

白雪萍,朱学军. 杏鲍菇子实体生长期光调控模型研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):194-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.058

杏鲍菇子实体生长期光调控模型研究

白雪萍,朱学军

(宁夏大学机械工程学院,宁夏银川 750021)

摘要:在杏鲍菇子实体生长发育时期开展了不同光条件下的光调控试验,旨在探寻子实体期的不同光条件与子实体形态、单菇质量之间的函数关系。通过相关性分析,发现子实体形态指标中对单菇质量起决定性作用的是菌盖直径和菌柄长度;此外,选择了合适的建模方法建立了杏鲍菇产量模型,并通过对产量模型的分析提出了一种适宜于宁夏南部山区栽培环境的光照强度调控策略。

关键词:杏鲍菇子实体;产量模型;光调控试验;控制策略

中图分类号: S646.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0194-04

杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)是一种大型的肉质伞菌,口感独特,含有丰富的植物蛋白、氨基酸、多糖等成分,是一种集食用、药用和食疗于一体的珍稀食用菌品种^[1]。光照是食用菌生长发育过程中一个关键的因素,可以影响子实体的形态和品质,不同的光照强度和光周期都会对食用菌的生长发育产生一定的影响作用。在实际生产中,光的调控基本依赖人工经验,严重制约了杏鲍菇的周年化、工厂化栽培^[2]。以地方气候差异为背景,针对宁夏彭阳食用菌标准化示范基地栽培环境中光照对子实体的作用机理及生长规律的研究,最终形成光调控模型及调控策略就显得十分必要,对提高珍稀食用菌的品质和产量具有重要的意义,同时也为工厂化周年栽培食用菌提供了技术支撑。

1 光调控试验实施

1.1 光调控试验实现方法

目前,应用较广泛的光调控研究方法有直接观测法、试验指标测定法及生物提取分析法。直接观测法指的是在不同光条件处理下,观测食用菌的菌丝密度、原基面积及数量、子实体颜色等。试验指标测定法即在光处理下测得各指标(菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径及厚度、单菇质量)数据。生物提取分析法是在不同的光条件处理下生物量、胞内外多酚含量、胞内外提取物抗氧化性及生物酶活性的分析^[3-4]。

1.2 杏鲍菇子实体光调控试验实施

1.2.1 试验材料及培养料组成 试验中所用的杏鲍菇子实体菌种是由宁夏彭阳食用菌标准化栽培示范基地提供,供试杏鲍菇栽培处理基配方:木屑 35%、玉米芯 35%、麸皮 15%、玉米粉 5%、米糠 10%,处理料含水量 65%;主要环境因子:

温度为 14 ~ 16 ℃、相对湿度为 75% ~ 90%、CO₂ 浓度为 1 500 ~ 2 500 ppm,各环境因子的检测是通过环境因子无线远程监测系统实现。

1.2.2 不同光照度处理下子实体的培养试验 在菇棚中放置 5 个试验箱,其中 4 个试验箱分别设置 3、5、7、15 的 LED 灯,光照度分别为 80、150、200、300 lx,黑暗组做对照组。光周期设置为 8 h/d,定期测定子实体形态(菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径)、单菇质量数据,分析得到光照度对子实体生长发育的影响。

1.2.3 不同光周期处理下子实体的培养试验 在菇棚中放置 5 个试验箱,分别设置光周期为 8 h(开 1 h 关 2 h)、12 h(开 1 h 关 1 h)、16 h(开 2 h 关 1 h)、24 h(一直开),黑暗做对照组。光照度设置为 150 lx,定期测定子实体形态(菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径)、单菇质量数据,分析得到光周期对子实体生长发育的影响。

2 试验数据处理分析

本试验基于 Matlab 数据处理软件强大的数据分析及绘图功能,结合试验测得的子实体形态(菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径)、单菇质量数据,绘制不同光照度下子实体生长曲线及子实体生长过程中的残差法奇异数据分析,对比分析光照度对子实体各形态参数、单菇质量间的作用关系^[5]。

