

用正交试验法优选二化螟人工饲料配方^{*}

刘慧敏^{1,2} 张国安^{2**}

(1. 新疆塔里木大学植物科技学院 阿拉尔 843300; 2. 华中农业大学植物科技学院 昆虫生态研究室 武汉 430070)

Optimizing the artificial diet composition for the rice stem borer, *Chilo suppressalis*, by orthogonal design.

LIU Hui-Min^{1,2}, ZHANG Guo-An^{2**} (1. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Xingjiang Alaer 843300, China; 2. Laboratory of Insect Ecology, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The composition of artificial diet for the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker), was optimized by orthogonal design trial with 15 factors and 2 levels. Five key factors affecting insect survival and development were determined: rice stem flour, wheat germ, yeast and rice chaff flour had an effect on the survival rate of larvae, sucrose and wheat germ affected the length of the larval stage, rice stem flour also worked on the pupal weight.

Key words *Chilo suppressalis*, artificial diet, orthogonal design, key factors

摘 要 采用 15 因子 2 水平正交试验, 优选出 1 种二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 人工饲料配方, 筛选出影响二化螟发育的 5 个关键因子, 分别是稻茎粉、麦芽粉、稻糠粉、酵母粉和蔗糖。其中稻茎粉、麦芽粉、酵母粉和稻糠粉影响二化螟的幼虫成活率, 蔗糖和麦芽粉影响二化螟的幼虫历期, 稻茎粉影响二化螟的蛹重。

关键词 二化螟, 人工饲料, 正交试验, 关键因子

二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 是我国水稻上的常发性蛀茎害虫, 并在近几十年内逐渐成为稻螟中的优势种群。在对该虫的综合防治中, 新型生物农药开发和转基因抗虫水稻育种以其环保高效的优势成为人们研究的热点。然而生物农药的筛选和测定、转基因水稻抗虫性的测定等均需要大量发育一致的二化螟试虫, 所以二化螟的室内人工饲养成为当前重要的研究内容之一。

二化螟人工饲料的研究始于 20 世纪 60 年代, 并在随后的 20 年内得到迅猛的发展, 产生了一大批比较成功的二化螟人工饲料。其中最具有代表性的是 1971 年 Ishii 的石井系列饲料和 Kamano 的釜野系列饲料^[1~3]。但所有这些饲料的缺点是成分比较简单, 防腐性能比较差, 所以限制了它们在实际应用中的大规模应用。之后

也有人在此基础上做过一些研究和改进^[4~7], 但都没有达到很理想的效果。特别是重新设计一种新的二化螟人工饲料并筛选和优化其中的关键成分至今仍未见报道。

本实验综合多数已报道的较为成功的二化螟人工饲料, 选择出其中的 13 种成分。这 13 种成分囊括了几乎所有的二化螟实用人工饲料中的成分。作者又创新性地添加了 2 种新的成分^[8], 采用 15 因子 2 水平正交试验, 旨在设计出一种新的二化螟实用人工饲料, 并从中筛选出影响二化螟发育的关键因子。

^{*} 湖北省自然科学基金项目 (2002AB105)。

^{**} 通讯作者, E-mail: guoan.zhang@163.com

收稿日期: 2006-09-07, 修回日期: 2006-11-06,

接受日期: 2007-02-27

1 材料与方法

1.1 试虫来源

本试验所用试虫采自湖北省武汉市华中农业大学南郊。方法是用灯光在傍晚诱捕产卵盛期的二化螟成虫，带入室内盆栽的水稻苗上，让其将卵产在稻叶上。几天后把黑头期的卵块从稻叶上剪下，依次用 75%酒精和 1%甲醛进行卵面消毒。然后将卵块放在室内瓶栽的水稻幼苗上，孵化后的幼虫即可进行人工饲养试验。

