

饲养条件对黄粉虫幼虫生长及存活的影响

肖银波^{1,2}, 周祖基¹, 杨 伟¹, 杜开书¹

(1. 四川农业大学林学院园艺学院, 四川雅安 625014; 2. 四川省林业科学院, 四川成都 610081)

摘要:采用 5 因素 2 次正交旋转组合设计, 以黄粉虫幼虫饲养过程中饲养温度(X_1)、相对湿度(X_2)、虫粪筛除频率(X_3)、饲养密度(X_4)以及饲料含水量(X_5)5 因素为参试因素, 考查它们对黄粉虫高龄幼虫的生长及存活的影响, 建立并进行了简化得到了以黄粉虫幼虫增重率及死亡率为目标函数的回归模型: $Y_{\text{增}} = 127.5079 + 18.6559x_5 + 2.7894x_3x_4 - 2.3854x_3x_5 - 3.0594x_1^2 + 1.8241x_3^2 - 3.8559x_5^2$; $Y_{\text{死}} = 1.7459 + 0.4108x_1 + 0.0975x_2 + 0.9025x_4 + 0.3442x_5 + 0.0834x_1^2 + 0.3060x_4^2 - 0.2623x_5^2$ 。分析结果表明: 影响黄粉虫幼虫生长后期增重及死亡的主要因素分别为饲料含水量和饲养密度; 饲料含水量和温度对黄粉虫增重有着重要的影响, 饲养密度、温度、饲料含水量对黄粉虫的死亡有着重要的影响, 其影响均达 1% 或 5% 显著水平; 推荐的饲养条件为: 温度 24~27℃、相对湿度 64%~70%、筛粪频率 2~4d/次、饲养密度 0.42~0.49g/cm²、饲料含水量 13.48%~17.48%。

关键词:黄粉虫; 饲养条件; 二次正交旋转组合设计

The Effects of different ecological factors on rearing efficiency of *Tenebrio molitor* L.

XIAO Yin-Bo^{1,2}, ZHOU Zu-Ji¹, YANG Wei¹, DU Kai-Shu¹ (1. Forestry and Horticulture Faculty, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan, 625014, China; 2. Forest Research Institute of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 673~680.

Abstract: This paper studied about the effects of five ecological factors; rearing temperature(x_1), relative air moisture(x_2), rate of feces sifting(x_3), density of larvae(x_4) and fodder water percentage(x_5) on growth speed and survival rate of older mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae through rotational composite design of quadratic regression. Two models were established to describe the effects of the five factors: $Y_g = 127.5079 + 18.6559x_5 + 2.7894x_3x_4 - 2.3854x_3x_5 - 3.0594x_1^2 + 1.8241x_3^2 - 3.8559x_5^2$; $Y_d = 1.7459 + 0.4108x_1 + 0.0975x_2 + 0.9025x_4 + 0.3442x_5 + 0.0834x_1^2 + 0.3060x_4^2 - 0.2623x_5^2$. The models showed that percentage of fodder water is the major factor affecting the growing speed of *T. molitor* larvae, and rearing temperature and density of larvae and fodder water are the major factors on death rate. The models also show that temperature and fodder have important effects on growth speed and death rate, and significance tests showed they have significant difference both the 0.05 and 0.01 levels. The optimal rearing conditions are temperature of 24~27℃, relative air moisture of 64%~70%, feces sifting rate of once in 2~4 days, density of larvae of 0.42~0.49 g/cm² and fodder moisture of 13.48%~17.48%.

Key words: *Tenebrio molitor* L.; ecological factors; rotational composite design of quadratic regression

基金项目:四川省林业厅重点科技资助项目(98-119)

收稿日期:2002-01-02; **修订日期:**2002-12-28

作者简介:肖银波(1974~), 男, 四川内江人, 主要从事森林保护研究。

Foundation item: The momentous project of science and technology research staked by Forest Office of Sichuan Province

Received date: 2002-01-02 **Accepted date:** 2002-12-28

Biography: XIAO Yin-Bo, Mainly engaged in the field of forest protection research.

