

农业智能物联网控制模拟两种白灵菇工厂化生产的比较分析

张晨¹, 朱琳², 谭笑³, 张永锋³, 张维东³, 杨大海³, 温嘉伟^{3*}

(1. 吉林省农业机械研究院, 长春 130022; 2. 吉林省生物研究所, 长春 130012; 3. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 温度和CO₂浓度是影响白灵菇工厂化生产中的重要环境控制因子, 为了提高白灵菇工厂化生产效率, 有效进行出菇阶段的环境控制, 建立和利用农业智能物联网, 在确定白灵菇生长环境模型的基础上, 建立PID和Fuzzy控制模型进行模拟。模拟结果表明, 两种控制方法均达到规定控制效果和要求, Fuzzy控制效果优于PID模型; 两种不同模式下的控制系统的温度控制在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平上均有显著差异, CO₂发生量的控制在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平上均无显著差异。

关键词: 白灵菇; 工厂化生产; 环境控制; 模型

中图分类号: S646

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)05-0094-03

Comparative Analysis of Agricultural Intelligent Internet Simulation Models for Two Kinds of *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* C.J.Mou

ZHANG Chen¹, ZHU Lin², TAN Xiao³, ZHANG Yongfeng³, ZHANG Weidong³, YANG Dahai³, WEN Jiawei^{3*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Machinery, Changchun 130022; 2. Jilin Province Institute of Biology, Changchun 130012; 3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Temperature and CO₂ concentration are important environmental control factors affecting the industrialized production of *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* C.J.Mou. In order to improve the productivity of *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* C.J.Mou and effectively control the environment during the mushroom production stage, PID and Fuzzy control models were established to simulate the growth environment of *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* C.J.Mou. The simulation results showed that the two control methods both meet the prescribed control effect and requirements, and the Fuzzy control effect was better than the PID model. There was significant difference in temperature control between the two control systems under the two different modes at $P=0.05$ and $P=0.01$ levels, and there was no significant difference in the control of CO₂ generation at $P=0.05$ and $P=0.01$ levels.

Key words: *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis* C.J.Mou; Factory production; Environmental control; Model

白灵菇是我国具有自主知识产权的大型珍稀食用真菌, 其栽培条件苛刻、应季栽培的生物转化效率远低于其他侧耳属食用菌, 而工厂化生产则是解决这一问题的有效途径之一^[1-2]。目前, 白灵菇在工厂化生产中, 特别是反季节栽培过程中的环境控制设施耗能较大、增加了生产成本。温度、湿度和CO₂浓度是白灵菇生产过程中对产量和质量的三大重要影响因子^[3-5], 在不同生育期的参数值已有可靠的理论数据作为依据, 关键问题在于如何在一定的条件下进行有效控制。

本研究对白灵菇生产过程中的影响因子参数建立生长模型^[6-8], 利用农业智能物联网^[9], 采用PID和Fuzzy两种控制模型进行控制模拟分析, 比较耗能量, 确保白灵菇产量、品质及菇型达到NY/T 1836-2010中的A类标准, 可用于出口等。

1 白灵菇工厂化栽培环境

2017年7月15日~8月15日, 在吉林省农业科学院白灵菇工厂化生产车间进行本次试验, 外界气温20~35℃, 出菇间面积300 m², 建立农业智能物联网系统数据采集, 使用新风系统、喷淋设备和液态压缩钢瓶组成空气预处理系统, 对输送到出菇间的温度和CO₂浓度进行实时监控。供试品种为吉林省农业科学院微生物平台菌种资源库的白灵菇品种JNKBL130DA和JNKBL130DB。

收稿日期: 2019-01-31

基金项目: 吉林省科技厅重点成果转化项目(20170307010NY)

作者简介: 张晨(1983-), 男, 助理研究员, 主要从事农业数字化、工厂化控制的研究。

通讯作者: 温嘉伟, 男, 博士, 副研究员, E-mail: wjw913@sina.com

出菇管理过程分为:后熟、上架开口、搔菌、舒蕾、原基形成和分化、子实体形成等阶段。其中原基形成和分化阶段非常重要,两个阶段对环境条件的要求有很大差异(表1),对环境控制系统的精确度和灵敏度有较高要求,笔者分别在PID和Fuzzy两个系统的条件下进行了测试。

表1 白灵菇原基形成和原基分化期的栽培环境参数

	原基形成阶段	原基分化期
CO ₂ 浓度(ppm)	2 000 ~ 2 500	350 ~ 1 000
温度(°C)	13 ~ 15	15 ~ 18
相对湿度(%)	85 ~ 95	80 ~ 85
光照强度(Lux)	0 ~ 500	1 000 ~ 2 000

2 白灵菇工厂化生产环境控制模拟模型

2.1 模拟概要及条件

模拟是建立在白灵菇生长环境模型和环境控制模型的基础上实现农业智能物联网对白灵菇生长环境优化控制的有效方法和手段。物联网架构中,使用环境模型和环境控制模型可以精确计算出生产白灵菇过程中的环境变化,从而确定最佳环境控制参数。