1.2 挑因子，选水平，制定因子水平表

本试验将选取的 15 种饲料成分作为此次

正交试验的 15 个因子，并分别用大写字母 A ~ O 表示，它们是水稻茎粉(A)、大豆粉(B)、麦芽粉(C)、稻糠粉(D)、茭白茎粉(E)、干酪素(F)、酵母粉(G)、纤维素(H)、蔗糖(I)、葡萄糖(J)、维生素 C(K)、复合维生素 B(L)、胆固醇(M)、氯化胆碱(N)和 Beck 氏盐(O)。其中水稻茎粉(A)和茭白茎粉(E)是作者创新性添加的新成分^[8]，在之前的二化螟人工饲料中未见报道。15 个因子均设为 2 个水平，其中水平 1 的量是基于各因子在原饲料中的百分含量而设计，水平 2 的量是在水平 1 的基础上增加 50% (表 1)。

表 1 二化螟人工饲料正交试验因子水平表 (单位: g)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
水平 1	15	15	10	5	5	10	10	5	10	5	5	2	0.25	0.025	2.5
水平 2	22.5	22.5	15	7.5	7.5	15	15	7.5	15	7.5	7.5	3	0.375	0.375	3.75

1.3 设计正交表头，确定试验方案

本试验为 15 因子 2 水平正交试验，选择 $L_{16}(2^{15})$ 正交表，共 16 个处理。对各因子的 2 个

水平进行随机化处理，确定出正交试验的方案 (表 2)。

表 2 二化螟人工饲料正交设计试验方案和试验结果

	试验方案															试验结果				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	a	b	c	d	e
T1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	64.41	68.33	92.68	0.054 0	71.05
T2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	67.54	75.00	98.04	0.056 5	80.77
T3	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	57.25	28.81	94.12	0.059 3	81.25
T4	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	52.54	33.33	90.00	0.048 3	80.00
T5	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	45.64	44.78	100.00	0.051 8	78.13
T6	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	55.30	19.05	87.50	0.053 4	71.43
T7	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	52.67	25.00	93.33	0.049 8	86.67
T8	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	47.90	42.19	92.59	0.050 1	64.00
T9	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	60.13	15.38	87.63	0.035 2	74.26
T10	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	53.54	6.12	92.71	0.037 8	77.14
T11	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	61.52	23.41	91.45	0.039 6	73.22
T12	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	47.46	5.23	83.16	0.033 4	72.17
T13	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	64.56	43.33	93.55	0.031 9	73.34
T14	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	65.49	37.29	92.00	0.032 7	71.45
T15	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	64.48	24.49	92.31	0.033 8	74.97
T16	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	66.15	14.29	85.71	0.038 3	75.87

注: T1 ~ T16 表示 16 个处理; A ~ O 表示 15 个因子; 数字 1 和 2 表示 2 个水平; a ~ e 表示测试指标, 其中 a. 幼虫历期 (d), b. 成活率 (%), c. 化蛹率 (%), d. 蛹重 (g), e. 羽化率 (%).

1.4 饲料的配制

按表 2 中的试验方案, 分别称取配制好的

各种饲料成分, 放入各自编号 (T1 ~ T16) 的容器中混匀。同时按配方总干物质重 (用 G 表示)

的10%称取琼脂,放入盛有 6 G 自来水的另一容器中,加热融解后加入 1%G 的山梨酸,搅拌均匀并使温度下降到 60℃时,再分别加入 Beck 氏盐溶液,氯化胆碱和胆固醇,然后迅速倒入前面各自编号的容器中,快速搅拌均匀后放入 4℃冰箱中保存备用。

1.5 饲养方法

将配制好的饲料切成合适大小的条状,分别放入各自编号的饲养管中,饲养管为特制的 1.8 cm×12 cm 平底玻璃试管。然后将刚孵化的二化螟幼虫接入饲养管中,每管接 5 头,7 管为 1 个重复,每个处理设 2 个重复。接好幼虫

的饲养管用棉花塞封好管口,7 管为 1 捆包扎,并用黑布将管口部位罩住,利用二化螟幼虫的趋光习性,防止其钻入棉花塞中。然后将饲养管置于人工气候箱中,设置温度为 29℃,湿度 85%,光照 16 h/d。幼龄幼虫 7 d 换 1 次饲料,大龄幼虫 4 d 换 1 次饲料。观察并记录二化螟的发育情况。

