

小菜蛾半合成人工饲料配方的优化^{*}

莫美华¹, 庞虹², 庞雄飞³

(1. 华南农业大学食品学院生物工程系, 广东 广州 510642
2. 中山大学生物防治国家重点实验室, 广东 广州 510275
3. 华南农业大学资环学院, 广东 广州 510642)

摘 要:小菜蛾是研究害虫抗药性、生理学、病理学、毒理学等方面的重要实验昆虫。为了获得大量发育整齐的实验昆虫,应用二次正交旋转回归组合设计方法,筛选小菜蛾半合成人工饲料配方,以世代总存活率为目标函数获得的优化配方为:每 100 g 人工饲料中,麦芽粉 4.33 g 蔗糖 4.5 g 菜叶粉 5 g 干酪素 3 g 在温度 24 ~ 26 ℃,相对湿度 60% ~ 70% 的条件下,用该优化配方饲养小菜蛾。幼虫期 8.55 d 蛹期 4.5 d 化蛹概率 0.736 羽化概率 0.905 存活率和发育速度与自然饲料的相似,存活比较稳定。20 头蛹质量为 100.30 mg 成虫行为正常,雌虫平均寿命 9.8 d 雄虫 13.7 d 每雌产卵量 123.50 粒。该饲料配制简单,成本低廉,饲养过程中不必更换饲料,管理方便。

关键词:小菜蛾;二次正交旋转回归组合设计;优化配方
中图分类号:S436.341 **文献标识码:**A **文章编号:**0529-6579 (2007) 06-0063-06

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 是世界性十字花科蔬菜的主要害虫,因其危害重、抗药性发展快、抗逆能力强等原因成为研究昆虫抗药性、性引诱剂、生理学、病理学、毒理学及防治技术等方面的重要实验昆虫。为了获得大量发育整齐的实验昆虫,优化小菜蛾半合成人工饲料配方,显得尤为重要。Bever & Boldt^[1] 首先用 Berge^[2] 配制的饲料饲养小菜蛾;而后 Hsiao & Hsu^[3] 在上述配方中加入亚麻子油、胆固醇、肌醇和脂肪酸,改进了此配方。然而,这些饲料成分复杂,饲养过程中需更换饲料,不宜大量养虫。Agui^[4] 配制了两种饲养甘蓝粘虫 (*Mamestra brassicae*) 的饲料,也可用于饲养小菜蛾。这两种饲料都含有大量切碎的甘蓝叶片,加入新鲜物质可能使饲料的效果不稳定,另外在没有新鲜叶片时,饲料无法配制。相比较而言,干叶粉在冷藏条件下可保存数月而对配制饲料比较方便。方菊莲等^[5] 筛选的饲料,成分简化为 12 种,饲养效果同发芽菜籽相仿,饲养过程中不必更换饲料,简化了育虫管理工作,但饲养的小菜蛾化蛹率仅为 54.1%。为了得到饲养管理方便、化蛹率高的配方,本文用二次正交旋转回归组合设计法对小菜蛾半合成人工饲料配方进行了优化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

虫源:从田间采回蛹和成虫,经室内发芽菜苗饲养一代后,采集成虫产卵作为试验虫源。

菜叶粉:于田间采集菜心叶片洗净,晒干后置 60 ℃ 烘箱中烘烤,干燥后用植物组织粉碎机磨成粉,过 80 目筛,装于广口瓶中备用。

麦芽粉:市售麦粒发芽,60 ℃ 烘箱中烘烤,干燥粉碎后过 80 目筛,装于广口瓶中备用。

韦氏盐 (mg): CaCO₃ 210 CuSO₄ · 5H₂O 0.39 Fe₃ (PO₄)₂ · H₂O 14.7 MnSO₄ 0.2 MgSO₄ 90 K₂AlSO₄ · H₂O 0.09 KCl 120 KH₂PO₄ 310 KI 0.05 NaCl 105 NaF 0.57 C₃ (PO₄)₂ 149 等混合研成粉末,过 80 目筛,装于广口瓶中备用。