本研究对白灵菇生长过程中最重要的两个时期(原基形成和原基分化)的环境控制进行模拟。智能物联网使用的控制执行元件为:新风系统、加湿器、电磁阀等。控制器采用的控制算法为PID(比例积分微分)控制和Fuzzy(模糊)控制。

2.2 生产环境控制模型

在两种不同模型下,300 m²出菇间,使用新风系统、加湿装置和空气压缩机对进入出菇房的空气进行预处理,各环境因子计算公式如下:

$$\text{CO}_2 \text{ 浓度: } VdK/dt = M_k + U(K_0 - K_i)$$

$$\text{温度: } C_p \rho V dT/dt = Kw(T_0 - T_i)A_w + Q_k + GC_p(T_0 - T_i) - Q_c$$

$$\text{湿度: } \rho V dH/dt = W_p \eta + W_k + G(H_0 - H_i) - W_c$$

$$\text{光照强度: } E = d\Phi/dS$$

式中:V:出菇间容积(m³);U:换气时空气流量(m³/h);ρ:空气密度(kg/m³);A_w:墙壁面积(m²);Q_k:菇体总发热量(kJ/h);W_p:雾化水量(kg/h);W_k:总用水量(kg/h);K₀:室外CO₂浓度(ppm);T₀:室外温度(°C);H₀:室外相对湿度(kg/kg);M_k:CO₂的总发生量(m³/h);C_p:空气比热(KJ/kg·°C);K_w:热贯流量(KJ/m²·h·°C);G:空气质量流量(kg/h);Q_c:冷却容量(kJ/h);η:加湿效率;W_c:换气扇的除湿量(kg/h);K_i:室内CO₂浓度(ppm);T_i:室内温度(°C);

H_i:室内相对湿度(kg/kg)。E:平均光照强度(lux/m²);dΦ:光源总通量(lux);dS:光照面积(m²)。模型主要参数值见表2。

表2 模型主要参数

序号	参数	值
1	出菇间容积(m ³)	60.7
2	热贯流量(kJ/m ² ·h·°C)	0.093
3	加湿效率	0.9
4	换气系数	0.9
5	制冷效率	0.35

在两种模型下,白灵菇生长过程中所释放的CO₂浓度及释放过程中所产生的热量均是对其生长过程中非常重要的参数,智能物联网的数据采集设备均为敏感度为0~10 000 ppm的探头检测装置,检测控制器采集的白灵菇生长过程中CO₂的发生量,通过换气后的CO₂浓度比计算。

$$M_k = \sum (n \times M_{k1} + n \times M_{k2} + \dots + n \times M_{kd})$$

式中n:每天栽培袋数量;M_{k1}...M_{kd}:各生长阶段CO₂总排出量及白灵菇的呼吸反应式,可计算出产生的总热量。

2.3 环境控制模型

控制器采用PID和Fuzzy算法。PID控制方法适用于具有精确数学模型的控制系統,控制流程为:输入外界环境参数等初始值-确定控制时间-通过传感器实时采集环境参数数据-通过模型计算控制量-执行时间结束,系统停止运行。

3 模拟结果与分析

3.1 温度的控制结果

厂房内的温度由墙壁的热传导、外界温度和新风系统的换气三方面作用因素形成。模拟结果表明,两种不同的模拟监控系统下温度的变化量都随着白灵菇现蕾(10~12°C)、原基形成(12~14°C)及子实体生长(10~14°C)的不同要求进行改变,二者的温度变化曲线趋势相近,其中PID模式下的温度峰值在监测第9天,原基形成期达到

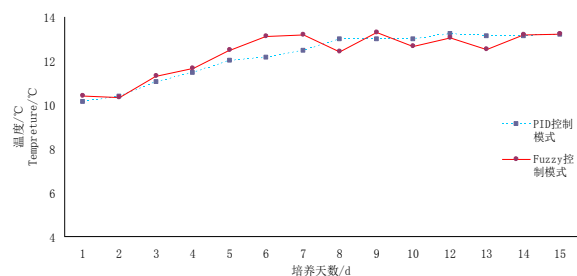


图1 PID和Fuzzy两种模式下的热量比较分析

峰值 13.2℃,而 Fuzzy 模式下的峰值在监测第 7 天,原基形成期达到峰值 13.4℃(图 1)。回归方程及相关系数见表 3。对两种监测体系模式下热量系数进行差异显著比较,其中当 V=2, P=2 时,LSR_{0.05}=0.1024, LSR_{0.01}=0.0513,两者在 P=0.05 和 P=0.01 水平上均差异显著(表 4)。

表 3 PID 和 Fuzzy 两种模式下的热量比回归曲线

PID	$y = -0.0261x^2 + 0.6316x + 9.3911$	$r^2 = 0.9906$
Fuzzy	$y = -0.0002x^5 + 0.0103x^4 - 0.1542x^3 + 0.9531x^2 - 1.8218x + 11.381$	$r^2 = 0.9314$

