

温室环境多级控制系统及优化目标值设定的初步研究

邓璐娟¹, 张侃谕², 龚幼民², 陈春宏³

(1. 郑州轻工业学院信息与控制系, 郑州 450002; 2 上海大学机电工程与自动化学院
自动化系, 上海 200072; 3 上海市农业科学院环境科学研究所, 上海 201106)

摘要: 该文采用多级控制策略, 优化设定系统目标值来解决温室环境系统中多个时间响应常数相差过大的问题; 设定系统优化目标值时, 白天使植物获得最大的光合速率, 夜间在满足植物生长和积温要求的前提下使温室处在能耗最小的状态下运行。构建了能量消耗为零(无加热、无制冷和无机械通风)时计算温室内部温度的模型, 采用遗传算法对最优目标值进行搜索, 计算结果表明: 该系统优于某地先进的温室控制系统, 既能获得较高的效率又能节能。

关键词: 温室; 多级控制系统; 积温理论; 光合速率; 遗传算法

中图分类号: S625.5+1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0119-04

邓璐娟, 张侃谕, 龚幼民, 等. 温室环境多级控制系统及优化目标值设定的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 119-122
Deng Lujuan, Zhang Kanyu, Gong Youmin, et al. Preliminary study on hierarchical greenhouse environment control system and setting of the optimized target values[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 119-122 (in Chinese with English abstract)

0 引言

温室环境调控的目的是使植物常年处于适宜的生长环境之中, 以发挥其最大的生产潜力, 同时要最大限度地节能、节省资源, 增加种植者收入。温室植物生长环境的调控具有下述特点: 1) 不同的生长季节, 不同的生长阶段, 植物对环境有不同的要求, 相应地对控制系统而言, 各阶段需要不同的目标值, 执行机构也需有不同的动作, 才能达到种植者的要求, 如植物最终的产量和质量、上市时间、成本消耗等。2) 温室植物环境是一个复杂系统, 环境系统和植物生理过程关系密切, 环境不仅会影响到植物的生理过程, 反过来, 生理过程(呼吸、蒸腾和光合作用等)对环境系统也有影响。3) 无论是温室环境系统对外界环境变化的响应, 还是植物生长过程对环境变化的响应, 都有不同的时间尺度(如太阳从云层后出现可以在秒级内检测到, 而加温系统开启后, 温度的上升需要几十分钟才能达到目标值, 而当环境因子变化后, 植物的响应如干物质、叶面积、果实的数量和质量等则需要几周时间才能检测出)。4) 温室环境调控系统中许多变量(如植物生理状态和响应)在目前还难于动态监测得到。5) 环境因子间存在相互耦合作用, 如温度升高同时伴随相对湿度下降等。6) 温室环境调控系统会遇到强烈的扰动, 如室外辐照度、气温和风速的变化, 有时候还会受到人为不合理干预。因此, 温室生产系统具有不确定性、不精确性、非线性、强耦合性、大惯性等特点。所以, 对温室植物环境的控制有一定的难度^[1]。

为了使温室生产取得较高的产量和质量, 同时又最

大限度的节省能源, 本文讨论了温室环境多级控制策略及其系统目标值优化设定的问题, 设定的温室环境优化目标值既能获得较高的光合作用效率又能节能。

1 优化控制的实现

针对上述问题, 本文采用多级控制的策略来解决响应快慢不均, 时间常数相差过大的问题; 设定系统优化目标值时, 白天存在自然光照时使植物获得最大的光合作用效率, 夜间在满足植物生长要求的前提下使温室在最节能的状态下运行。

1.1 多级控制系统

多级控制系统如图 1 所示。第一层, 直接测控级直接面对生产现场的各类设备, 需实现的功能包括: 1) 完成对现场各设备的监测、驱动、保护; 2) 在接收过程优化级的指令后, 完成对现场各设备的控制; 3) 完成对现场各路数据的采集并向上传送。第二层, 过程优化级生产计划来自系统管理级, 需实现的功能包括: 1) 完成温室环境参数管理, 对温室环境参数进行设定, 实时监测, 历史数据的存储、显示、分析及打印; 2) 完成温室设备管理, 对直接控制级中各站点的设备状况及状态进行综合监视和管理, 实现集中操作或提供给直接测控级; 3) 完成控制算法及控制回路参数设定和修改, 优化控制过程; 4) 完成系统安全性管理。第三层, 系统管理级完成对市场的预测、季节安排、资源配置、生产准备条件等。

