



各阶段温度周期曲线为控制基准, 以被检温度变化率为控制变量, 就可对温室环境进行优化管理, 达到稳产高产。

1 2 调控模型的基本内容

1 2 1 修正状态变量  $G_n$

考虑到栽培区域的差异和种植品系的差异, 设温度各点的标准参考量  $G_n$  为修正状态变量, 为

$$G_n = T_n + a(n = 0, 1, 2, \dots, 7) \tag{1}$$

式中  $a$ ——地区及种类等的差异修正系数, 其取值范围为  $0 \sim 3$ ;  $T_n$ ——作物的适温水平或作物在不受损害的最低或最高极限温度。  $T_n$  以及  $G_n$  的取值水平是随物种和品系的变化而变化的, 且同一物种的不同生育阶段也可能不同。经过大量实验, 发现并验证一些主要常见品种的  $T_n$  值, 见表 1。

表 1 主要常见品种的  $T_n$  值

Table 1  $T_n$  value of main crops

种 类		水 平							
		$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$
甜椒	苗期	15	20	25	35	12	32	20	16
	生育旺期	18	20	30	35	32	32	20	39
西瓜	苗期	12	20	30	38	10	33	15	14
	生育旺期	13	23	30	38	10	33	18	16
甜瓜	苗期								
	生育旺期	18	25	30	38	15	30	23	20
菜豆	苗期	15	20	22	32	10	30	20	17
	生育旺期	12	20	26	32	10	30	20	14
生菜、菠菜、萝卜	苗期								
	生育旺期	10	15	20	25	5	23	14	12
油菜 芹菜	苗期								
	生育旺期	8	13	18	23	5	20	12	10
韭菜	苗期								
	生育旺期	7	15	20	22	5	18	12	10
草莓	苗期								
	生育旺期	10	18	23	30	3	25	15	12

1 2 2 转移变量与控制变量

本研究以温度为主参数, 以理想的周期曲线为主参数模式, 而对综合环境多因子进行优化平衡调控的方式称为“温度制衡”体系, 其核心在于综合环境的平衡调节, 总是在被检温度的水平与标准模式设定的温度水平比较中进行的。然而要想找到在周期变化曲线上的唯一被检温度  $T_r$ , 就必须考核其现时的变化状态, 即温度的时间变化率  $Q$  为

$$Q = T'(t) \tag{2}$$

$Q$  的近似值为

$$Q = \frac{T_{t+\$t} - T_t}{\$t} \$t \tag{3}$$

式中  $T_t$ ——为  $t$  时的温度水平;  $T_{t+\$t}$ ——为  $t + \$t$  时的温度水平;  $\$t$ ——两温度水平取样的时间。

在测出温度瞬时水平  $T_r$  的同时, 又求出其温度

变化率, 则它在曲线上的对应点就是唯一的, 故称  $Q$  为控制变量。由于被测温度是一个时间历变过程, 它能落在制控曲线上的任一个阶段里, 故称其为状态变量, 考虑到不同强度的温度变化效应, 其修正值  $E$  为

$$E = T_r - Qb \tag{4}$$

式中  $b$ ——强温变修正系数, 即变温 1 所用的平均时间, 取值范围为  $0.5 \sim 1$ ;  $T_r$ ——温室实际温度测量的瞬态值, 有时也把  $E$  称为状态转移函数, 式 (4) 也就称为状态转移方程。

1 2 3 优化指标方程

在实现日光温室综合环境自动优化平衡调控时, 人们总希望以最小的运行费用达到最佳的生产效果, 即欲使综合环境调控时的能量消耗为最小, 由此得最优值函数  $F$  为

$$F = \min_{j=k}^n V_j(T_j, V_j) (n = 1, 2, 3, \dots, 10) \tag{5}$$

式中  $V_j$ ——在第  $j$  阶段时, 当状态变量处于  $T_j$ , 实现控制决策  $V_j$  所消耗的全部能量 (其详细分析将另文给出)。

1 2 4 递推方程

欲达到优化指标  $F$ , “温度制衡”体系中的各阶段变量  $k$  (理想情况和非常情况的集合  $k = 1, 2, \dots, 10$ ), 状态变量  $T_n$  及其函数  $G_n$ , 控制变量  $Q$  状态转移函数  $E$  及控制策略集合应满足如下递推方程 (见表 2)。