文章编号:1000-0933(2003)04-0673-08 中图分类号:S763.306.4 文献标识码:A

黄粉虫(*Tenebrio molitor* L.)为开发前景广阔的资源昆虫。由于其含有丰富的蛋白质和多种氨基酸,人们纷纷用它作为特种畜禽养殖的鲜活饵料或蛋白质饲料添加剂^[1]。根据对黄粉虫营养成分的分析表明,其蛋白质含量、脂肪含量及脂肪中不饱和脂肪酸含量都很高,且氨基酸组分合理和富含多种维生素及有益微量元素,因而被列入优良动物营养保健品之列^[2]。目前将其作为营养液、保健食品、焙烤食品的开发研制也方兴未艾^[3,4]。但是关于黄粉虫生长的最佳生态条件,尤其是作为将黄粉虫进行大量饲养时的温度、空气相对湿度、虫口密度、虫粪的筛除频率及饲料含水量对黄粉虫生长及死亡的影响,在国内外的研究中还不够深入。因此,笔者对影响黄粉虫生长及死亡的诸因素进行了研究,以期找到黄粉虫生长最佳生态条件。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

以四川农业大学林学院园艺学院森保教研室室内繁育的黄粉虫为供试虫源,筛选虫龄一致,大小相近个体(约 4.72~5.13g/100 头)进行试验。

1.2 材料、设备和饲养方法

采用直径为 15cm 塑料小盆为饲养容器,以 RXZ 型智能人工气候箱控制饲养条件。饲料为市购麦麸和菜叶。麦麸用 100℃烘干,菜叶选择新鲜、干净的使用。

每天称取一定量麦麸和菜叶进行饲喂,并清捡死亡幼虫,作好记录。麦麸添加量为幼虫虫重的 15%。

1.3 试验设计

试验用 5 因素(1/2 实施)2 次正交旋转组合设计^[5],以黄粉虫增重百分率及死亡百分率为目标函数,选择环境温度(X_1)、环境空气相对湿度(X_2)、筛粪频率(X_3)、饲养密度(X_4)、饲料含水量(X_5)作为参试因素。各因素变量设计水平编码见表 1。

表 1 黄粉虫饲养条件试验因素水平编码

Table 1 Factors of the rearing condition of <i>T. molitor</i> L. and level						
变量名称 Variation	编码 Level X_j	温度 Temperature $X_1(^{\circ}\text{C})$	空气相对湿度 Humidity of atmosphere $X_2(\%)$	筛粪频率 Sifting rate of frass $X_3(\text{d}/\text{次})$	密度 Density (g/盆)	饲料含水量 Fodder water percentage $X_5(\%)$
编码值 Level of factors	+2	33	90	9	210	39
	+1	30	80	7	170	31.5
	0	27	70	5	130	24
	-1	24	60	3	90	16.5
	-2	21	50	1	50	9

$$\triangle j = (Z_{2j} - Z_{0j})/2$$

2 模型的建立及简化

2.1 模型的建立和检验

试验结果整理于表 2,将试验所得数据整理计算,分别以黄粉虫幼虫增重百分率和死亡百分率为指标建立回归模型。

模型 1(以黄粉虫增重率为指标):

$$Y_1 = 127.5079 - 0.1802x_1 + 0.3590x_2 - 0.4071x_3 - 0.1600x_4 + 18.6559x_5 + 1.2604x_1x_2 + 0.5272x_1x_3 - 1.7543x_1x_4 - 1.5795x_1x_5 + 0.2192x_2x_3 + 0.0701x_2x_4 - 1.7992x_2x_5 + 2.7894x_3x_4 - 2.3854x_3x_5 + 0.7138x_4x_5 - 3.0593x_1^2 + 0.2172x_2^2 + 1.8242x_3^2 - 0.6225x_4^2 - 3.8558x_5^2$$

模型 2(以黄粉虫死亡率为指标):

$$Y_2 = 1.7459 - 0.4108x_1 + 0.0975x_2 + 0.0083x_3 + 0.9025x_4 + 0.3442x_5 + 0.0050x_1x_2 - 0.0275x_1x_3 + 0.0200x_1x_4 - 0.0363x_1x_5 - 0.0500x_2x_3 + 0.0150x_2x_4 + 0.0038x_2x_5 + 0.0175x_3x_4 - 0.0038x_3x_5 + 0.0213x_4x_5 + 0.0833x_1^2 + 0.0508x_2^2 + 0.0646x_3^2 + 0.3060x_4^2 - 0.2622x_5^2$$