2.1 不同光照度下子实体形态的奇异数据分析

光照度为 500 lx 时,对测得的形态、单菇质量数据进行奇异数据分析如图 1 至图 4。同理可得其他各光照度下的各参数奇异数据分析。结果表明,人工测量采集的菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、单菇质量数据均在置信区间以内,无奇异数据,可靠性较高,可以用于各形态参数的生长分析。

2.2 不同光照度与子实体形态数据曲线拟合分析

采用 LED 光质,设置 4 种不同光照度处理等数量的子实体,运用 Matlab 数据处理软件对不同光照度和子实体形态(菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径)、单菇质量数据进行曲线拟合^[6]分析(图 5、图 6)。同理可在不同光周期下进行奇异数据及曲线拟合分析,结果表明人工测量采集的菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、子实体重量数据均在置信区间以内,无奇异

收稿日期:2015-09-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:61263007);国家科技支撑计划课题(编号:2013BAD16B04)。

作者简介:白雪萍(1989—),女,宁夏盐池人,硕士研究生,研究方向为机电系统智能控制。E-mail: xue_pingbai@163.com。

通信作者:朱学军,教授,硕士生导师,研究方向为机电系统智能控制。E-mail: zhuxuejunnxu@sina.com。

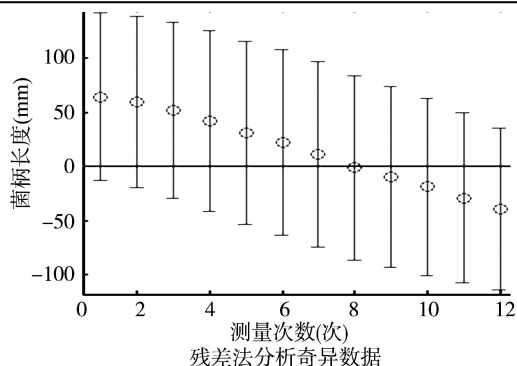


图1 500 lx 菌柄长度奇异数据分析

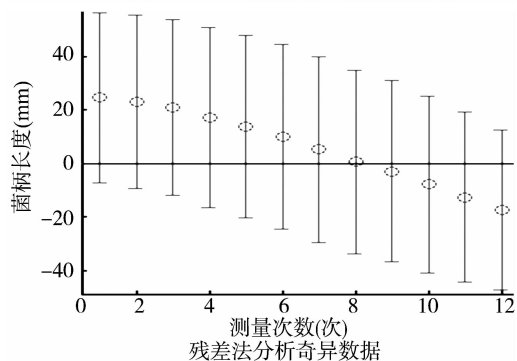


图2 500 lx 菌柄直径奇异数据分析

