# 以温度为主控参数的日光温室 综合环境控制系统的研制与应用

## 李志伟, 王双喜, 高昌珍, 张亮和, 楮清河

(山西农业大学)

摘 要: 针对目前日光温室综合环境调控存在的问题,在研究日光温室微生态环境变化机理的基础上,以温度为主元的基本理论,利用动态规划理论,建立了以温度为主参量的日光温室综合环境调控模式,利用 8031 单片微型计算机实现了对日光温室综合环境的动态优化平衡调控,经济有效地解决了日光温室环境多因素的检测调控难题,取得了良好的社会效益和可观的经济效益。

**关键词**: 温度; 综合环境; 平衡控制; 单片微型计算机 中图分类号: S625.5<sup>+</sup> 文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0320068204

当今,日光温室发展迅猛,但由于日光温室是一个相对封闭的小空间,室内的生态环境自调节能力有限,经常出现某一个因素或多个因素的指标超限,影响了日光温室生产栽培的效果和效益,研制经济实用的日光温室综合环境自动控制系统势在必行。

本研究以温度为主元的多元分析为基础<sup>[1]</sup>、以变温管理<sup>[2]</sup>为目的,以动态规划理论为研究方法,以温度为主参量的多因素综合优化调控为体系,以8031单片微型计算机为控制核心,用单片机专用语言 C51 编程,实现了对节能型日光温室中温,光湿气,水及气流速度等环境因素为调控对象的综合环境动态优化平衡控制,解决了日光温室的综合环境因素检测难题,在不改变日光温室"节能原则"的基础上实现了综合环境的优化调控。

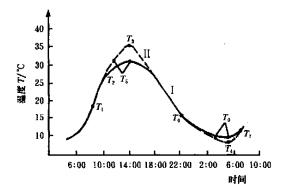
#### 1 综合环境自动调控的模型设计

#### 1.1 调控模型的原理

在研究日光温室微生态环境变化过程中, 光照度、气温、湿度、CO<sup>2</sup> 浓度、水分等温室环境因子中, 温度对作物生育的影响最显著<sup>11</sup>。如果以作物在一天内生育的不同适温水平或其上、下界温度作为状态变量, 可把作物生育一天所需要的温度变化划分为若干个阶段。这若干个不同的阶段有序地连结成一体, 成为能对综合因素平衡控制的优化参考模式(图 1)。设任一时刻被检动态变化的温度水平值为动态转移变量, 该时刻温度的变化率为控制变量, 根

收稿日期: 2001201210 修订日期: 2002204202 作者简介: 李志伟(1969-), 男, 江西南康县人, 讲师, 主要从事 计算机原理, 电子技术的教学研究。山西太谷 山西农业大学 工程技术学院, 030801 据它们所在制控模式对应的阶段,结合温度主元控制模式或水平,驱动调节装置执行调控决策,从而实现适宜生物生育的环境多因素的综合平衡调节。

以时间为横坐标, 温度为纵坐标, 某作物一天内生长发育的理想温度变化周期曲线如图 1 中的É 所示。该曲线就是温度主元控制模式曲线。曲线由点  $T \subseteq T \subseteq \dots, T_T$  拟合而成的, 故  $T_T = 0, 1, \dots, T$  称为状态变量[3]。



 $T_1$  — 昼间适温低水平  $T_2$  — 昼间适温高水平  $T_3$  — 极限高温  $T_4$  — 极限低温  $T_5$  — 昼间适温上限  $T_6$  — 夜间适温高水平  $T_7$  — 夜间抑制呼吸高水平  $T_0$  — 夜间适温低水平

图 1 温度主元控制模式曲线

Fig 1 Control mode curve with temperature as principal parameter

如图 1 所示, 状态变量把曲线分成了若干段, 由于这些段的各种情况都不一样, 把描述这些阶段的量 k 称为阶段变量。理想情况下, 曲线上不应含有  $T_3$  和  $T_4$  的阶段, 这样理想曲线的阶段变量 k=1,2,5,6,7,0。图 1 中带有虚线的是异常曲线 的阶段变量 k=1,2,3,4,6,7。进一步的试验与理论研究都表明, 在充分考虑到温室各因素相互作用的情况下, 以

