的 View1203 软件,点击联机按钮,再选取 RI 1203 使用的 COM Port 进行联机;进入 Test/Command Mode 页面,在 Command 中输入指令 COF 设定输出质量值数据格式;在 Command 中输入指令 IAD 调整转换器参数,包含小数位数、单位及称量等。

重量转换器设定完成,需要校正荷重元。本研究采用的荷重元最大负重为 30 kg,测量精度为 1 g。校正步骤为:确认荷重元上没有任何载重;运行 Rinstrum PTY LTD 的 View1203 软件,点击联机按钮,再选取 RI 1203 使用的 COM Port 进行联机;进入 Test/Command Mode 页面,在 Command 中输入 LDW 指令进行质量归零;在 Command 中输入 LWT10000 命

令,将 1 000 g 标准砝码置于荷重元上,在 Command 中输入 TDD1,将校正设定储存至 RI 1203 重量感测模块。

3.1.2 湿度传感器的校正 一般传感器厂家都提供相对湿度传感器的特性曲线及其计算公式,但相对湿度感测器的特性曲线会以每年小于 1% 的速度逐年降低,因此有必要重新测量其特性曲线。另外,为便于田间使用,湿度传感器往往设计成可更换式的,也需要对卸下的湿度传感器重新校正。相对湿度传感器是利用饱和盐溶液进行校正的,使用  $K_2SO_4$ 、 $KCl$ 、 $NaCl$ 、 $KI$ 、 $K_2CO_3$  这 5 种不同的饱和盐溶液为标准,其 25 °C 时对应的相对湿度分别为 97.30%、84.34%、75.29%、68.86%、43.16%。将配制好的饱和盐溶液置于玻璃瓶内,密封,25 °C 温温室待瓶内相对湿度稳定,记录传感器所测量的电压,6 次重复取平均值,利用反函数求回归方程。

3.1.3 光量传感器的校正 采用 RGB 比例可调整式 LED 作为测量光源,以 LI-189 (LI-COR, USA) 作为参考。有 3 个试验内容:(1)单晶硅与非晶硅太阳能板的比较。将单晶硅与非晶硅太阳能板分别放置于 LED 光源下方 10 cm 处,维持在室温,改变 LED 光量输出,记录各个太阳能板电压输出与 LI-189 所测量的值。(2)环境温度对太阳能板的影响。将太阳能板及光源置入可调控温度的低温控制箱,最高温度可达到 53 °C,分别测量室温、40、50 °C 时太阳能板的电压输出,并改变 LED 输出光量。(3)不同生产周期的太阳能板对光量的反应。将 3 块不同生产周期的太阳能板放置于相同位置 LED 光源下方 10 cm 处,改变 LED 光量输出,记录各个太阳能板的电压输出。

### 3.2 传感器反馈公式

3.2.1 相对湿度传感器 由图 5 可知,试验测得的结果线性度较好,决定系数  $r^2$  为 0.997 1,回归方程式为  $RH = 32.26 \times U - 25.81$ 。其中, $RH$  为相对湿度,单位为%; $U$  为传感器输出电压,单位为 V。

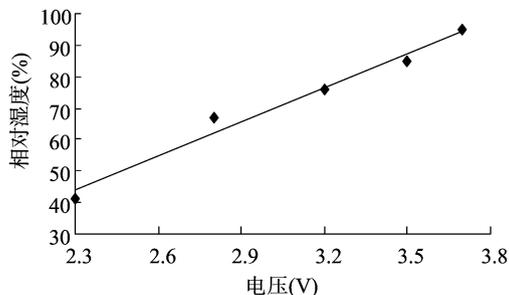


图5 相对湿度与传感器输出电压的关系

3.2.2 光量传感器 (1)单晶硅与非晶硅太阳能板的比较。单晶硅太阳能板如 SM-5626, PAR 值约为  $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 输出电压不呈线性,此类单晶硅太阳能板只适于 PAR 值为  $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以下的光源<sup>[7]</sup>。由图 6 可见,SC-7035 非晶硅太阳能板呈现出比较好的线性度,光量最强能达到  $350 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,且尚未达到饱和。对于光需求量不高的作物,一般提供  $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的光量就足够了。SC-7035 非晶硅太阳能板的回归方程式为  $PAR = 99.593 \times U$ 。其中,PAR 为光合作用有效能量,单位为  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;  $U$  为太阳能板输出电压,单位为 V。(2)环境温度对太阳能板的影响。由图 7 可见,不同环境温度下,光量