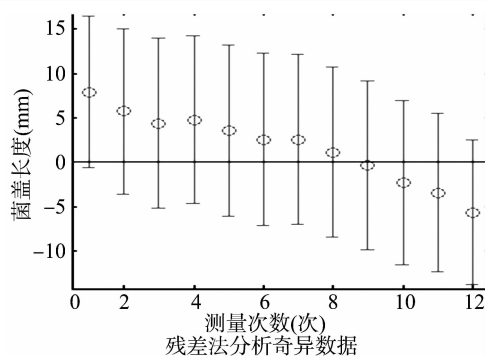


图3 500 lx 菌盖直径奇异数据分析

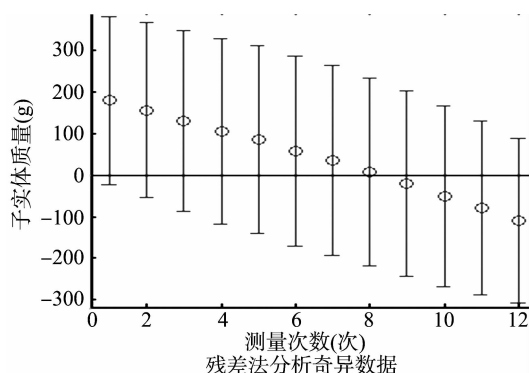


图4 500 lx 子实体质量奇异数据分析

数据,可靠性较高,可以用于各形态参数的生长分析,并且子实体生长过程中光周期对各形态及单菇质量均具有显著的影响。

3 光调控模型的建立

3.1 子实体各形态指标与单菇质量的相关性分析

各形态指标与单菇质量的相关系数在 0.869 ~ 0.914 之

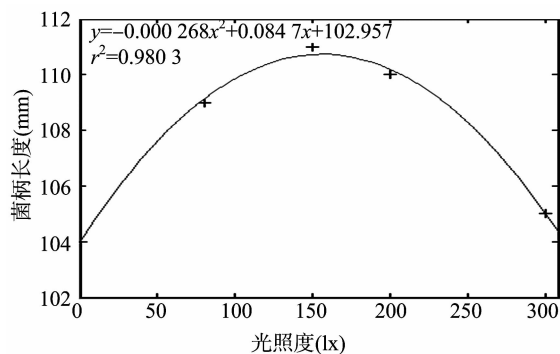


图5 光照强度与菌柄长度间关系的拟合曲线

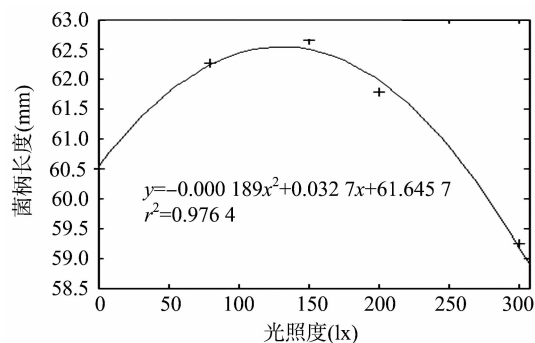


图6 光照强度与菌柄直径间关系的拟合曲线

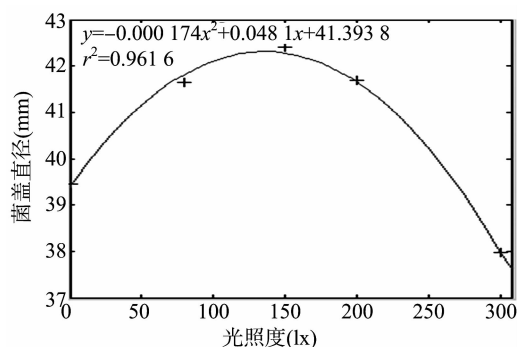


图7 光照强度与菌柄长度间关系的拟合曲线

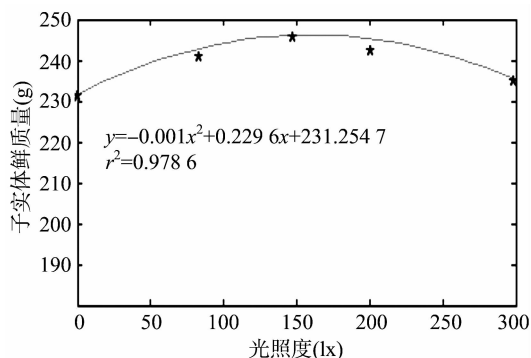


图8 光照强度与单菇质量间关系的拟合曲线

间,各形态指标之间相关性都达到了极显著水平(表 1)。单菇质量(Y)与几个形态指标相关程度依次为菌盖直径(X_1) > 菌柄长度(X_3) > 菌柄直径(X_2)。

3.2 子实体产量模型的构建

上述分析表明光照度、光周期对杏鲍菇的形态及单菇质量均有显著影响,并且通过相关性分析发现单菇质量与菌盖直径和菌柄长度的关系最为密切。考虑到光照度及光周期

表 1 杏鲍菇主要形态指标相关系数

形态 指标	单菇质量 Y	菌盖直径 X ₁	菌柄直径 X ₂	菌柄长度 X ₃
单菇质量 Y	1.000	0.914	0.869	0.903
菌盖直径 X ₁	0.914	1.000	0.956	0.816
菌柄直径 X ₂	0.869	0.956	1.000	0.879
菌柄长度 X ₃	0.903	0.816	0.879	1.000