维生素混合液 (mg): 烟酸 100 泛酸钙 100 核黄素 50 盐酸硫胺素 25 叶酸 25 盐酸吡哆醇 25 生物素 2 VB₂ 0.2 蒸馏水 100 mL

饲料的基本成分: 麦芽粉 3.0 g 蔗糖 3.5 g 菜叶粉 3.0 g 干酪素 3.0 g 螺旋藻 3.0 g 胆固醇 0.5 g 维生素混合液 1.0 mL 抗坏血酸 0.4 g

^{*} 收稿日期: 2007-01-01
基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (980135); 国家博士点基金资助项目 (950502)
作者简介: 莫美华 (1966 年生) 女, 博士, 副教授, E-mail: mmdm@163.com
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

w=10%氯化胆碱 1.0 mL 韦氏混合盐 1.0 g 4 mol/L氢氧化钾 0.5 mL 琼脂 2.0 g 尼泊金 0.15 g

1.2 试验方法

1.2.1 饲料配制方法 蔗糖溶解于 20 mL水中，再加入尼泊金、氯化胆碱、维生素混合液、氢氧化钾，充分搅拌使其溶解。各成分含量见 1.1。

称取麦芽粉、干酪素、螺旋藻、胆固醇、韦氏混合盐，充分搅拌，倒入上述溶液中。

琼脂加入剩余水中，煮熔后倒入混合物中，充分搅拌，蒸 15 min 取出冷至 60℃，加入抗坏血酸拌匀，趁热分装于饲养器（果冻杯）中，充分冷凝后置于冰箱内（1~4℃）贮藏待用。

1.2.2 小菜蛾的饲养方法 幼虫：饲养用的器皿为果冻杯（直径 2 cm，高 2.5 cm），杯口用保鲜膜封口，用橡皮筋扎紧，保鲜膜上用昆虫针均匀扎孔，孔间距为 1 cm左右，待器皿壁上和饲料表面的水气消失后，接入经消毒的卵或用毛笔接入初孵幼虫。小杯接卵 10粒或初孵幼虫 10头，大杯接卵 100粒或初孵幼虫 10头。老熟幼虫在保鲜膜上或果冻杯壁上化蛹，及时收取。

成虫和集卵：羽化的成虫放入养虫笼中（30 cm×20 cm×15 cm），笼中用图钉钉上蘸有 w=10%葡萄糖液的棉球，在笼内挂一装有菜芯叶片的薄膜袋，袋上插有小孔，让成虫在袋上产卵，每天更换薄膜袋以收集卵。或笼中放一盆发芽菜籽，让成虫在菜苗上产卵，卵孵化后用毛笔接入饲料中。

饲养条件：在人工气候箱中饲养，温度为 24~26℃，相对湿度 60%~70%。

1.2.3 小菜蛾半合成人工饲料优化配方筛选的实验设计及统计分析 选择麦芽粉、干酪素、蔗糖、菜叶粉、螺旋藻作为参试因子，参试因子的水平编码为-2 -1 0 1 2 因子的取值采用线性变换（如表 1）。人工饲料组分影响模型的建立是采用五因子（1/2实施）二次正交旋转回归组合设计表（表 2）。目标函数为世代总存活率。试验基本步骤详细叙述见丁希泉^[6]、王惠^[7]。饲料中其它组分的含量如 1.1所示。试验重复 3次。

1.2.4 营养组分的优化方法 营养组分的优化方法采用变量轮换直接寻优法和频次分析及统计寻优法求得各组分的优化组合。采用频次分析法对组分进行优化时，通过计算机对不同设计水平下的组合进行模拟试验，从 5⁵=3 125个组合中，获得化蛹概率>0.85的方案。再根据频次分析结果和实际情况，取中值得出各组分的优化组合。