上述基本方程里,  $1, 2, 3, \dots, 10$  即为阶段变量。  $H$  为第二控制变量, 代表被检相对湿度,  $H_0$  为生物生育适宜相对湿度上限,  $H_1$  为生物生育适宜的相对湿度下限。如当温室内种植的甜椒处在生育旺期时, 在上午 7:00 ~ 11:00 内, 控制系统里设置的状态变量  $G_1 = 20$ ,  $G_2 = 30$ ,  $G_3 = 35$ , 当系统检测的温度为  $T_r$  和温度变化率为  $Q$  时, 系统可按公式 (4) 计算出修正变量  $E$ 。按  $E$  值的大小, 系统控制策略可能处于如下情况之一:

1)  $G_7 < E < G_1$  说明温室环境状态处于阶段 10, 当  $Q < 0$  时说明环境气温过低, 在加保温被保温的基础上应采用加温措施, 而当  $Q > 0$  时说明环境气温处于正常状态, 系统只采取加保温被的决策就可以了。

2) 当  $G_1 < E < G_2$  时说明温度环境状态处于阶段 1, 当  $Q = 0$  说明环境气温过低, 应继续采取加保温被和加温对策; 当  $0 < Q < 1$  时说明环境气温较低, 光照不足, 系统不再加温, 不加保温被但采取补光措施; 当  $Q > 1$  时说明气温正常, 光照充足, 系统

表 2 日光节能温室综合环境动态优化控制递推方程表

Table 2 Equation table of comprehensive environment dynamic optimized control on solar energy saving greenhouse							
阶段变量	转移方程	控制变量	决策集合	阶段变量	转移方程	控制变量	决策集合
1	$G_1 \quad E < G_2$	$Q = 0$	加保温被 + 加温	6	$G_6 \quad E > G_0$	$Q < -1$	保温(闭) + 停补光 加保温 + 停补光
		$0 < Q < 1$	补光栽培				
		$Q > 1$	CO <sub>2</sub> 补偿 + 环风				
		$H > H_0$	加热降温 + 环风				
2	$G_2 \quad E < G_5$	$H < H_1$	加湿 + 环风	7	$G_0 > E > G_4$	$0 > Q > -1$ $-1 > Q > -2$ $Q > -2$	保温(闭口) 加保温被保温 加保温被保温 + 加热
		$0 < Q < 1$	补光(电光栽培)				
		$Q > 1$	停止补 CO <sub>2</sub>				
		$H > H_0$	加热降温 + 环风				
3	$G_5 \quad E < G_3$	$H > H_1$	加湿 + 环风	8	$E < G_4$	$Q < 0$	应急加热 + 加厚保温被
		$0 < Q < 1$	补光(电光栽培)				
4	$E \quad G_3$	$Q > 1$	通风降温	9	$G_4 < E < G_7$	$0 < Q < 1$ $Q = 1$	加保温被保温 去保温被保温
		$Q > 0$	通急风				
5	$G_3 > E > G_6$ $G_5$	$0 > Q > -1$	补光	10	$G_7 < E < G_1$	$Q = 0$ $Q > 0$	保温 + 加温 去保温被保温
		$-1 > Q > -2$	通风				
		$Q > -2$	保温(闭风型)				

采取补充 CO<sub>2</sub> 和调节水平气流环流措施, 如  $H < H_1$  说明湿度过低应进行适度加湿。当  $G_7 > E > G_2$  时, 温室控制状态处于第 2 阶段了。

2 综合环境自动调控的模型与实现

2.1 控制系统的组成

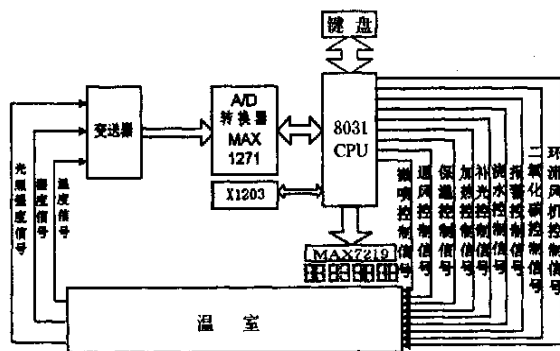


图 2 控制系统结构框图

Fig2 Structure diagram of control system

如图 2 所示, 该系统以 8031 单片微型计算机为核心, 晶体振荡频率  $f_{osc} = 8\text{MHz}$ 。模数转换器采用具有采样保持、电压基准、8 通道、12 位串行输出的 MAX1271, 完成棚内湿度、光照强度和温度传感器信号的 A/D 转换。采用 X1203 时钟日历芯片为控制提供时间依据。并采用带高速缓冲串行接口的 MAX7219 芯片驱动 8 位 LED 显示。存储器使用 28C64 芯片(8K, EPROM)存放程序<sup>[4, 5]</sup>。强电控制部分选用目前较先进的过零型光耦合固态继电器作为输出功率控制电路, 直接驱动电磁阀来控制电动机、加热、浇水等装置, 来实现对环境的控制等。