对于实体形态和产量的影响,可以运用多元线性回归方程来建立杏鲍菇在不同光照度和光周期下的产量模型 $P(Q, H)^{[7-11]}$ 。

杏鲍菇的产量矩阵表示为:

$$P(Q, H) = \begin{bmatrix} D \\ L \\ M \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} H \\ H^2 \\ QH \\ Q \\ Q^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_0 \\ l_0 \\ m_0 \end{bmatrix}。$$

式中: D 为子实体菌盖的直径; L 为子实体菌柄长度; M 为子

表 2 菌盖直径和菌柄长度与光照度、光周期的关系

序号	处理方式	菌盖直径(mm)			菌柄长度(mm)		
		实测值	拟合值	拟合误差	实测值	拟合值	拟合误差
1	80 lx, 8 h	46.08	48.18	+2.10	104.3	105.4	+1.1
2	80 lx, 12 h	54.62	53.95	-0.67	109.5	107.9	-1.6
3	80 lx, 16 h	51.72	54.43	+2.71	96.4	98.6	+2.2
4	80 lx, 24 h	50.20	46.98	-3.22	101.8	103.5	+2.3
5	150 lx, 8 h	48.14	46.35	-1.79	104.6	106.2	+1.6
6	150 lx, 12 h	62.76	65.32	+4.56	107.4	110.2	+2.8
7	150 lx, 16 h	62.92	65.12	+2.20	97.3	94.4	-2.7
8	150 lx, 24 h	59.26	57.63	-1.63	94.5	96.4	+1.9
9	200 lx, 8 h	48.72	53.64	+4.92	105.2	108.7	+4.5
10	200 lx, 12 h	54.78	60.74	+5.96	103.1	103.9	-2.2
11	200 lx, 16 h	56.48	51.98	-4.50	112.7	113.9	+1.2
12	200 lx, 24 h	53.96	59.76	+5.80	108.9	107.8	-1.1
13	300 lx, 8 h	54.69	50.12	-4.57	104.4	107.2	+2.8
14	300 lx, 12 h	61.66	67.89	+5.23	111.3	114.1	+3.2
15	300 lx, 16 h	60.76	63.58	+2.82	108.5	107.9	-0.6
16	300 lx, 24 h	56.92	69.34	+4.42	107.7	110.3	+2.6

3.2.2 子实体质量和光照度、光周期的关系 根据试验中不同的光照度、光周期下所获得的子实体质量数据,利用 Matlab 软件进行回归分析(表 3)。通过对表 3 中的数据进行拟合,可以得到:子实体质量完全二次型方程:

$$M = -1\,503.98 + 29.66H + 31.44Q - 2.95H^2 - 0.183Q^2 + 0.71HQ。$$

表 3 子实体质量与光照度、光周期关系

序号	处理方式	子实体质量(g)			序号	处理方式	子实体质量(g)		
		实测值	拟合值	拟合误差			实测值	拟合值	拟合误差
1	80 lx, 8 h	232.12	230.18	-1.94	9	200 lx, 8 h	233.78	231.97	-1.81
2	80 lx, 12 h	243.44	246.75	+3.31	10	200 lx, 12 h	231.56	232.48	+0.92
3	80 lx, 16 h	243.20	247.86	+4.66	11	200 lx, 16 h	228.43	230.57	+2.14
4	80 lx, 24 h	237.22	234.68	-2.54	12	200 lx, 24 h	225.32	224.25	-1.07
5	150 lx, 8 h	235.89	240.47	+4.58	13	300 lx, 8 h	232.14	229.11	-3.03
6	150 lx, 12 h	247.66	246.14	-1.52	14	300 lx, 12 h	227.95	228.06	+0.11
7	150 lx, 16 h	236.43	231.25	-5.18	15	300 lx, 16 h	227.18	229.43	+2.25
8	150 lx, 24 h	241.42	241.14	-0.28	16	300 lx, 24 h	224.65	222.87	-1.78

