

Research on Temperature Model of Artificial Greenhouse Crops Cultivation Based on Expert Repository

Zhihui Li¹, Chongfeng Sun²

The College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China

1. Email: zhihui_li511@sina.com

2. Email: sunshininging@163.com

Abstract

In this paper, the establishment of the expert knowledge base on climate chamber was introduced, as well as technical indexes and the characteristics of the controlled object in control system, meanwhile, the deduced temperature model at which crops are cultivated in climate chamber based on the expert knowledge base was analyzed; then the factors affecting the temperature control have been investigated; hence the mathematical model of temperature was obtained which operated well.

Keywords: Expert Knowledge Base; Greenhouse; Temperature Model

基于专家知识农作物培养人工气候室温度模型研究

李智慧¹, 孙崇峰¹

河南工业大学信息科学与工程学院, 河南 郑州 450052

摘 要: 本文介绍了人工气候室专家知识库的建立, 控制系统技术指标及控制对象的特点, 并分析了基于专家知识农作物培养人工气候室控制系统温度模型推导的过程, 讨论了影响温度控制的因素, 最后得出温度对象数学模型, 目前在模型的基础上利用相应的控制算法, 运行效果良好。

关键词: 专家知识库; 人工气候室; 温度模型

1 人工温室专家知识库的建立

把各种要培育的作物的生长习性(不同时间段所需温度、湿度、光照度等)按照农林科研部门给定的数据, 组成一个数据库, 就是专家知识库。专家知识库中收集的是某种农作物在某地域从开始种植一直到成熟丰收所有日子的天气参数, 其中包括温度、湿度、光照度等对植物影响比较大的参数, 一天 24 小时每小时采集一次, 存于数据库中。数据库可以向当地气象部门有偿获得, 也可以向其他研究机构如 CCSODS (Crop Computer Simulation Optimization Decision Making System, 作物计算机模拟优化决策系统) 购买。包括内存信息库(含常年或历年的某种农作物生长发育、产量形成、气象因素和技术经济数据)、外部实时信息库(含当年生产各个时期收集的苗情及其环境因素、生产资料和产品价格的即时信息)。对得到的数据库进行初始化处理, 根据作物生长规律, 剔除其中恶劣天气和不正常的参数, 以天为单位, 再对其他数据根据作物不同生长时期进行不同的调整和优化。处理完后的数据即作为本作物在人工气候室中生长的重要输入依据参数。当然随着每次作物的实际生长, 这些生长参数数据也会不断的调整和改进。图 1 为部分农作物专家知识库数据。

2 人工气候室技术指标及对象分析

本文人工气候培养箱技术指标为:

1. 公称容积: 10M ³ ~50M ³	7. 湿度均匀性允差: ±5%RH
2. 温度控制范围: 0℃~50℃	8. 光照度: 0~3000(LX±1)
3. 温度波动性允差: ±1℃	9. 温保护报警: ±5℃
4. 温度均匀性允差: ±3℃	10. 工作电源: AC220±20V, 50HZ
5. 湿度控制范围: 50%RH~90%RH	11. 工作时间: 连续
6. 湿度波动性允差: ±3%RH	12. 工作环境: 室内

与大型温室相比, 由于小型气候箱箱体较小, 因而所受风力、土壤、蒸发量等生物因素影响可以忽略。它有区别于大型温室的一些特点, 第一, 由于封闭性较好, 所受外界影响相对较小; 第二, 由于面积较小, 增温和降温相对于环境的影响比较敏感, 各处受热相对比较均匀; 系统是一个多输入多输出的系统, 输入变量有室内温度、室内湿度、二氧化碳浓度、光照等, 输出变量有温度、湿度、二氧化碳浓度等, 系统各个变量之间不是相互独立的, 各个子系统的控制回路彼此耦合在一起.对系统任一变量的控制都会影响到其他状态的变化.由于问题比较复杂, 目前仅就影响作物生长的最重要的气候因子-----温室温度的控制进行研究。对某种特定的生物来说, 一天中生长所需要的温度曲线预先存入专家数据库中, 然后在系统启动后, 自动从专家数据库中获取相应要求温度设定值, 控制系统则启动相应的控制策略。要想得到理想的控制效果, 首先要得出控制对象(温度)的数学模型。下面针对温度对象的特点, 分析影响温度的因素, 从而得出温度系统的数学模型。