模型 1 和模型 2 分别描述了不同饲养条件与黄粉虫幼虫增重率和死亡率的关系。

对模型 1 和模型 2 进行检验,其检验结果见表 3。检验结果表明模型 1 和模型 2 与实际情况拟合较好,可信度高,无失拟因素存在,能基本反映饲养条件 5 因素与幼虫增重率及死亡率的关系。

模型 1 和模型 2 偏回归系数 t 值检验结果见表 4。

2.2 模型的简化和简化模型的检验

现通过剔除模型中不显著的项,对模型进行简化,分别得到模型 3 和模型 4。

模型 3:

$$Y_3=127.5079+18.6559x_5+2.7894x_3x_4-2.3854x_3x_5-3.0594x_1^2+1.8241x_3^2-3.8559x_5^2$$

模型 4:

$$Y_4=1.7459+0.4108x_1+0.0975x_2+0.9025x_4+0.3442x_5+0.0834x_1^2+0.3060x_3^2-0.2623x_5^2$$

同理,对调整模型 1 和 2 进行失拟性检验、显著性检验和偏回归系数显著性检验,检验结果见表 3、表 4。检验表明简化模型 1 和简化模型 2 与实际情况拟合较好,可信度高,无失拟因素存在,也能反映饲养条件 5 因素与幼虫增重率及死亡率的关系。

表 2 黄粉虫幼虫饲养条件试验设计结构矩阵及结果

Table 2 Experimental design and result of the rearing factors of <i>T. molitor</i> L. larvae															
试验号 No.	参试因素 Factors					增重率 Speed of weight gain (%)	死亡率 Death rate (%)	试验号 No.	参试因素 Factors					增重率 Speed of weight gain (%)	死亡率 Death rate (%)
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5				X_1	X_2	X_3	X_4	X_5		
1	1	1	1	1	1	141.60	3.88	19	0	2	0	0	0	125.27	1.40
2	1	1	1	-1	-1	121.67	1.36	20	0	-2	0	0	0	128.58	1.08
3	1	1	-1	1	-1	109.79	3.44	21	0	0	2	0	0	136.38	1.31
4	1	1	-1	-1	1	153.13	1.99	22	0	0	-2	0	0	130.31	1.28
5	1	-1	1	1	-1	110.29	3.20	23	0	0	0	2	0	124.33	3.83
6	1	-1	1	-1	1	140.40	1.71	24	0	0	0	-2	0	122.80	0.69
7	1	-1	-1	1	1	141.51	3.63	25	0	0	0	0	2	156.83	3.31
8	1	-1	-1	-1	-1	116.28	1.24	26	0	0	0	0	-2	64.21	0.86
9	-1	1	1	1	-1	113.47	2.51	27	0	0	0	0	0	120.31	0.88
10	-1	1	1	-1	1	135.40	0.91	28	0	0	0	0	0	142.20	1.37
11	-1	1	-1	1	1	145.04	2.90	29	0	0	0	0	0	131.27	1.25
12	-1	1	-1	-1	-1	113.39	0.66	30	0	0	0	0	0	123.87	1.68
13	-1	-1	1	1	1	146.13	2.76	31	0	0	0	0	0	140.23	1.82
14	-1	-1	1	-1	-1	105.95	0.54	32	0	0	0	0	0	134.68	1.08
15	-1	-1	-1	1	-1	103.79	2.17	33	0	0	0	0	0	137.72	0.88
16	-1	-1	-1	-1	1	153.90	0.70	34	0	0	0	0	0	133.96	1.52
17	2	0	0	0	0	108.35	2.01	35	0	0	0	0	0	132.26	1.43
18	-2	0	0	0	0	119.31	0.73	36	0	0	0	0	0	125.76	0.83