实体成熟后的单菇质量; Q 为光照度; H 为光周期。

A 为一个 3 行 5 列的系数矩阵, d_0 、 l_0 、 m_0 为常数值,分别对矩阵的每一行列式进行回归分析。

3.2.1 菌盖直径和菌柄长度与光照度、光周期的关系 根据试验中不同的光照度、光周期下所获得的菌盖直径、菌柄长度数据,利用 Matlab 软件进行回归分析,并数据进行拟合(表 2),可以得到:

子实体菌盖直径完全二次型方程:

$$D = -6.02 - 0.24Q - 0.18H^2 - 0.01Q^2 + 0.072QH。$$

方程的显著水平 $P = 0.0042 < 0.05$,达到了显著性水平。

经过计算,该方程的最优解为:

$$H = 11.70(\text{h}), Q = 146.38(\text{lx}), D = 55.78(\text{mm})。$$

子实体菌柄长度完全二次型方程:

$$L = -126.38 + 7.61H + 1.41Q - 0.12H^2 - 0.004Q^2 + 0.02HQ。$$

方程的显著水平 $P = 0.0027 < 0.05$,达到了显著性水平。

经过计算,该方程的最优解为:

$$H = 12.48(\text{h}), Q = 168.20(\text{lx}), L = 115.82(\text{mm})。$$

$$P(Q, H) = \begin{bmatrix} D \\ L \\ M \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -0.18 & 0.072 & -0.24 & -0.01 \\ 7.61 & -0.12 & 0.02 & 1.41 & -0.004 \\ 29.66 & -2.95 & 0.71 & 31.44 & -0.183 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ H^2 \\ QH \\ Q \\ Q^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -6.02 \\ -126.38 \\ -1503.98 \end{bmatrix}.$$