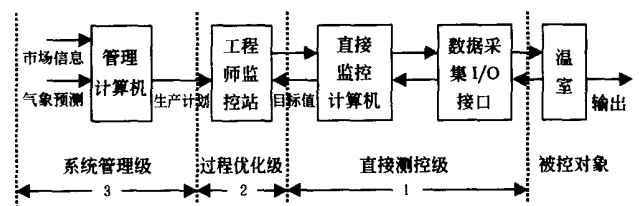


图 1 智能温室环境控制系统多级控制示意图
Fig 1 Hierarchical control system of intelligent greenhouse environment

收稿日期: 2003-09-24 修订日期: 2004-11-15

基金项目: 河南省自然科学基金“基于高效益的智能温室控制系统建模和控制算法研究”(0311032200); 上海市科技攻关项目“温室精准调控技术集成与示范”(03DZ19303); 河南省教育厅自然科学基金(2003210074)

作者简介: 邓璐娟, 博士, 副教授, 郑州 郑州轻工业学院信息与控制工程系, 450002. Email: denglujuan@zzuli.edu.cn

本文讨论第二层的温室环境气候优化目标值的设定问题,关于其它层的论述见参考文献[2- 4]。

2 优化目标值的设定

整体思路如图 2 所示,本部分需完成: 1) 静态目标值范围确定; 2) 有太阳辐射存在的时间段(包括阴雨天),按照植物光合作用对环境的响应,采用遗传算法按照能获得最大光合作用原则搜索最优目标气候设定值(1); 3) 其他时间段,按照最节能原则,搜索最优温度设定值(2); 4) 按照积温理论和最节能原则,对目标值进一步优化。

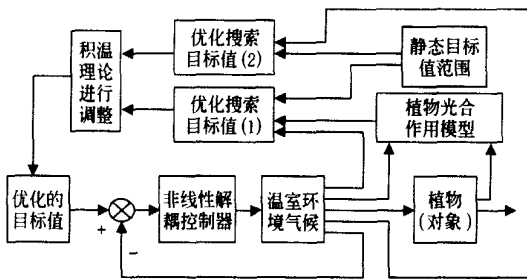


图 2 温室环境气候因子优化目标值设定示意图
Fig 2 Method of setting optimal goal value of greenhouse of environment climate factor

2.1 静态目标值设定

设定原则: 1) 按照植物的生长周期,分阶段(出苗期、幼苗期、伸蔓期和结果期)分别定义植物所需的平均温度范围,最低温度值和最高温度值。2) 每 24 h 中,还需满足植物生长所要求的昼夜温差,采取变温管理,分为白天增进光合作用时段,傍晚至前半夜促进光合产物运转时段和后半夜抑制呼吸消耗时段。这一部分的实现依赖于种植专家经验和植物生长规律建立的知识库及推理系统完成,给出的是比较宽松的目标值范围,进一步将以一日为周期动态设定环境气候温度目标值^[6]。

2.2 以一日为周期设定优化温度目标值

设某植物结果期给出的目标值范围^[5]如表 1 所示:则设定的 24 h 的目标温度分为 4 个阶段: I、II、III 和 IV,如图 3 所示。实线是目标温度,虚线是实际温度,其中,各时间段满足以下要求:

时段 I: $10 \leq X_1 \leq 12$ (1)

$J = \min F(X_1, U, Out\ Weather, Greenhouse, Fuel\ Price)$ (2)

时段 II: $X_2 = \max(T_{forecast}, 25)$ (3)

$X_2 \leq 32$ (4)

时段 III: $P = F(L, X, CO_2, Plant)$ (植物光合作用最佳) (5)

时段 IV: $15 \leq X_3 \leq 18$ (6)

$J = \min F(X_3, U, Out\ Weather, Greenhouse, Fuel\ Price)$ (7)

式中 X, X_1, X_2, X_3 ——优化的目标温度, ; $T_{forecast}$ ——所有设备处于零状态时(即能量消耗为零),靠初始条件(前一阶段的余热)和外部气候的扰动,温