3 分析

3.1 各因素效应分析

将模型中偏回归系数标准化,可根据标准化偏回归系数的绝对值,判断各因子对目标函数影响的大小,根据回归系数的正负判断各因子作用的方向。

根据对标准化的偏回归系数的比较可知,对黄粉虫幼虫增重作用的显著性从大到小依次为:饲料含水量 X_5 及其平方项 X_5^2 (达 1%显著水平)、温度的平方项 X_1^2 (达 5%显著水平)、筛粪频率与饲养密度的交互项 X_3X_4 、筛粪频率的平方项 X_3^2 、筛粪频率与饲料含水量的交互项 X_3X_5 (达 20%显著水平)。同理,根据标准化的偏回归系数的比较可知,对黄粉虫幼虫死亡率作用的显著性从大到小依次为:饲养密度 X_4 、温度 X_1 、饲养密度的平方项 X_4^2 、饲料含水量 X_5 及其平方项 X_5^2 (达 1%显著水平)、空气相对湿度 X_2 、温度的平方

项 X_1^2 (达 20% 显著水平)。

由此可见, 饲料含水量和温度对黄粉虫增重有着重要的影响, 饲料密度、温度、饲料含水量对黄粉虫的死亡有着重要的影响。

表 3 以黄粉虫幼虫增重率和死亡率为指标的各回归方程式的失拟性检验和显著性检验

Table 3 Lack of fit and significant test of models of larvae growth speed and death rate

	变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	失拟性检验 Test of lack of fit	显著性检验 Test of significance	决定系数 R^2 Determinant coefficient	调整决定系数 R^2 Adjusted determinant coefficient
模型 1 Model 1	$Q_{总}$	10930.6325	35				
	$Q_{回}$	9685.1649	20		$F_{R1}=5.8332^{**}$		
	$Q_{剩}$	1245.46725	15			0.8861	0.7341
	$Q_{误}$	457.3094	9				
	$Q_{失}$	788.1518	6	$F_1=2.5852^{ns}$			
模型 2 Model 2	$Q_{总}$	35.1957	35				
	$Q_{回}$	32.3990	20		$F_{R2}=8.6886^{**}$		
	$Q_{剩}$	2.7967	15			0.9205	0.8146
	$Q_{误}$	1.1028	9				
	$Q_{失}$	1.6939	6	$F_2=2.3040^{ns}$			
模型 3 Model 3	$Q_{总}$	10930.6325	35				
	$Q_{回}$	9456.6417	20		$F_R=31.0091^{**}$		
	$Q_{剩}$	1473.9907	15			0.8652	0.8373
	$Q_{误}$	457.3094	9				
	$Q_{失}$	1006.6813	6	$F_3=3.3348^{ns}$			
模型 4 Model 4	$Q_{总}$	35.1957	35				
	$Q_{回}$	32.0854	20		$F_R=41.2635^{**}$		
	$Q_{剩}$	3.1103	15			0.9116	0.8895
	$Q_{误}$	1.1028	9				
	$Q_{失}$	2.0075	6	$F_4=2.7305^{ns}$			
$F_1=2.5852 < F_{0.05(6,9)}=3.376$				$F_{R1}=5.8332 > F_{0.01(20,15)}=3.36$			
$F_2=2.3040 < F_{0.05(6,9)}=3.376$				$F_{R2}=8.6886 > F_{0.01(20,15)}=3.36$			
$F_3=3.3348 < F_{0.05(6,9)}=3.376$				$F_{R3}=31.0091 > F_{0.01(20,15)}=3.36$			
$F_4=2.7305 < F_{0.05(6,9)}=3.376$				$F_{R4}=41.2635 > F_{0.01(20,15)}=3.36$			

采用“降维分析法”, 将多元问题转化为一元或二元问题, 以单独分析各参试因素或双因素与目标函数的关系。

对于 Y_3 , 分别对除 X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_5 以外的各因子同时取零水平编码值, 可导出各参试因子, 对幼虫增重百分率的偏回归解析子模型:

$$Y_5=127.5079-3.0594X_1^2$$

$$Y_6=127.5079+1.8241X_3^2$$

$$Y_7=127.5079+18.6559X_5-3.8559X_5^2$$

并由此可以求得饲养温度、筛粪频率、饲料含水量在特定条件下, 分别编码值接近或等于 0、 ± 2 和 $(-2 \leq X \leq 2)$ 时, 可获得较高黄粉虫增重率, 说明黄粉虫幼虫在一定条件下、一定范围内, 增重率在 27°C 时有最高值; 较高或较低的筛粪频率能促进黄粉虫幼虫体重的增加; 黄粉虫幼虫的增重率随饲料含水量的增加而上升。