相同时太阳能板输出的电压不会因温度升高而改变;输出光源在相同工作比下,温度越高输出光量则会降低。(3)不同生产周期太阳能板对光量的反应。由图 8 可见,LED 工作比在 80~100 之间,因 LED 输出光量已趋于饱和,测量到的电压不会有明显变化;3 块不同周期的太阳能板具有相同的变化趋势,相同光量下第一块与第二、第三块会有细微差异,在使用前还是必须对不同太阳能板进行回归处理。

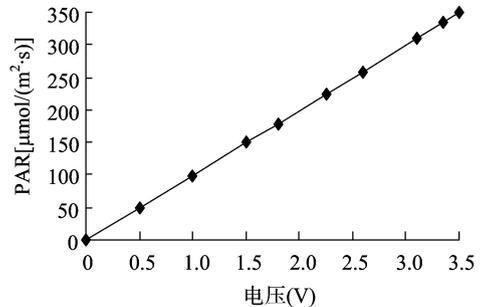


图6 非晶硅太阳能板(SC-7035)特性曲线

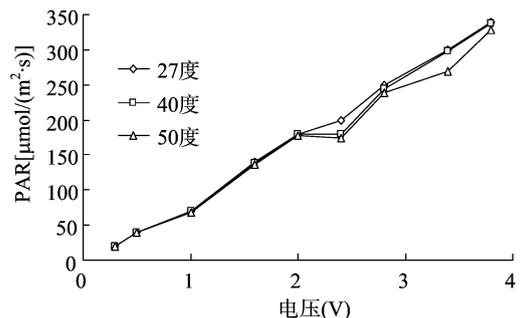


图7 不同环境温度与光量非晶硅太阳能板输出电压的关系

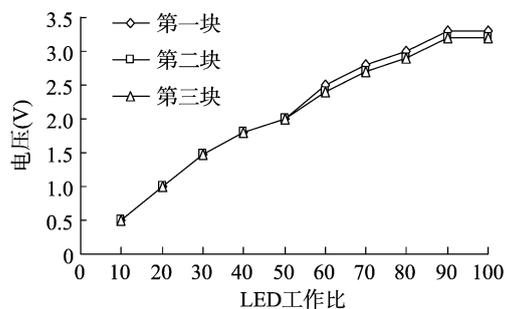


图8 不同生产周期非晶硅太阳能板输出电压变化

### 3.3 营养液控制系统构建与测试

营养液调控需要使用 3 个蠕动泵,分别为调酸(A 泵)、A 液添加(B 泵)及 B 液添加(C 泵)。由表 1 可见,B、C 泵差异较小,测量 60 s 时流量约为  $52 \text{ mL}/\text{m}$ ;A 泵流量最小,约为  $47.7 \text{ mL}/\text{m}$ 。这是由于营养液添加时,A 液与 B 液需以 1:1 比例添加,因此选用差异较小的蠕动泵。

表 1 蠕动泵的性能

测量时间 (s)	蠕动泵流量( $\text{mL}/\text{m}$ )		
	A 泵	B 泵	C 泵
30	$23.7 \pm 0.3$	$25.8 \pm 0.2$	$26.5 \pm 0.1$
60	$47.7 \pm 0.3$	$52.4 \pm 0.3$	$52.1 \pm 0.1$

使用营养液控制系统调控 90 L 的营养液实践:初始手动方式添加营养液、酸碱度不进行调整,以节省等待时间;当营

李 将,俞阿龙,蔡文科,等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的温室控制系统研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):494-497.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.153

# 基于 ZigBee 和 GPRS 的温室控制系统研究

李 将<sup>1</sup>,俞阿龙<sup>2</sup>,蔡文科<sup>2</sup>,李倩倩<sup>1</sup>

(1. 南京工业大学自动化与电气工程学院,江苏南京 211816; 2. 淮阴师范学院物理与电子电气工程学院,江苏淮安 223300)

**摘要:**为了适应现代农业发展的需求,提高农业温室控制系统的智能化水平,提出了以 CC2530 处理器为核心组建 ZigBee 网络,结合 GPRS 无线通信模块和 Web 远程控制技术实现数据采集与温室设备控制的方案。该系统根据采集到的温度、湿度、照度、CO<sub>2</sub> 浓度等温室参数,与事先设定的环境参数进行对比,经分析后通过服务器控制软件和手机客户端实现对温室设备的远程控制。性能测试结果表明,该系统稳定、智能化程度高,具有广泛的应用推广价值。