室得到的预测温度, ; $U = [u_1\ u_2]$ ——控制输入; $Out\ Weather$ ——室外温度、风速和辐照度; J ——能源成本消耗,当 X_1 和 X_3 取优化值时, J 应该最小; X 的取值应该使植物光合速率 P 有最大值。这样,既使植物光合作用效率最高,又使 J 最小,达到节能目的。

表 1 某作物结果期目标值范围

时间段	II (上午、中午)	III (下午)	IV (上半夜)	I (下半夜)
温度范围	25~ 32	25~ 20	18~ 15	12~ 10

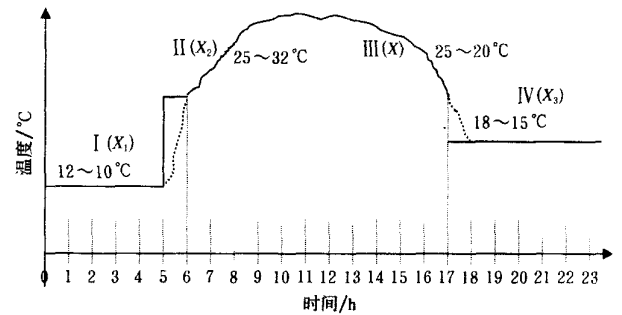


图 3 24 h 范围给定优化温度目标值策略
Fig 3 Optimal goal temperature of one circle (24 h)

2.3 按光合作用最佳原则搜索时间段 II 目标温度和 CO₂ 浓度

根据遗传算法和光合作用与环境关系的模糊模型^[2]可以得出在当前光照条件下最适合的温度和二氧化碳浓度 CO_2 。其中 T 的搜索范围为(25~ 32) (依据见上面分析)。 CO_2 的搜索范围是(200~ 1000 ppm), 下限取值依据是大气 CO_2 浓度一般在(330~ 350 ppm) 之间, 温室内部如果不施加 CO_2 也不开窗放风则 CO_2 浓度会低于大气 CO_2 浓度, 上限取值依据是: 如果 CO_2 浓度过高则容易对作物造成损伤, 增加渗漏损失, 因此经济效益不见得能增加^[6]。按遗传算法和模糊模型得到光合作用最优的温度 (T) 和二氧化碳浓度 (CO_2) 目标值的算法框图如图 4 所示。

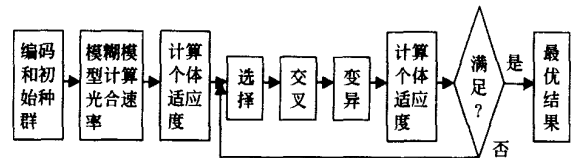


图 4 按遗传算法和模糊模型得到光合速率最优的温度 (T) 和二氧化碳浓度 (CO_2) 目标值

Fig 4 Optimal temperature and CO_2 concentration goal values of photosynthesis rate according to genetic arithmetic and fuzzy model

2.4 按最小能量消耗原则搜索时间段 I 和时段 IV 的目标温度和 CO₂ 浓度

如果不补光, 在时间段 I 和 IV 基本上没有光合作

用, 因此也不需人工增加 CO₂, 所以这一阶段只需设定最优目标温度 X₁ 和 X₃。

式 (1), (2) 和 (6), (7) 具有相同的形式, 可改写为最优控制的标准形式 (8)。最优化问题 (最节能问题, Lagrange 问题) 就是: 初始条件 X = X₀, 在约束 a ≤ X ≤ b 下, 选择 X, 使能量成本消耗 J 最小。F 指能量成本消耗变化率; T_o, W, L 指室外温度, 风速和辐照度, greenhouse 和 Fuel Price 指温室结构参数和资源材料 (煤或石油, 电) 的市场价格, 这里假设它们为常数。加热和通风的花费与维持温室环境气候目标值的消耗有关, 其计算见 [2, 4]

$$\begin{cases} X(t_0) = X_0 \\ a \leq X \leq b \\ J = \int_{t_0}^{t_f} F(X, U, T_o, W, L, t) dt \end{cases} \quad (8)$$

由于与控制变量、室外气候扰动和初始状态有关的温室环境气候模型具有强耦合性和强非线性, 且室外气候扰动也是随机的, 未知的, 因此无法直接构造 Hamilton 函数, 利用 Pontryagin 极大值原理求解。