表 1 因素水平编码

Tab 1 Encode factor and level / (10 ⁻² g mL ⁻¹)					
水平 (X _i)	麦芽粉 (X ₁)	蔗 糖 (X ₂)	菜叶粉 (X ₃)	干酪素 (X ₄)	螺旋藻 (X ₅)
-2	1 0	1 5	1 0	0	0
-1	2 0	2 5	2 0	1 5	1 5
0	3 0	3 5	3 0	3 0	3 0
1	4 0	4 5	4 0	4 5	4 5
2	5 0	5 5	5 0	6 0	6 0
X _i =	(N ₁ -	(N ₂ -	(N ₃ -	2/3(N ₄ -	2/3(N ₅ -
	3 0)	3 5)	3 0)	3 0)	3 0)

表 2 小菜蛾人工饲料筛选配方试验结构矩阵及结果

Tab 2 Experiment scheme of five factors in the rotational combination design						
实验号	参试因子					世代总存活概率 *
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	-1	-1	-1	-1	1	0
2	-1	-1	-1	1	-1	0
3	-1	-1	1	-1	-1	0
4	-1	-1	1	1	1	0.22
5	-1	1	-1	-1	-1	0
6	-1	1	-1	1	1	0.08
7	-1	1	1	-1	1	0
8	-1	1	1	1	-1	0.30
9	1	-1	-1	-1	-1	0
10	1	-1	-1	1	1	0.04
11	1	-1	1	-1	1	0.10
12	1	-1	1	1	-1	0.32
13	1	1	-1	-1	1	0.11
14	1	1	-1	1	-1	0
15	1	1	1	-1	-1	0.42
16	1	1	1	1	1	0.34
17	-2	0	0	0	0	0.11
18	2	0	0	0	0	0.26
19	0	-2	0	0	0	0.19
20	0	2	0	0	0	0.12
21	0	0	-2	0	0	0
22	0	0	2	0	0	0.58
23	0	0	0	-2	0	0.10
24	0	0	0	2	0	0.14
25	0	0	0	0	-2	0.45
26	0	0	0	0	2	0.38
27	0	0	0	0	0	0.44
28	0	0	0	0	0	0.52
29	0	0	0	0	0	0.35
30	0	0	0	0	0	0.47
31	0	0	0	0	0	0.12
32	0	0	0	0	0	0.22
33	0	0	0	0	0	0.39
34	0	0	0	0	0	0.48
35	0	0	0	0	0	0.29
36	0	0	0	0	0	0.45

* 世代总存活概率 = 化蛹概率 × 羽化概率；化蛹概率 = 蛹总数 / 接入总卵量

2 结果与分析

2.1 人工饲料不同组分与小菜蛾世代总存活率及其关系模型

按试验设计不同组分的人工饲料配方饲养的小菜蛾世代总存活概率的结果如表 2

根据表 2 的结果，得到五元二次回归方程描述不同组分与世代总存活率的关系：

$$Y=0.3816+0.0429x_1+0.0179x_2+0.1096x_3+0.0313x_4-0.0121x_5+0.0156x_1x_2+0.0369x_1x_3-0.0331x_1x_4-0.0094x_1x_5+0.0169x_2x_3-0.0181x_2x_4-0.0144x_2x_5+0.0406x_3x_4-0.0381x_3x_5+0.0169x_4x_5-0.0599x_1^2-0.0674x_2^2-0.0336x_3^2-0.0761x_4^2-0.0024x_5^2$$

回归方程失拟性检验 $F_1=(Q_{失拟}/DF_{失拟})/(Q_{残}/DF_{残})=0.6368<F_{0.1}(6,9)=2.55$ 表明无失拟因素影响；显著性检验 $F_2=(Q_{回}/DF_{回})/(Q_{残}/DF_{残})=3.4188>F_{0.01}(20,15)=3.37$ 达到 0.01 的显著水平。这说明此方程可信度好，能反映出人工饲料五种基本组分不同配比与小菜蛾世代总存活概率之间的曲面反应。