万方数据

表 4 回归系数显著性检验结果

Table 4 Result of significant test of partial coefficients

模型 Model	差异显著性 Significance of difference			
	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.2$
模型 1 Model 1	t_5	t_5^2	t_1^2	
模型 2 Model 2	$t_4, t_1, t_4^2, t_5, t_5^2$			
调整 3 Model 3	t_5, t_5^2	t_1^2		t_3t_4, t_3^2, t_3t_5
调整 4 Model 4	$t_4, t_1, t_4^2, t_5, t_5^2$			t_2, t_1^2

同理, 对于 $Y_{2\sim 4}$ 采用“降维分析法”可得死亡率偏回归解析子模型:

$$\begin{aligned} Y_8 &= 1.7459 + 0.4108X_1 + 0.0834X_1^2 \\ Y_9 &= 1.7459 + 0.0975X_2 \\ Y_{10} &= 1.7459 + 0.0925X_4 + 0.3060X_4^2 \\ Y_{11} &= 1.7459 + 0.3442X_5 + 0.2623X_5^2 \end{aligned}$$

同样可求得黄粉虫幼虫饲养温度、空气相对湿度、饲养密度、饲料含水量在特定条件下,分别编码值等于或接近-2、-2、-1.4747、0.6561($-2 \leq X \leq 2$)时,黄粉虫幼虫死亡率有最低值。说明在一定条件下,在一定范围内,黄粉虫幼虫死亡率随温度、空气相对湿度上升而上升,而对于饲养密度和饲料含水量则有相应最佳值,过高或过低会导致黄粉虫死亡率上升。

3.2 交互效应分析

黄粉虫幼虫生长发育不仅仅是饲养条件中单因素起作用,而且还是多因素共同作用的结果,因此必须分析因子间的交互作用。在本试验中, X_3X_4 、 X_3X_5 对黄粉虫幼虫增重有一定的影响,同样采用“降维分析法”,可分别得到以黄粉虫增重率为指标的筛粪频率与饲养密度,筛粪频率与饲料含水量交互作用的偏回归解析子模型:

$$\begin{aligned} Y_{12} &= 127.5079 + 2.7894X_3X_4 + 108241X_3^2 \\ Y_{13} &= 127.5079 + 18.6559X_5 - 2.3854X_3X_5 + 1.8241X_3^2 - 3.8559X_5^2 \end{aligned}$$

根据 Y_{12} 、 Y_{13} 进行交互效应分析,所得数据绘成图 1,图 2。

从图 1 可知,黄粉虫幼虫增重率在筛粪频率、饲养密度都高或都低时有较低值;而其中一个高而另一个低时,则表现为较高增重率(注:筛粪频率编码值大则对应筛粪频率低)。

在图 2 中,图形走势总体上随饲料含水量增加而上升,表明幼虫增重率主要受饲料含水量影响。在饲料含水量低时,筛粪频率的增加会使增重率下降,而在饲料含水量较高时,筛粪频率的增加却有使增重率增加的作用。

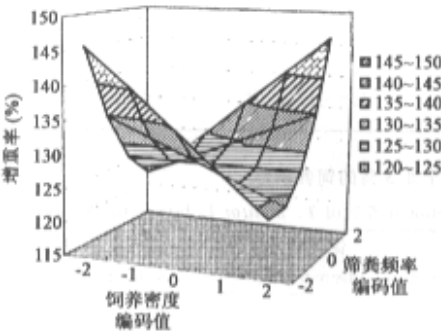


图 1 饲养密度与筛粪频率交互作用

Fig. 1 The interaction between rearing density and feces sifting rate

①Level of rearing density; ②Level of feces sifting rate

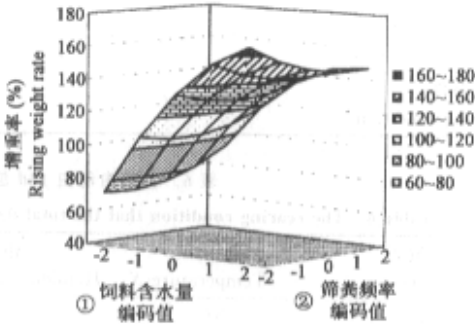


图 2 筛粪频率与饲料含水量交互作用

Fig. 2 The interaction between feces sifting rate and fodde water percentage

①Level of fodder water percentage; ②Level of feces sifting rate

3.3 模型的优化

采用统计频数优选法,将模型内各个参试因子 $X_j(j=1,2,\dots,m)$ 在 $[-2,2]$ 内以步长 1 取 5 个值,可得 $5^4=625$ 个组合。用计算机进行模拟试验,筛选获得幼虫日增重率大于 10% 的方案共 55 个,幼虫 18d 总死亡率小于 0.5% 的方案 103 个,其分布见表 5,表 6。