**关键词:**农业温室控制系统;CC2530 处理器;ZigBee;温室控制;GPRS;性能测试

**中图分类号:** S126;TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0494-04

随着现代农业发展的需求,智能温室与当代科学技术的结合程度越来越高,实现了植物生长小环境中温度、湿度、照度、CO<sub>2</sub> 浓度等环境参数的自动检测和控制<sup>[1]</sup>,保证了植物全年能够不受外界因素影响地处于最佳的生长环境,从而提高产量,缩短生长周期。智能温室有很多普通温室所不具备的优点,符合现代农业发展的要求,是当今世界农业生产的发展

方向。目前,国内温室控制主要采用人工实地测试和有线监控方式,掺杂过多的人工经验<sup>[2]</sup>。人工实地测试不能实时监测温室环境变化,更不能根据需求自动打开相应温室设备,无法满足现代温室农业控制系统的要求。有线控制方式布线复杂,性能不稳定,成本高,不利于提高温室大棚的利润率。因此,本研究提出了一种基于 ZigBee 无线通信技术的智能温室控制系统,结合 GPRS 以及嵌入式技术<sup>[3]</sup>,通过 Web 实现了数据和控制指令的无线远距离传输,系统集成度高,克服了原有智能温室控制系统的许多缺点,适合在农业中广泛运用。

收稿日期:2014-09-18

基金项目:国家自然科学基金(编号:61350008);国家星火计划(编号:2012GA690166);江苏省高校产业化推进项目(编号:JHB2012-55)。

作者简介:李 将(1989—),男,安徽阜阳人,硕士,主要研究方向为无线传感器网络与智能系统。E-mail:1052691819@qq.com。

通信作者:俞阿龙,教授,主要研究方向为测控技术。E-mail:yal@hytc.edu.cn。

## 1 系统总体设计

该系统以 CC2530 处理器为核心设计了采集数据的传感器节点和控制系统的执行节点。传感器节点、执行节点、协调器节点组成星型结构的 ZigBee 网络。WSN(无线传感器网

养液电导率由 0.2 mS/cm 上升至 1.1 mS/cm,此时营养液的 pH 值会迅速下降;系统自行将营养液微调整至设定值 1.2 mS/cm,酸碱度调整至 pH 值为 6,此时需经过较长时间达到平衡,通过蠕动泵增加流量以提高调酸速度。

## 4 结论

通过物联网技术将精密温室中的各种传感器互联,不但可以实现对农作物的自动管理,而且可以通过互联网远程监控。光量传感器部分采用非晶硅太阳能板,当光量在 350 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 以下时,传感器可在保证精确控制的基础上大幅降低成本。适用于精密温室内环境的无线监控系统,可对风、光、水、养、气进行监控,系统可依照使用地点不同、PICNIC 安装数目以及使用传感器种类而更改软件设定,使系统能够很容易移植到相应的农田并易于扩展。控制策略以条列方式进行处理,对控制要素进行扩充,使系统在控制设备的应用更具多样化。

无线监控系统要对设备进行精确控制,无线网络需要有很强的稳定性;因此,必须根据实际环境更改无线接入点的数量,在相对集中的温室或大棚中采用有线网络传输,使系统消除因其他无线网络干扰等带来的不稳定性。

## 参考文献:

- [1] Decagon Devices. ECH<sub>2</sub>O Dielectric Probes vs. Time Domain Reflectometers(TDR) [EB/OL]. [2015-04-20]. <http://www.decagon.com>.
- [2] Fukatsu T, Nanseki T. Monitoring system for farming operations with wearable devices utilized sensor networks[J]. Sensors, 2009, 9(8): 6171-6184.
- [3] 陈一飞,杜尚丰. 对农业大系统控制若干问题的思考[J]. 农业工程, 2011(1): 8-13.
- [4] 程秀花,毛罕平,倪 军. 基于 CFD 的自然通风玻璃温室湿热环境模拟与测试[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 2010, 31(3): 90-94.
- [5] 陈正法,梁称福,李文祥,等. 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置及运行效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 158-163.
- [6] 郑丽萍,何东健. 基于 S3C2410A 的农田土壤信息采集平台设计[J]. 农机化研究, 2008(6): 82-85.
- [7] 王石磊,郭艳玲,付志刚. 基于 ARM 的温室环境控制系统研究[J]. 林业机械与木工设备, 2008, 36(4): 19-21.
- [8] 唐 娟,王文娣,吕长飞. 基于新型 AVR 单片机的温室测控系统[J]. 微计算机信息, 2007(26): 138-139, 184.