2.2 影响世代总存活率的主因子效应

从所建立的回归方程的偏回归系数绝对值的大

小判明因子的重要程度，系数的正负表示因子效应作用的方向。从线性项看，五项人工饲料组分对世代总存活概率的影响从大到小依次为菜叶粉、麦芽粉、干酪素、蔗糖、螺旋藻。其中， $t_b=4.5288>t_{0.01}(1,15)=4.073$ 菜叶粉对世代总存活概率的影响达到 0.01 显著水平。从二次项看，五种组分对小菜蛾世代总存活概率的影响从大到小依次为干酪素、蔗糖、麦芽粉、菜叶粉、螺旋藻，其中干酪素、蔗糖、麦芽粉的影响达到 0.05 显著水平。

采用“降维法”，可导出各组分因子对世代总存活概率的偏回归解析子模式，求得某一因子在特定条件下的最佳水平。从偏回归子模型（图 1）可以看出，麦芽粉、蔗糖、菜叶粉、干酪素分别在编码值接近或等于 0.35、0.13、1.63、0.2 时取得最佳值。

各因素的偏回归子模型：

$$Y_1=0.6833+0.0554x_1-0.0311x_1^2 \quad x_1: \text{麦芽粉}$$
$$Y_2=0.6833+0.0321x_2+0.0799x_2^2 \quad x_2: \text{蔗糖}$$
$$Y_3=0.6833+0.0771x_3-0.0286x_3^2 \quad x_3: \text{叶粉}$$
$$Y_4=0.6833+0.1404x_4-0.0899x_4^2 \quad x_4: \text{干酪素}$$
$$Y_5=0.6833+0.0013x_5-0.0549x_5^2 \quad x_5: \text{螺旋藻}$$

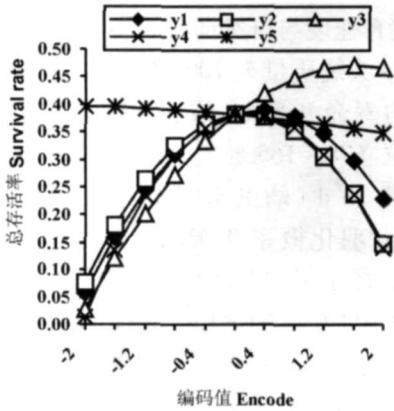


图1 主因子效应
Fig.1 Main factor effect

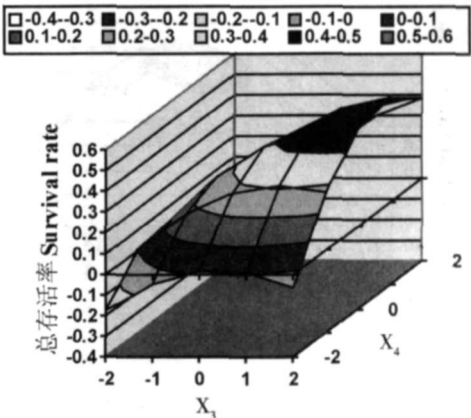


图2 菜叶粉与干酪素因子效应
Fig.2 Interaction of X_3 and X_4

2.3 影响世代总存活概率双因子效应

从交互项系数可以看出，麦芽粉 x_1 、蔗糖 x_2 、菜叶粉 x_3 、干酪素 x_4 、螺旋藻 x_5 五种组分的交互作用，除了 x_1 与 x_2 、 x_1 与 x_3 、 x_2 与 x_4 、 x_3 与 x_5 为负效应外，其余各组分两两相互作用均为正效应。其中 $t_{bb}=1.3698>t_{0.2}(1,15)=1.341$ ，在 0.2 水平上差异显著； $t_{bb}=1.2449>$

$t_{0.3}(1,15)=1.074$ ， $t_{bb}=1.1167>t_{0.3}(1,15)=1.074$ ， $t_{bb}=1.2854>t_{0.3}(1,15)=1.074$ 均在 0.3 水平上差异显著。利用“降维法”，得到偏回归系数子模型，可绘成图 2—图 4。在图 2 的直观分析中，菜叶粉与干酪素的配比以 5:6 为最优。在图 3 的直观分析中，麦芽粉与菜叶粉的配比以 4:5 为最优。在图 4 的直观分析中，麦芽粉与