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。

#### 12 调控模型的基本内容

#### 1. 2 1 修正状态变量 G<sub>n</sub>

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。*为修正状态变量,为

$$G_n = T_n + a (n = 0, 1, 2, ..., 7)$$
 (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

<b>1</b> H	类				水	平			
<b>种</b>	· 笑	$T_0$	$T_1$	T 2	<i>T</i> 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
加陆	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	苗期								
菜, 萝卜	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

#### 1.22 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<sub>r</sub>, 就必须考核其现时的变化状态, 即温度的时间变化率 Q 为

$$Q = T (t)$$
 (2)

Q的近似值为

$$Q = \frac{T_{t+} s_t - T_t}{s_t} s_t$$
 (3)

式中  $T_t$  为 t 时的温度水平;  $T_{t+}$   $s_t$  一 为 t+  $s_t$  时的温度水平;  $s_t$  一 两温度水平取样的时间。 在测出温度瞬时水平  $s_t$  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

$$E = T_r - \mathbf{Q}_b \tag{4}$$

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。

#### 1.23 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

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

#### 1.24 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......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, ..., 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  $7:00 \sim 11:00$  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  $E_0$  按 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 energy2saving 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	$G_1$ $E < G_2$	$Q = 0$ $0 < Q = 1$ $Q > 1$ $H > H_0$ $H < H_1$	加保温被 + 加温 补光栽培 C02 补偿 + 环风 加热降湿 + 环风 加湿 + 环风	6	$G_6$ $E > G_0$	Q< - 1	保温(闭) + 停补光 加保温 + 停补光	
2	$G_2$ $E < G_5$	0 < Q 1 Q > 1 $H > H_0$ $H > H_1$	补光(电光栽培) 停止补 CO <sub>2</sub> 加热降湿 + 环风 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	
3	$G_5   E < G_3$	0 < Q 1 Q> 1	补光(电光栽培) 通风降温	8	$E < G_4$	Q< 0	应急加温 + 加厚保温被	
4	$E = G_3$	Q> 0	通急风	9	$\frac{G_4}{G_0}$ < $E$ < $G_7$	0 < Q< 1 Q 1	加保温被保温 去保温被保温	
5	$\frac{G_3}{G_5}$ > $E$ > $G_6$	0 > Q > - 1 $-1 > Q > - 2$ $Q - 2$	补光 通风 保温(闭风型)	10	$G_7 < E < G_1$	Q 0 Q> 0	保温 + 加温 去保温被保温	

采取补充  $CO_2$  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

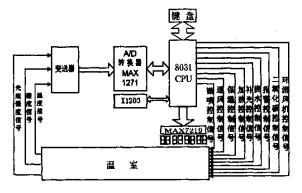


图 2 控制系统结构框图

 $Fig 2 \quad Structure \ diagram \ of \ control \ system$ 

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  $\infty$  = 8 M H z。模数转换器采用具有采样ö保持、电压基准 8 通道 12 位串行输出的 M A X 1271,完成棚内湿度、光照强度和温度传感器信号的 A  $\partial$ D 转换。采用 X 1203 时钟ö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 M A X 7219 芯片驱动 8 位 L ED 显示。存储器使用 28C64 芯片  $(8K, E^2PROM)$  存放程序 [4.5]。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。

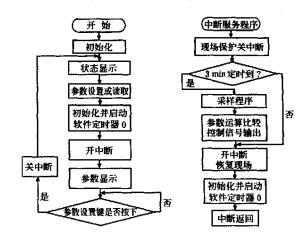


图 3 系统软件的流程框图

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 m² 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 CO2 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。

### 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,CO2 浓度调节水平> 300 LL ÖL,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

警准确率> 95%。

#### [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 A gricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: A iming at solving problem existing in the comprehensive environmental control of Chinese ener2 gy2saving solar greenhouse, an auto2control 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 prob2 lem economically and efficiently. It is possible to realize the dynamic equilibrium control of composite envi2 ronment 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