金针菇				
	温度 1	温度 2	温度 3	备注
菌丝体温度	22℃	23℃	24℃	
子实体分化温度	8℃	9℃	10℃	
生长过程适宜温度	5~32℃（昼夜温差大有利于生长）			
小麦				
	温度 1	温度 2	温度 3	备注
发芽温度	16℃	17℃	18℃	
根系生长温度	17℃	18℃	20℃	
茎秆生长温度	13℃	14℃	15℃	
种子饱和温度	20℃	21℃	22℃	
生长过程适宜温度	10—24℃			
灵芝				
	温度 1	温度 2	温度 3	备注
菌丝体温度	26℃	27℃		
子实体分化温度	26℃	27℃		
生长过程适宜温度	25~28℃			
玉米				
	温度 1	温度 2	温度 3	备注
发芽温度	24℃			
根系生长温度	22℃			
茎秆生长温度	20℃			
开发授粉温度	25℃	26℃	27℃	
生长过程适宜温度				
水稻				
	温度 1	温度 2	温度 3	备注
发芽温度	28℃	29℃	30℃	
穗分化温度	30℃	30℃	30℃	
开花授粉温度	30℃	30℃	30℃	
种子饱和温度	33℃	34℃	35℃	
生长过程适宜温度	28~36℃			

图 1 专家知识库

3 人工气候室温度模型推导

通过对人工气候室气候物理过程的分析可知, 根据能量平衡关系, 热平衡方程可以建立人工气候室室内温度的微分方程式。在一定的时间内, 人工气候室内热量的升降是由进入人工气候室的热量与人工气候室向外散发的热量之差决定的。其中, 供给人工气候室的热量为: 人工气候室内的加热系统、外界太阳的热辐照、补光灯的辐照热量以及植物的呼吸作用所释放的热量。为了使建模方便, 可忽略补光灯和植物呼吸部分的热量。人工气候室发散部分的热量主要有: 通过玻璃向外界空气中发散的传导热、通风时空气对流散热以及光合作用需要的热量。其中, 通风和人工气候室向外的散热是主要的。用数学表述如下:

$$Q_{a1} = Q_{a2} + Q_{a3} + Q_{a4} - Q_{a5} + Q_{a6} + Q_{a7} \quad (2-1)$$

Q_{a1} : 作为潜热而存储在人工气候室内部空气中的热量; Q_{a2} : 加热系统的输入热量; Q_{a3} : 人工气候室空气和与墙内侧之间的传导热; Q_{a4} : 人工气候室墙壁外侧和外界空气之间的传导热; Q_{a5} : 与外部空气的热交换; Q_{a6} : 人工气候室空气和土壤之间的热传导; Q_{a7} : 光照。

(1) Q_{a1} 的计算:

$$Q_{a11} = \rho CV(T_i) \quad (2-1-1)$$

$$Q_{a12} = \rho \lambda V(U_i) \quad (2-1-2)$$

$$Q_{a1} = Q_{a11} + Q_{a12} = \rho CV(T_i) + \rho \lambda V(U_i) \quad (2-1-3)$$

V 为温室内部空气的体积; ρ 为空气的密度; C 为空气的比热; λ 为人工气候室中空气的潜热; U_i 为人工气候室的湿度; T_i 为人工气候室内部的温度。

(2) Q_{a2} 的计算:

Q_{a2} 是加热系统的输入热量, 根据不同的加热装置会有不同的表达式, 一般人工气候室中主要的加热装置是管道。

$$Q_{a2} = K * A_p * (T_p - T_i) \quad (2-2)$$

K 为管道散热系数; A_p 为管道的整个表面; T_p 为管道内的水温。

(3) Q_{a3} 的计算:

$$Q_{a3} = F_c * A_c * (T_c - T_i) \quad (2-3)$$

T_c 为玻璃墙体内侧的温度; T_i 为人工气候室内部温度; F_c 为人工气候室空气向温室墙体传热时的热传导系数; A_c 为进行热传导的墙体的面积。

(4) Q_{a4} 的计算:

$$Q_{a4} = 2 * K * A_{ci} * (T_e - T_i) \quad (2-4)$$

K 是人工气候室与外界热传导时的热传导系数; A_{ci} 是人工气候室外壁的表面积; T_e 是人工气候室外部温度; T_i 是人工气候室内部温度 (因为假定人工气候室墙壁的内外温度相同)。

(5) Q_{a5} 的计算:

$$\rho_a * C_a * \phi_i * (T_i - T_e) + \rho_a * \lambda * \phi_i * (U_i - U_e) \quad (2-5)$$

ρ_a 为空气的密度; C_a 为空气的比热; ϕ_i 为从人工气候室的内部流向外部的空气流; T_i 为人工气候室内部空气的温度; T_e 为外部空气的温度; U_i 为内空部气的湿度; U_e 为外部空气的湿度。

(6) Q_{a6} 的计算:

$$Q_{a6} = f_{si} * A_{si} * (T_i - T_s) \quad (2-6)$$

f_{si} 为土壤的热传导系数; A_{si} 为人工气候室土壤面积; T_i 为人工气候室内部空气的温度

(7) Q_{a7} 的计算:

$$Q_{a7} = \delta_v * a_a * (I_{NS} * A_{c1} + I_{EW} * A_{c2} + I_v * A_b) \quad (2-7)$$

δ_v 为辐照传送系数; a_a 为地表吸收率系数; A_{c1} 和 A_{c2} 分别为相应的人工气候室东西方和南北方的接受阳光辐照的面积; A_b 为人工气候室内的表面积; I_{NS} 和 I_{EW} 为相应的, 在南北方和东西方上的太阳辐照部分; I_v 为垂直于人工气候室地表射入的阳光辐照。

(8) 将式(2-1-3), 式(2-2、3、4、5、6、7)代入式(2-1)可得:

$$\begin{aligned} Q_{a1} &= \rho CV(T_i) + \rho \lambda V(U_i) \\ &= K * A_p * (T_p - T_i) + F_c * A_c * (T_c - T_i) + 2 * K * A_{ci} * (T_e - T_i) \\ &\quad - [\rho_a * C_a * \phi_i * (T_i - T_e) + \rho_a * \lambda * \phi_i * (U_i - U_e) + f_{si} * (T_s - T_i) \\ &\quad + \delta_v * a_a * (I_{NS} * A_{c1} + I_{EW} * A_{c2} + I_v * A_b)] + f_{si} * A_{si} * (T_s - T_i) \\ &\quad + \delta_v * a_a * (I_{NS} * A_{c1} + I_{EW} * A_{c2} + I_v * A_b) \end{aligned} \quad (2-8)$$

用增量表示为:

$$\begin{aligned} \rho CV(T_i) + \rho \lambda V(U_i) = & K * A_p * (\Delta T_p - \Delta T_i) + F_c * A_c * (\Delta T_c - \Delta T_i) + 2 * K * A_{ci} * (\Delta T_e - \Delta T_i) \\ & - \rho_a * C_a * \phi_i * (\Delta T_i - \Delta T_e) + \rho_a * \lambda * \phi_i * (\Delta U_i - \Delta U_e) + f_{si} * A_{si} * (\Delta T_s - \Delta T_i) \quad (2-9) \\ & + \delta_v * a_a * (I_{NS} * A_{c1} + I_{EW} * A_{c2} + I_v * A_b) \end{aligned}$$