由表 5、表 6 可得,黄粉虫幼虫生长后期日增重率大于 10% 的饲养条件为:温度 26~27℃、筛粪频率 2~4d/次、饲养密度数据 ~0.79g/cm²、饲料含水量 33.27~39.71%。黄粉虫幼虫生长后期 18d 总死亡率小于 0.5% 的饲养条件为:温度 24~25℃、相对湿度 64%~70%、饲养密度 0.42~0.49g/cm²、饲料含水量

13.48%~17.48%。

4 讨论

4.1 饲料含水量

本试验中,饲料含水量对于黄粉虫幼虫增重率影响十分巨大,为主因素效应。并且饲料含水量越低,其对增重率影响越大。

纵观黄粉虫生长发育,黄粉虫幼虫的不同生长时期,对水分的需求不完全相同。幼虫前期生长缓慢,相对应水分的需求较少。其体重的增加主要集中在高龄幼虫生长期,是黄粉虫养殖的关键时期之一,在这一阶段能否管理得好,将直接影响到黄粉虫产量。华红霞等^[7]采用3龄幼虫进行饲养20d和30d,发现饲料含水量为18%的处理组增重速度,是含水量12%处理组的1.6和1.7倍。本次试验表明黄粉虫高龄幼虫生长期若想获得高增重率,饲料含水量应维持在33.27%~39.71%之间。

表 5 黄粉虫幼虫日增重率大于 10 % 的饲养条件				
Table 5 The rearing condition that <i>T. molitor</i> L. larvae overweight 10 % per day				
编码 Level	温度 Temperature X_1	筛粪频率 Sifting rate of frass X_3	饲养密度 Density X_4	饲料含水量 Fodder water percentage X_5
-2	4	32	14	0
-1	14	14	11	0
0	19	0	11	0
1	14	1	8	16
2	4	8	11	39
频数合计 Sum of frequency	55	55	55	55
平均编码值 Level(average)	0	-1.1091	-0.1636	1.7091
标准误 S. E.	0.1408	0.1884	0.1971	0.1967
95%置信区间 95% fiducial limit	-0.2760~0.2760	-1.4784~-0.7398	-0.5499~0.2227	1.3236~2.0946
饲养条件 Rearing condition	26~27 C	2~4d/次	108~139g/盆	33.27%~39.71%

表 6 黄粉虫幼虫 18d 总死亡率小于 0.5 % 的饲养条件				
Table 6 The rearing condition that the total death rate below 0.5 % of <i>T. molitor</i> L. larvae in 18 days				
编码 Level	温度 Temperature X_1	相对湿度 Humidity of atmospher X_2	饲养密度 Density X_4	饲料含水量 Fodder water percentage X_5
-1	37	27	42	61
-1	31	24	43	45
0	19	19	18	2
1	12	17	0	0
2	4	16	0	15
频数合计 Sum of frequency	103	103	103	103
平均编码值 Level(average)	-0.8252	-0.2816	-1.2330	-1.1359
标准误 S. E.	0.1336	0.1390	0.0716	0.1360
95%置信区间 95% fiducial limit	-1.0479~ -0.6025	-0.5540~ -0.0092	-1.3733~ -1.0927	-1.4025~ -0.8693
饲养条件 Rearing condition	24~25 C	64%~70%	75~86g/盆	13.48%~17.48%

万方数据

同样,饲料含水量对幼虫死亡率也有较为显著的影响。随着饲料含水量的增加,水分补充充足,容易产

生大而凶猛的个体,在其它幼虫蜕皮及化蛹时常常将其咬死咬伤,从而影响到种群存活率。另外,饲料含水量的增加,也容易滋生病菌,可能也是使幼虫死亡率增高的一个原因。试验结果表明,要使黄粉虫死亡率保持在较低水平,应该使饲料含水量维持在 13.48%~17.48%。