综合上述 3 个最优解,子实体生长发育过程中光照度主要集中在 150 lx 左右,而光周期控制在 12 h(开 1 h 关 1 h)。

4 光照度控制器的设计及仿真

通过对栽培环境内子实体的形态和单菇质量随着光照度、光周期的变化而变化趋势分析以及对建立的杏鲍菇子实

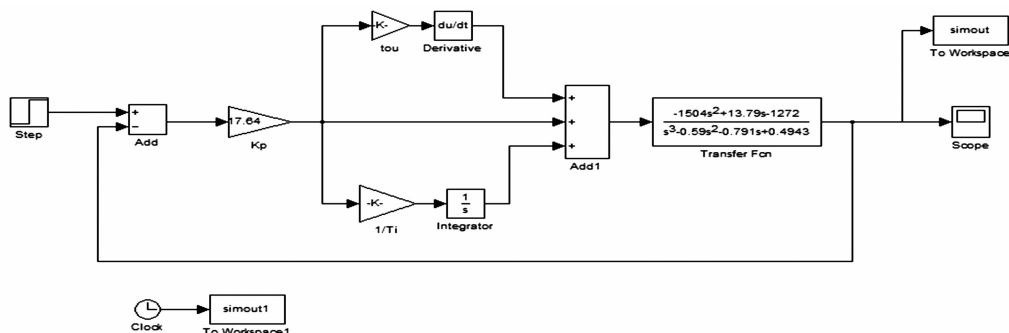


图9 PID控制模型结构

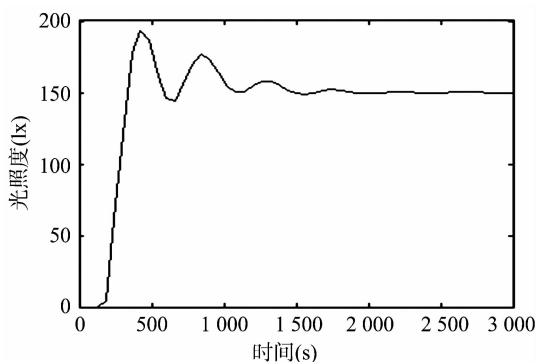


图10 PID控制系统的系统响应曲线

5 结论

在杏鲍菇子实体生长发育过程中,本研究对不同光照度和光周期下子实体的菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、子实体单菇质量等数据进行了残差法奇异数据、曲线拟合的分析,并进行了子实体各形态指与单菇质量的相关性分析、光照度PID控制器进行仿真分析。在此基础上,构建了子实体光调控产量模型,提出了适宜于宁夏彭阳食用菌标准化生产示范基地的光调控策略。研究结果表明,光照度和光周期对杏鲍菇子实体的生长发育均具有重要的影响,设计的光照度控制器响应快、稳定性较高,建立的光调控产量模型对实际生产具有预测及指导意义。因此,该研究将为杏鲍菇工厂化生产提供理论指导及技术支撑,对食用菌经济效益的发展具有促进作用。

体产量模型分析,运用 Matlab 软件中模型转换函数可得到光调控模型:

$$G(s) = \frac{-1504s^2 + 13.79s - 1272}{s^3 - 0.59s^2 - 0.791s + 0.4943}.$$

PID 控制器输入输出之间的关系表达式为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right].$$

式中: e 为光照度的偏差, ec 为光照度的偏差变化, $u(t)$ 为 LED 灯控制电压(V), K_p 为比例系数, T_i 为积分时间(s), T_d 为微分时间^[12]。

根据 Ziegler - Nichols 法整定控制器的参数,可得 PID 控制整定时,比例放大系数 $K_p = 17.64$,积分时间 $T_i = 1.405$ s,微分时间 $T_d = 0.35124$ s。本研究在 Matlab 环境下,利用 Simulink 工具箱搭建系统仿真模型(图 9),运行搭建好的模型结构图,可得 PID 控制曲线(图 10)。

参考文献:

- [1] 唐磊,杨辉,蒋慧莲. 杏鲍菇产业发展现状与宁夏杏鲍菇竞争态势分析[J]. 食用菌,2013,21(4):148-150.
- [2] 姜性坚,王春晖,胡汝晓,等. 杏鲍菇工厂化生产关键技术的研究[J]. 中国食用菌,2011,30(1):23-25,41.
- [3] 张金霞. 食用菌产业发展需要科学研究的强力支撑[J]. 菌物学报,2014,33(2):175-182.
- [4] 余海尤,陈佳佳,田雪梅,等. 光照和 pH 值对忍冬纤孔菌液体培养的影响[J]. 菌物学报,2014,33(2):469-476.
- [5] Heuvelink E. Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis[D]. Holland: Wageningen Agricultural University, 1996.
- [6] 王涛,李乐,林良斌,等. 山东丹参细胞悬浮培养体系及生长模型的建立[J]. 四川农业大学学报,2015,33(1):33-38.
- [7] 胡瑾,何东健,任静,等. 基于遗传算法的番茄幼苗光合作用优化调控模型[J]. 农业工程学报,2014,30(17):220-227.
- [8] 许志鸣,顾新伟,魏海龙,等. 不同氮源对杏鲍菇菌丝体生长及子实体产量的影响[J]. 浙江农业科学,2004(4):196-197.
- [9] Yamanaka K. Cultivation of new mushroom species in East Asia[J]. Acta Edulis Fungi, 2005, 12(Suppl):343-349.
- [10] 吴锴,张静,郝称意. 温室番茄群体光合作用模拟模型的研究[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2013,33(3):225-229.
- [11] 宋海声,赵学深,刘和平. LI - BRF 算法在光合速率预测模型研究中的应用[J]. 计算机测量与控制,2013,21(10):2641-2644.
- [12] 薄永军. 温室温度控制系统神经网络 PID 控制算法研究[J]. 安徽农业科学,2014,42(13):4102-4104.