其中, 假设人工气候室外部的温度不变; 假设墙体的内外温度相同, 则 ΔT_c , ΔT_e 可认为是 0。考虑到室内密闭状态下, 人工气候室受到的外扰为 0, 也就是阳光辐照为 0, 则有:

$$\begin{aligned} \rho CV T_i + \rho \lambda V U_i + (K_p A_p + F_c A_c + 2K A_{ci} + f_s A_s + \rho_a C_a \phi_i) \Delta T_i + \rho_a \lambda \phi_i \Delta U_i \\ = K_p A_p \Delta T_p + F_c A_c \Delta T_c + f_s A_s \Delta T_s \end{aligned} \quad (2-10)$$

进行拉氏变换有:

$$(s\rho CV + K_p A_p + F_c A_c + 2K A_{ci} + f_s A_s + \rho_a C_a \phi_i)T_i(s) + (s\rho \lambda V + \rho_a \lambda \phi_i)U_i(s) = K_p A_p T_p(s)$$

令

$$\begin{aligned} K_1 &= \rho CV \\ K_2 &= K_p A_p + F_c A_c + 2K A_{ci} + f_s A_s + \rho_a C_a \phi_i \\ K_3 &= \rho \lambda V \\ K_4 &= \rho_a \lambda \phi_i \end{aligned}$$

上式可简写为:

$$(sK_1 + K_2)T_i(s) + (sK_3 + K_4)U_i(s) = K_p A_p T_p(s) \quad (2-11)$$

由于湿度对温室的温度的影响很小, 所以可以忽略不计。

故有:

$$\begin{aligned} (sK_1 + K_2)T_i(s) &= K_p A_p T_p(s) \\ \frac{T_i(s)}{T_p(s)} &= \frac{K_p A_p}{sK_1 + K_2} \end{aligned}$$

从中可以得出: 人工气候室理想温度模型为一阶系统。加上室温的延迟可得:

$$W_g(s) = \frac{T_i(s)}{T_p(s)} e^{-rs} = \frac{K_p A_p}{sK_1 + K_2} e^{-rs} \quad (2-12)$$

令

$$K = \frac{K_p A_p}{K_2}, T = \frac{K_1}{K_2}$$

则

$$W_g(s) = \frac{K}{T_s + 1} e^{-rs} \quad (2-13)$$

根据上式可知, 人工气候室的理想温度模型是一个一阶纯滞后系统。

4 结束语

本系统目前已经投入运行使用, 超调量等各项指标达到了预期效果, 具有结构简单, 容易实现的特点。目前还增加了在局域网范围内远程监控的功能。在小温室环境的温度控制系统方面取得了良好的控制效果。

REFERENCES

- [1] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用, 机械工业出版社(第二版), [M] 2002.
- [2] 谢新民, 丁峰. 自适应控制系统, 清华大学出版社, [M] 2002: 141-158.
- [3] 多尔夫. 现代控制系统[M], 高等教育出版社, 2004.
- [4] 蒋静坪. 实时控制系统, 浙江大学出版社, [M] 1991: 125-136.
- [5] 阮炯. 差分方程与微分方程[M], 复旦大学出版社, 2002.

- [6] 雷勇. 单参数 PID 模糊控制器的设计, 电子技术应用, [J] 1992(4):6-10.
- [7] 沈炯, 陈来九. 多变量 PID 控制器的在线自整定, 控制理论与应用, [J] 1995, 12 (4):509-513.
- [8] 雷聚超, 张蔚宁. 自校正 PID 在炉温控制中的应用, 西安工业学院学报[J] 1995 15(1):45.

【作者简介】

李智慧（1975- ），女，籍贯：河南省新乡市。学历：硕士。
现任教于河南工业大学。主要研究方向：智能检测与智能控制。
E-mail: zhihui_li511@sina.com

孙崇峰（1962- ），男，籍贯河南省郑州市。学历：博士。
现任教于河南工业大学。
E-mail: sunshining@163.com