那么,要想保持高增重率、低死亡率,饲料含水量应该处于一个什么样的水平呢?首先,从绝对数值来看,增重百分率远高于死亡百分率。其次,试验中,幼虫死亡后即在记录后剔除,并未对增重率的计算产生影响。第三,饲料含水量对增重率的影响表现为主因素效应,而对死亡率的影响尽管也很显著,但只是处于第三位的。所以综合以上因素考虑,认为在实际生产中应以幼虫增重率为主要考虑因素,采用较高的饲料含水量,即采用 33.27%~39.71%较好。

只是在生产过程中,还应注意以下问题:黄粉虫生长到化蛹前的预蛹时期,对水分需求有一个骤然下降的过程,此时应及时控制饲料尤其是水分的供给。同时,也要注意在较高湿度条件下的防病。

4.2 饲养密度

黄粉虫幼虫饲养密度对其死亡率的影响呈主因素效应,密度过高或过低均会使黄粉虫死亡率上升。这与柴培春等^[6]所报道的“密度过高和过低都影响它的生长发育”的结论相似,据华红霞等^[7]报道,在 25g 麦麸中 300 头的幼虫的试验组,30d 后死亡率高达 45%。在试验中也发现,由于饲养密度高,幼虫间互相咬死咬伤的机会大大增加,尤其是在幼虫蜕皮及化蛹阶段,虫体体壁未完全老化时,最容易受到同种群其它个体的攻击。

本次试验中,黄粉虫的饲养是在高龄幼虫即在幼虫发育的后期进行的,这时所得的密度,以增重率为主要考虑因素时采用 108g~139g/盆(即 0.61~0.79g/cm²)为宜,而以死亡率为主时则宜采用 75~86g/盆(0.42~0.49 g/cm²)。同样考虑到饲养密度对死亡率的主因素效应,以及对增重率的影响并不十分显著的情况,认为黄粉虫后期饲养以较低密度,即以 0.42~0.49 g/cm² 比较合适。

4.3 温度

在本次试验中,温度对于黄粉虫幼虫增重及死亡均有显著作用(见回归系数显著性检验),而且均有一最适值,过高或过低均不利于黄粉虫的生长及存活。总体上讲,其生长增重快的温度值较高,而同时也会增加其死亡率。同样综合考虑到温度对二者和影响都不是主因素效应,而且增重率大于 150%和死亡率小于 0.5%的 95%置信区间,其温度值分别为 26~27℃和 24~25℃,二者相差不大,因而在实际生产中可以灵活掌握,控制在 24~27℃范围即可。

另外,在试验过程中,由于本试验模拟的黄粉虫幼虫饲养为大规模群体饲养,饲养密度很高,因此在环境温度 21~33℃时,黄粉虫幼虫虫体实际温度比环境高 3~4℃最高可达到 5℃。但若少量或低密度饲养时,黄粉虫幼虫最适生长温度应略高于本试验所得值。

4.4 筛粪频率

从试验所得数据拟合的方程中,筛粪频率未被引入 Y_4 ,表明其对黄粉虫幼虫死亡率无显著的影响。而筛粪频率对于幼虫增重率的影响,尽管被引入 Y_3 的三项 X_3X_4 、 X_3^2 、 X_3X_5 均为不十分显著水平(20%),却包括单因子作用和因子间的交互作用,从而使其显得较为复杂。

从单因素分析(方程 Y_6)的结果表明,筛粪频率编码值为 0 时,黄粉虫有最低增重率,高于或低于此水平,均可增加黄粉虫体重。对于减少筛粪频率,可提高黄粉虫幼虫增重率,其原因可能是在于黄粉虫在发育过程中有食粪的特性。黄粉虫虫粪中含有具保幼激素活性的法呢醇等物质,因而减少筛粪频率可促使其生长发育过程中幼虫期延长,从而增加其生长效率。而增加筛粪频率可以使黄粉虫增重率提高目前尚无合理解释。据分析可能也是由于频繁的筛粪对黄粉虫虫体产生某种刺激,而使其生长加快。