干酪素的配比以 3:3 为最优。

双因子交互作用的偏回归解析子模型：

$$Y_{S_{33}} = 0.6833 + 0.0554x_1 + 0.0771x_3 + 0.0581x_1x_3 - 0.0311x_1^2 - 0.0286x_3^2$$
$$Y_{S_{35}} = 60.35 - 6.6x_3 + 2.98x_5 + 2.4x_3x_5 - 0.9x_3^2 - 8.27x_5^2$$
$$Y_{S_{45}} = 0.6833 + 0.1404x_1 + 0.0013x_5 + 0.0519x_1x_5 - 0.0899x_1^2 - 0.0549x_5^2$$

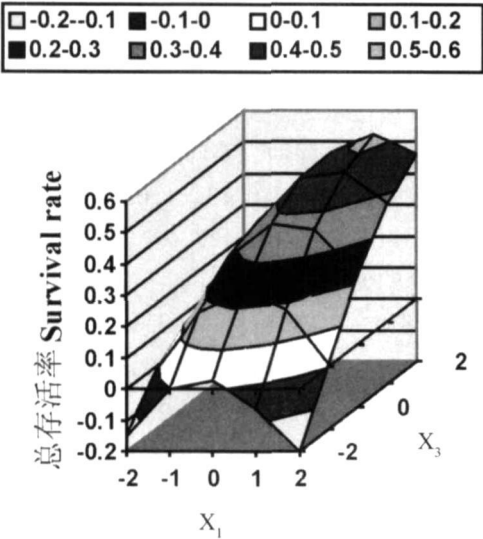


图3 麦芽粉与菜叶粉双因子效应
Fig.3 Interaction of X_1 and X_3

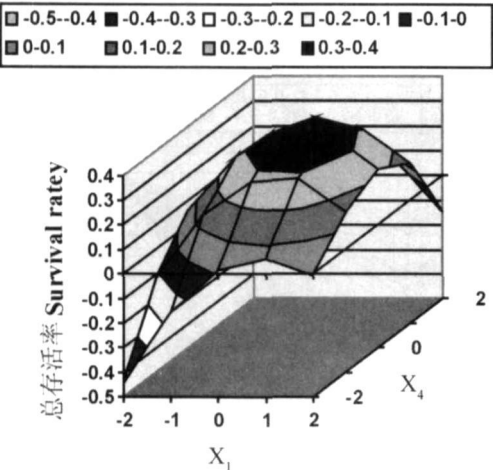


图4 麦芽粉与干酪素双因子效应
Fig.4 Interaction of X_1 and X_4

2.4 营养组分优化结果

变量轮换直接寻优法结果为 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = (1, 1, 2, 0, -2)$ 对应于配方中各组分的量： $X = (\text{麦芽粉}, \text{蔗糖}, \text{菜叶粉}, \text{干酪素}, \text{螺旋藻}) = (4.0, 4.5, 5.0, 3.0, 0) (\text{g}/100 \text{g})$ 。

根据频次分析结果，得到化蛹概率 > 0.85 的方案 3 个， X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 的平均编码分别为 1.33, 0.67, 2, 0, -2 对应于饲料配方的优化组合 $X = (\text{麦芽粉}, \text{蔗糖}, \text{菜叶粉}, \text{干酪素}, \text{螺旋藻}) = (4.33, 4.17, 5.00, 3.00, 0) (\text{g}/100 \text{g})$ 。

根据变量轮换直接寻优法和频次分析及统计寻优求得各组分的优化组合结果，再考虑实际操作的难易，得出小菜蛾人工饲料优化配方如表 3。

表 3 筛选的优化配方中各组分含量
Tab.3 Contents of components in the optimum medium

饲料成分	含量	饲料成分	含量	饲料成分	含量
菜叶粉	5.0 g	维生素混合液	1.0 mL	4mol/L 氢氧化钾	0.5 mL
麦芽粉	4.3 g	抗坏血酸	0.4 g	琼脂	2.0 g
干酪素	3.0 g	10% 氯化胆碱	1.0 mL	尼泊金	0.15 g
蔗糖	4.5 g	韦氏混合盐	1.0 g	蒸馏水	84 mL
胆固醇	0.5 g				