表 4 PID 和 Fuzzy 两种模式下的热量差异显著分析

处理	平均温度变化监测系数(°C/d)	差异显著性	
		0.05	0.01
PID	0.91	a	A
Fuzzy	1.13	b	b

3.2 CO₂发生量的控制结果

厂房内 CO₂发生量在两种模拟监控体系下主要由新风系统调控,结果表明,两种不同模拟监控系统下 CO₂发生量都随着白灵菇现蕾、原基形成及子实体生长的不同阶段不断发生改变,二者的 CO₂发生量变化曲线趋势相近,均出现 5 个峰值期,其中在第 14 天两种模式体系监测的峰值均达到最高, PID 模式下 CO₂发生量达到峰值为 642.37 ppm, Fuzzy 模式下峰值在 668.21 ppm(图 2)。回归方程及相关系数见表 5。对两种监测体系模式下 CO₂发生量进行差异显著比较,当 V=2, P=2 时,LSR_{0.05}=1.84152, LSR_{0.01}=1.78362,两者在 P=0.05 和 P=0.01 水平上均无差异显著(表 6)。

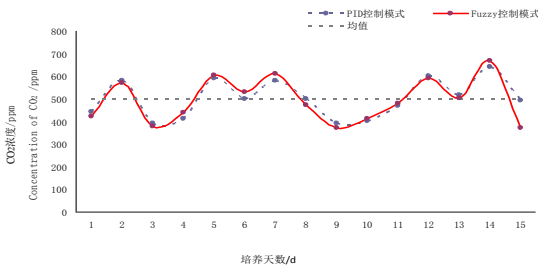


图 2 PID 和 Fuzzy 两种模式下的 CO₂发生量比较分析

表 5 PID 和 Fuzzy 两种模式下的 CO₂发生量回归曲线

PID	$y = -0.0467x^5 + 1.7993x^4 - 24.748x^3 + 145.66x^2 - 341.31x$	$r^2 = 0.89410$
Fuzzy	$y = -0.0002x^5 + 0.0103x^4 - 0.1542x^3 + 0.9531x^2 - 1.8218x + 11.381$	$r^2 = 0.90173$

表 6 PID 和 Fuzzy 两种模式下的 CO₂发生量差异显著分析

处理	CO ₂ 发生量监测系数 (ppm/d)	差异显著性	
		0.05	0.01
PID	1.67	a	A
Fuzzy	1.81	a	A

4 结论与讨论

通过对 PID 和 Fuzzy 两种模式下温度和 CO₂发生量的控制效果比对分析,两种模式下监控温度变化数据存在显著差异,对 CO₂发生量的监控数据则无显著差异,在设备条件相同的条件下,出现该种情况说明温度控制系统的控制元素多,执行系统命令的过程中会出现更多的不确定因素,同时由于试验期间外界的温度较高,造成控温系统的高负荷运行也是两种系统在数据分析后温度存在显著差异的原因之一,另外两种系统对传感器采集到的信息不同的数据处理方式也是在数据分析后温度存在显著差异的另一主要原因。

两种模式下采集到的数据 Fuzzy 的控制效果更加接近白灵菇不同阶段所需的最佳条件,模拟结果可作为白灵菇工厂化生产的重要理论依据,对规模较大、空间分布差较大的工厂,数据可进一步优化,实现最佳的环境控制方案。

参考文献:

- [1] 常明昌,孟俊龙,程红艳,等.我国食用菌工厂化栽培的初步研究与探索[J].山西农业大学学报(自然科学版),2010,30(4):289-295.
- [2] 宋卫东,王明友,肖宏儒,等.我国食用菌工厂化生产技术[J].中国农机化,2011(6):80-82.
- [3] 赵春巧,谢放,吴泽民.环境因素对食用菌有性发育影响的研究进展[J].中国农学通报,2014,30(13):87-92.
- [4] 王建,何金成,杨祥龙,等.食用菌温室栽培的环境影响因素及控制系统[J].农机化研究,2006,28(5):91-95.
- [5] 于海龙,郭倩,杨娟,等.环境因子对食用菌生长发育影响的研究进展[J].上海农业学报,2009,25(3):100-104.
- [6] Jae Hoon Shin, Weon Sik Hahn, Young Man Lee. Development of the environmental control network system in greenhouse[J]. Agricultural Information Technology in Asia and Oceania, 1998(4): 83-85.
- [7] 陈国昌.食用菌智能温室栽培系统的设计与应用[J].中国食用菌,2004,23(3):35-36.
- [8] 高学敏,胡永光,堀部和雄.金针菇工厂化生产环境控制模拟模型[J].中国食用菌,2003,23(2):22-24.
- [9] Al Karaki J N, Kamal A E. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. IEEE Personal Communications. 2004, 11(6): 6-28.