从筛粪频率与饲料含水量的交互作用,以及筛粪频率与饲养密度的交互作用对黄粉虫幼虫增重的影响来看,要同时对应低饲养密度和高饲料含水量而使其增重率有较高水平,筛粪频率应对应于较高水平。

所以,最终采用频次分析结果表明,增重率较高对应的筛粪频率为 2~4d/次,处于试验中较高的水平。

4.5 空气相对湿度数据

空气相对湿度在本试验控制条件下与黄粉虫幼虫死亡率有不显著的线性关系,幼虫死亡率随空气相

对湿度增高而增大。其原因可能是由于湿度的增大,有可能导致环境中病菌的滋生,而影响黄粉虫存活率。因黄粉虫在饲养过程中为群体饲养,必然会有不同程度的磨擦损伤,病菌从伤口感染而使虫患病死亡。采用频次分析结果表明空气相对湿度以 64%~70%为宜。

5 小结

由本研究结果可以得出:影响黄粉虫幼虫生长后期增重及死亡的主要因素分别为饲料含水量和饲养密度;饲料含水量和温度对黄粉虫增重有着重要的影响,饲养密度、温度、饲料含水量对黄粉虫的死亡有着重要的影响,其影响均达 1%或 5%显著水平;黄粉虫幼虫后期日增重率大于 10%的饲养条件为:温度 26~27℃、筛粪频率 2~4d/次、饲养密度 0.61~0.79g/cm²、饲料含水量 33.27%~39.71%。黄粉虫幼虫生长后期 18 日总死亡率小于 0.5%的饲养条件为:温度 24~25℃、相对湿度 64%~70%、饲养密度 0.42~0.49g/cm²、饲料含水量 13.48%~17.48%。

综合考虑本文推荐的饲养条件为:温度 24~27℃、相对湿度 64%~70%、筛粪频率 2~4d/次、饲养密度 0.42~0.49g/cm²、饲料含水量 13.48%~17.48%。

References:

[1] Wang Y Ch,Chen Y T,Li X R, *et al.* Study on the Rearing Larvae of *Tenebrio molitor* L. and the Effects of its Processing and Utilizing . *Acta Agricultural University Henanensis*,1996,**30**(3): 288~292.

[2] Xie B L. Study on assaying nutrition component of *Tenebrio molitor* L. gical knowledge,1994,**31**(3):175~176.

[3] Cui R J,Lin X M,Zhou L Y. Study on the nutrient liquid pupae of *Tenebrio molitor* L. hydrolysis protein. *Food science*,1999,(1):42~44.

[4] Cui R J,Zheng L H,Zhou L Y. *Tenebrio molitor* L. on cake production application. *Food Industry*, 1998,(6):26~27.

[5] Ming D X. Advanced biological statistics and experiment device. , 2000.

[6] Chai P Ch, Zhang R J. Effects of rearing density on growth and development of larvae of *Tenebrio molitor* L. . *Entom ological knowledge*. 2001,**38**(6):452~455.

[7] Hua H X, Yang Ch J, Yu Ch, *et al.* The effects of different ecological factors on rearing efficiency of *Tenebrio molitor* L. *Journal of huazhong Agricultural University*,2001,**20**(4):337~339.

参考文献:

[1] 王应昌,陈云堂,李兴瑞. 黄粉虫幼虫饲养及其加工利用效果研究. 河南农业大学学报,1996,**30**(3):288~292.

[2] 谢保令. 黄粉虫营养成分的分析研究. 昆虫知识,1994,**31**(3):175~176.

[3] 崔蕊静,林学岷,周丽艳. 黄粉虫蛹水解蛋白发酵营养液的研制. 食品科学,1999(1):42~44.

[4] 崔蕊静,郑立红,周丽艳. 黄粉虫在面包生产中的应用. 食品工业, 1998(6):26~27.

[5] 明道绪. 高级生物统计与试验设计. 四川农业大学研究生处, 2000.

[6] 柴培春, 张润杰. 饲养密度对黄粉虫幼虫生长发育的影响. 昆虫知识. 2001,**38**(6):452~455.

[7] 华红霞, 杨长举, 余纯,等. 饲养条件对黄粉虫幼虫生长的影响. 华中农业大学学报,2001,**20**(4):337~339.