2.5 人工饲料优化配方的检验

用优化配方（见表 7）饲料饲养小菜蛾的结果见表 4。从表 4 可知，在温度 24 ~ 26 ℃，相对湿度 60% ~ 70% 的条件下，用优化配方饲养小菜蛾，初孵幼虫至成虫历期 13.05 d（幼虫期 8.55 d，蛹期 4.5 d），化蛹概率 0.736，羽化概率 0.905，存活率和发育速度与自然饲料的相似，存活比较稳定。平均 20 头蛹质量为 100.30 mg，成虫行为正常，雌虫平均寿命 9.8 d，雄虫 13.7 d，每雌产卵量 123.50 粒（78 ~ 165 粒）。对照的初孵幼虫至成虫的历期 13.33 d（幼虫 8.83 d，蛹 4.5 d），化蛹概率 0.774，羽化概率 0.938，平均 20 头蛹质量为 87.9 mg，雌虫平均寿命 9.0 d，雄虫为 16.5 d，每雌产卵量 108 粒（64 ~ 130 粒）。从表中还可看出，饲料养的化蛹率、羽化率、幼虫历期、成虫寿命与菜苗养的在方差分析中差异不显著，蛹重和产卵量增加。

3 结论与讨论

昆虫人工饲料的营养组成有两层含义：第一，要包含昆虫生长发育所需的所有营养成分；第二，各营养成分不但要有足够的量，而且还要有适当的比例^[8-9]。以往昆虫人工饲料研制的过程多为带有

表 4 优化配方饲养小菜蛾的结果¹⁾
Tab 4 The results of DBM fed with optimum medium

饲料名称	幼虫历期 /d	化蛹概率 /%	20头蛹质量 (mg)	羽化概率	产卵量	成虫寿命 / d
优化配方	8.55 ^a	0.736 ^a	100.30 ^a	0.905 ^a	123.50 ^a	11.5($\bar{x}$ 9.8 $\uparrow$ 13.7) ^a
对照	8.83 ^a	0.774 ^a	87.9 ^b	0.938 ^a	108 ^b	12.75($\bar{x}$ 9.0 $\uparrow$ 16.5) ^a

1) 表内相同小写字母者, 表示 Duncan 新复极差检验在 P=0.05 水平上, 差异不显著

经验性的筛选。本试验在前人经验配方的基础上, 结合我们以前部分小菜蛾人工饲料的初步研究, 以二次正交旋转回归组合设计来确定人工饲料组分的对比对小菜蛾幼虫生长的影响, 获得较满意的结果。该设计具有规范化的设计方案和标准化的计算方法。并能建立研究对象与各种作用因子相互关系的数学模型。回归设计将回归分析法与正交试验法的优点有机地结合起来, 一方面选择较少的适当的试验点; 另一方面, 应用最小二乘法原理, 通过实测的数据求出各因子与指标之间的回归方程式, 并且各回归系数之间彼此是不相关的, 从而明显地简化了求回归系数的计算^[10-11]。这一设计方法在饲料配方研究上有重要意义。

本试验中, 在以小菜蛾世代总存活率为指标时, 所得模型经失拟性检验和显著性检验证明无失拟因素的影响, 达到 0.01 显著水平, 说明此方程可信度好, 能反映出人工饲料 5 种基本组分不同配比与小菜蛾世代总存活率之间的曲面反应。利用筛选出来的小菜蛾半合成饲料优化配方, 简便而实用, 饲养效率高, 饲养的小菜蛾的化蛹率、羽化率、幼虫历期、成虫寿命与菜苗养的在方差分析中差异不显著, 蛹重和产卵量增加, 这为工厂化生产小菜蛾提供了可能。用该配方饲料饲养小菜蛾, 幼虫趋食性好、生长整齐、发育良好, 成虫行为正常。