为此, 采用遗传算法的方法对最优目标值进行搜索, 得到了合理的结果 [2, 4, 8, 9]。

2.5 按积温理论调整目标值

最优目标值 X₁ 或 X₃ 需按 7 d 积温理论 [10] 调整, 计算请见参考文献 [2]。这样在设定加热系统的目标值时, 在保证植物不受损害的情况下, 可以按照自然气候的波动进行稍微调整, 以便进一步达到节能的目的。

3 优化控制的结果

为了验证优化控制结果, 本文以某地引进的国际上技术比较先进的荷兰温室计算机控制系统 (标记为 A 系统) 记录的室外气象数据为依据进行了计算, 将计算结果与该系统运行曲线进行了对比, 见图 5~7。该控制系统控制的温室共有 4 个小区, 每个小区均安装有管道加热系统, 自然通风系统 (窗户), 强制通风系统 (轴流风机和湿帘泵), 喷雾系统, 灌溉系统, CO₂ 系统等。采录的数据来自其中的一个小区, 该小区面积为 650 m², 种植黄瓜, 正值盛果期。

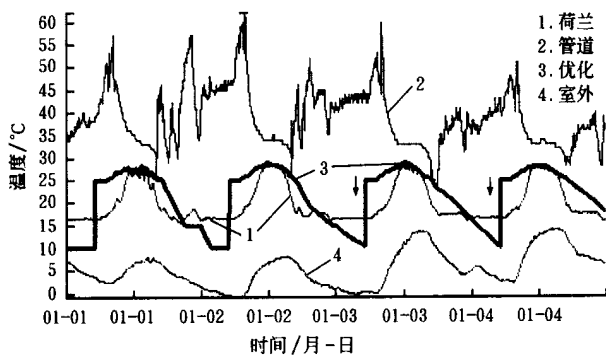


图 5 A 系统实际运行曲线和优化目标值曲线温度对比图 (2002)

Fig 5 Contradistinctive results between actual data of the system operation and optimal goal values (2002)

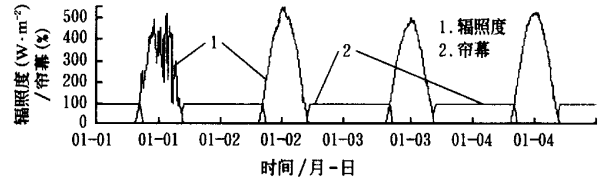


图 6 室外辐照度幅值和帘幕开启状况 (2002)

Fig 6 Outside radiant intensity and states of energy screen on (2002)

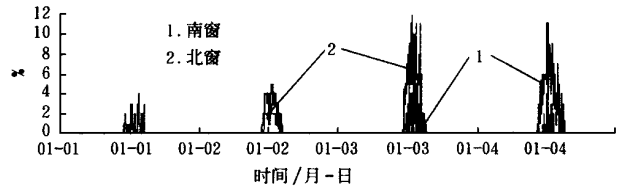


图 7 A 系统窗开启状况 (2002)

Fig 7 Actual ventilation window position (2002)

图 5 是加热启动时 A 系统实际运行曲线和以本文方法给定的优化目标温度曲线对比图, 曲线 1 代表 A 系统温室内部温度曲线, 曲线 2 代表加热系统管道温度, 曲线 3 是本文通过优化计算得到的目标温度, 曲线 4 是室外温度。图 6 是与图 5 相对应时间时室外辐照度的大小和温室帘幕情况 (100% 指帘幕全部展开, 0 指帘幕全部收拢)。图 7 是与图 5 相对应的通风开启状况 (100% 指窗户全部打开, 0 指窗户全部关闭), 此时, 轴流风机和湿帘系统受控制策略的调节未启动。由图可见, 本文提出的优化目标方法在以下方面进行了优化: (1) A 系统在 17 点~24 点, 0 点~5 点维持较高的温度 (16.5~19.5), 这样引起两方面的不足: 一是不能抑制夜间的呼吸作用, 使代谢过高; 二是浪费能源。从图 5 曲线可以看出, 管道温度 (曲线 2) 在这一时段不仅不降低, 反而增加, 这样虽然无太阳辐射热量, 但过高的管温仍然使得温室温度维持一个较高值。而按照优化目标曲线, 在这一阶段, 在满足植物生长前提下, 通过对下一个时间步长 (5 min) 后温室温度变化增量的预测估算, 再结合积温理论进行调整, 合理给出目标值, 逐渐降低室内温度和管道温度, 从而实现节能。(2) A 系统在白天太阳辐射存在时, 特别是上、下午, 温度不够高, 影响光合作用速率。按照优化目标温度曲线, 控制系统可以通过减少通风或适当增加管道温度来提高温室内部温度, 从而在当前太阳辐射度和 CO₂ 浓度条件下, 取得最大光合速率 (光合速率与环境关系的计算和对比实验请见文献 [2])。 (3) A 系统管道升温指令一般在 7:00 左右, 这样使得温度的上升落后于太阳辐射的上升, 影响光合作用速率; 而按照优化目标值曲线应该在 5:00 就给出升温指令 (尽管冬天日出时间晚, 但为了节能冬天晚上温度一般低限, 这样与目标温度 (25) 差值大, 考虑植物能承受的温度变化率, 应该使升温过程相对拉长, 所以 5:00 时给出升温指令), 这样在太阳辐射上升时温度也达到了合理值, 从而促进光合作用。下一步要做的