2.2 控制系统流程图

该系统的软件用单片微型计算机专用语言 C51

编写而成。系统软件的结构如图 3 所示。该软件采用模块式设计, 结构分明、紧凑, 程序运行可靠。

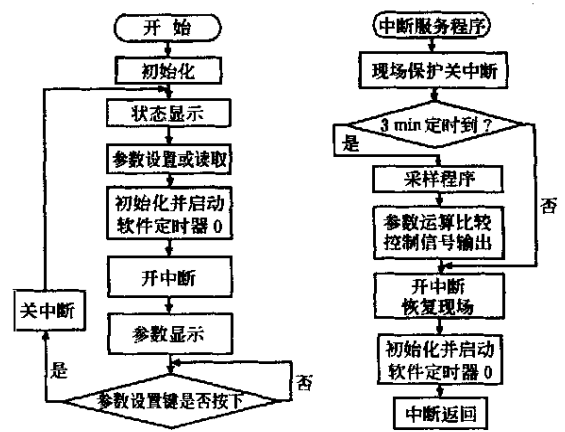


图 3 系统软件的流程图

Fig 3 Flow chart of system program

3 系统运用情况简述

该系统于 1998 年 10 月在山西省忻州市国家级农业示范园试用开始, 已推向山西各地市, 如在高平市店上基地, 该系统用于控制 720 m<sup>2</sup> 的节能日光温室, 该温室种植的黄瓜品种为津研系列, 与控制系统相配套的运行装备为机电一体化的自动卷被保温系统、卷膜通风系统、微喷加湿系统、滴灌系统、补光系统、应急加热系统、CO<sub>2</sub> 补施系统和水平气流调节环风系统等, 可对温室生产的环境因子温、光、湿、气、水和风等进行综合调控。和对照棚相比, 试验温室黄瓜早上市 6 d 左右, 病虫害减轻 60% ~ 80%, 座果率提高 2%, 商品率提高 8% ~ 12%, 收获期从对照棚的 3 个月延长到 5 个半月, 单位面积产量增加了 1.1

倍, 经济效益提高一倍。

警准确率> 95%。

4 结 语

该系统采用价格性能比高的单片微型计算机 8031, 实现对温室综合环境进行监测和自动化调控, 已在实际生产中应用。经考核该系统主要技术性能指标达到: 使用电压 220 V ± 10 V, 平均日耗电量 (包括其它能耗) < 3 kW, 温度调节水平> 3 öh, 湿度调节水平> 20% öh, 光照调节水平> 1 000 lux, CO<sub>2</sub> 浓度调节水平> 300 ILä, 水平气流> 0 2 m ös, 系统的检测精度> 95%, 系统的漂移系数< 5%, 控制执行准确率> 95%, 调控准确率> 95%, 报

[参 考 文 献]

[1] 王双喜, 王海昌, 李志伟等 日光节能温室变温管理探讨[J] 农业工程学报, 1998, 14(增刊). 119~ 122  
[2] 吴毅民, 徐师华 温室塑料棚环境管理[M] 北京: 农业出版社, 1990 1~ 177.  
[3] 《运筹学》教材编写组 运筹学[M] 北京: 清华大学出版社, 1994(2): 196~ 253  
[4] 郑学坚, 周 斌 微型计算机原理及应用[M] 北京: 清华大学出版社, 1995 20~ 312  
[5] 张友德 单片微型机原理、应用与实验[M] 上海: 复旦大学出版社, 1997. 100~ 258

Research and Application of Auto-control System  
for Solar Greenhouse Comprehensive Environment  
With Temperature as Principal Parameter

Li Zhiwei, Wang Shuanxi, Gao Changzhen, Zhang Lianghe, Chu Qinghe  
(College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** Aiming at solving problem existing in the comprehensive environmental control of Chinese energy-saving solar greenhouse, an auto-control system was established where the temperature was taken as a principal parameter. Dynamic programming and research results show that the temperature is the principal factor in the comprehensive environment of solar greenhouse. Furthermore, this system solves the problem economically and efficiently. It is possible to realize the dynamic equilibrium control of composite environment with the single chip microcomputer 8031 as micro CPU. And favorable socioeconomic benefit can be obtained.

**Key words:** temperature; comprehensive environment; equilibrium control; single chip microcomputer