致 谢 本论文是在导师庞雄飞院士的悉心指导下完成的, 在导师逝世 3 周年之际发表此文表达对导师的怀念。

参考文献:

[1] BIEVER K D, BOLDT P E. Continuous laboratory rearing

of the diamondback moth and related biological data[J]. Ann Entomol Soc Amer. 1971, 64: 651—655.
[2] BERGER R S. Laboratory techniques for rearing Heliothis species on artificial medium[J]. USDA ARS (Ser), 1963: 33—84.
[3] HOU R F, HSIAO M L. An improved diet for rearing the diamondback moth Plutella xylostella and its requirements for fatty acids[J]. Chinese Journal of Entomology, 1986, 8(11): 31—37.
[4] AGUIN, OGURA N, OKAWARA M. Rearing of the cabbage armyworm Mamestra brassicae (Lepidoptera: Noctuidae) and some lepidopterous larvae on artificial diets (In Japanese with English summary) [J]. Jpn J Appl Entomol Zool, 1975, 19: 91—96.
[5] 方菊莲. 小菜蛾半合成人工饲料研究[J]. 植物保护学报, 1988, 15(3): 167—171.
[6] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1986: 276.
[7] 王惠, 吴兆亮, 童应凯, 等. 利用正交旋转回归组合设计优化黄霉素发酵培养基[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 19—22, 64.
[8] 陈宗麒, 缪森, 罗开君. 小菜蛾大量饲养技术[J]. 昆虫知识, 2001, 38(1): 68—70.
[9] 王延年. 饲养昆虫的方法和技术[M] // 汪世泽. 昆虫研究法. 北京: 农业出版社, 1993: 160—202.
[10] 郭春锋, 李青妍, 张守文. 二次正交旋转回归组合设计在饮料研究中的应用[J]. 试验报告与理论研究, 2006, 9(4): 38—40.
[11] 徐位力, 罗焕亮, 范恩友, 等. 利用二次正交旋转回归组合设计优化繁殖培养基配方[J]. 广西植物, 2002, 22(6): 517—520.

Optimization of the Semi-synthetic Diet of Diamondback Moth

MOMEI Hua¹, PANG Hong², PANG Xiong-fei³

(1. Food Science College of South China Agricultural University Guangzhou 510642 China;

2. State Key Laboratory for Biocontrol Sun Yat-sen University Guangzhou 510275 China;

3. Department of Entomology South China Agricultural University Guangzhou 510642 China)

Abstract: The diamondback moth (DBM) is an important experimental insect for studying physiology, pathology and toxicology. In order to obtain plentiful homochronous diamondback moth, the quadratic—orthogonal—rotation—combination design was introduced to determine the effects and interactions of main medium compositions (malt powder, sucrose, leaf powder of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*), casein and spirulina) of the semi-synthetic diet on the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.), a model of the main medium components and the survival rate from the egg to adult was constructed and analyzed. The results showed that proportions of Chinese cabbage leaf powder influenced the survival rate significantly ($P=0.05$). The optimum proportions of the components were: malt powder 4.33 g, sucrose 4.50 g, leaf powder 5.00 g, casein 3.00 g in 100 g of diet. The results of rearing diamondback moth with the optimum semi-synthetic diet showed that under 24 ~ 26°C and 60 ~ 70% RH, the developmental periods of the larva and pupa were 8.55 days and 4.5 days respectively, the rate of pupation was 73.6%, pupae weight was 100.30 mg (20 pupae), average adult emergence was 90.5%, adult behavior was normal, average longevity of the female and male adult were 9.8 days and 13.7 days respectively, and females laid 123.50 eggs on average. This kind of diet is cheaper, the method of preparation and application is simpler and more convenient than the diet made by Biever and Boldt. Compared with the control in which the moth was reared on seedlings of Chinese cabbage, rates of pupation, developmental of the larvae, adult emergence and the longevity of the adult were not significantly different.

Key words: diamondback moth, the rotational combination design, optimum components