工作是在实际栽培中进行对照实验, 这个实验需要比较长的时间。

4 结 论

本文提出的分级控制策略解决了温室多个时间常数相差过大无法按常规方法进行环境优化控制的问题, 仿真运行结果表明本系统给出的温室环境优化目标值优于国际上某些温室控制系统。

[参 考 文 献]

- [1] Albright L D, Gates R S, Arvanitis K G, et al Environment control for plants on earth and in space[J]. IEEE Control System s Magazine, 2001, 9(10): 28- 47.
- [2] 邓璐娟 智能温室的模型和控制策略[D] 上海: 上海大学, 2004
- [3] Deng L ujuan, Zhang Kanyu, Gong Youm in, et al Environment optimal control in intelligent greenhouse [A]. Proceedings of the Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation[C], 2004, 6: 5356- 5360
- [4] Deng L ujuan, Zhang Kanyu, Gong Youm in Soft computing technology for modeling of greenhouse climate control [A]. IS ICT'2003[C], 2003, 5253: 639- 644
- [5] 运广荣, 张恩瑾, 张光源, 等. 塑料大棚和日光温室黄瓜栽培(第1版)[M] 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [6] 魏 珉 日光温室蔬菜施肥效应与机理及环境调控技术[D] 南京: 南京农业大学, 2000
- [7] 唐储文 基于 PC/104 嵌入式系统大型温室多模态专家控制系统的开发与应用[D] 上海: 上海大学, 2003
- [8] Gauthier L. Deployment of a knowledge-based, object-oriented real-time climate control system in greenhouse, proceedings of IJCA I Workshop on AI in Agriculture[J]. Natural Resources and Environmental Sciences, 1993: 11 - 18
- [9] Ido Seginer, Ilya Islovich Seasonal optimization of the greenhouse environment for a simple two-stage crop growth model[J]. Agri Engineering Research, 1998, 70: 145- 155
- [10] Hurd R G, Graves C J. The influence of different temperature patterns having the same integral on the earliness and yield of tomatoes[J]. Acta Horti, 1984, 148: 547- 554

Preliminary study on hierarchical greenhouse environment control system and setting of the optimized target values

Deng L ujuan¹, Zhang Kanyu², Gong Youm in², Chen Chunhong³

(1. Department of Information and Control Engineering, Zhengzhou Institute of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

(2. School of Mechanical Electronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

3. Environment Science Research Laboratories, Shanghai Agricultural Science Academy, Shanghai 201106, China)

Abstract: In order to solve the problem of many time scales, a hierarchical greenhouse environment control system was designed. In the system from lower to higher there were three sub-systems: measuring and controlling layer, optimal process layer and supervising layer. Plant environment optimal control strategies in intelligent greenhouse were researched so as to get the best photosynthesis rate and at the same time cut down energy consumption. In the daytime the optimal goals were decided according to the maximal photosynthesis rate principle. In the nighttime on better plant growth conditions the optimal goals were decided by energy saving principle. The object function was constructed by forecasting greenhouse inside temperature in case of no energy used and by the theory of integrated temperature. The optimal target values were computed by genetic algorithm. Compared with the optimal result and recording data in real system, the method was reasonable and could achieve energy saving and the maximal photosynthesis rate in case of restrained light.

Key words: greenhouse; hierarchical control system; the theory of integrated temperature; photosynthesis rate; genetic algorithm