2 结果与分析

正交试验的统计结果见表 2,正交试验的分析结果见表 3。

表 3 二化螟人工饲料正交试验结果

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	K	L	M	N	O
幼虫历期 (d)	T ₁	443.3	464.4	424.2	476.6	472.5	476.8	455.0	455.9	592.8	478.2	454.9	477.8	471.1	464.1	455.9
	T ₂	483.3	462.2	502.4	450.0	454.1	449.8	471.6	470.7	474.0	448.4	471.7	448.8	455.5	462.5	470.7
	Y ₁	55.41	58.05	53.02	59.58	59.06	59.60	56.88	56.99	74.10	59.77	56.86	59.72	58.88	58.01	56.99
	Y ₂	60.42	57.77	62.80	56.25	56.76	56.22	58.94	58.83	59.25	56.05	58.96	56.10	56.94	57.81	58.84
	R	5.01	0.28	9.78	3.33	2.30	3.38	2.06	1.84	14.85	3.72	2.10	3.62	1.94	0.20	1.85
成活率 (%)	T ₁	336.5	255.6	181.2	309.3	274.6	270.8	186.3	232.5	229.9	248.8	237.6	239.2	226.1	277.9	273.2
	T ₂	169.5	250.4	324.9	196.8	231.5	235.2	319.8	273.5	276.2	257.3	268.5	266.9	279.9	228.1	232.9
	Y ₁	42.06	31.95	22.65	38.66	34.32	33.85	23.28	29.06	28.73	31.09	29.69	29.9	28.26	34.74	34.15
	Y ₂	21.19	31.30	40.61	24.59	28.93	29.40	39.97	34.19	34.52	32.16	33.56	33.36	34.99	28.51	29.11
	R	20.87	0.65	17.96	14.07	5.39	4.45	16.69	5.13	5.79	1.07	3.87	3.46	6.73	6.23	5.04
化蛹率 (%)	T ₁	748.3	729.8	728.4	744.1	730.9	735.0	730.0	721.7	733.7	723.7	728.6	741.5	723.0	748.2	739.9
	T ₂	718.5	737.0	738.4	722.7	735.9	731.8	736.8	745.1	733.1	743.1	738.2	725.3	743.7	718.6	726.9
	Y ₁	93.53	91.22	91.05	93.01	91.36	91.88	91.25	90.21	91.71	90.46	91.08	92.68	90.38	93.52	92.48
	Y ₂	89.82	92.12	92.30	90.33	91.99	91.47	92.10	93.13	91.63	92.89	92.27	90.67	92.97	89.83	90.87
	R	3.71	0.90	1.25	2.68	0.63	0.41	0.85	2.92	0.08	2.43	1.19	2.01	2.59	3.69	1.61
蛹重 (g)	T ₁	0.423	0.364	0.351	0.353	0.361	0.356	0.358	0.351	0.357	0.363	0.354	0.363	0.358	0.365	0.353
	T ₂	0.283	0.342	0.355	0.353	0.345	0.350	0.348	0.355	0.349	0.343	0.352	0.343	0.348	0.341	0.353
	Y ₁	0.053	0.046	0.044	0.044	0.045	0.044	0.045	0.044	0.045	0.045	0.044	0.045	0.045	0.046	0.044
	Y ₂	0.035	0.043	0.044	0.044	0.043	0.044	0.044	0.044	0.044	0.043	0.044	0.043	0.044	0.043	0.044
	R	0.018	0.003	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.003	0.001	0.003	0.000
羽化率 (%)	T ₁	613.3	609.9	597.0	597.6	597.6	604.7	613.1	592.8	613.7	582.5	585.4	616.9	615.8	603.7	597.0
	T ₂	592.4	595.9	608.7	608.2	608.1	601.0	592.7	612.9	592.0	623.2	620.4	588.8	590.0	602.0	608.7
	Y ₁	76.66	76.23	74.63	74.70	74.70	75.59	76.63	74.10	76.72	72.82	73.17	77.11	76.97	75.47	74.63
	Y ₂	74.05	74.48	76.09	76.02	76.01	75.12	74.08	76.61	74.00	77.90	77.55	73.60	73.75	75.25	76.09
	R	2.61	1.75	1.46	1.32	1.31	0.47	2.55	2.51	2.72	5.08	4.38	3.51	3.22	0.22	1.46

注: T₁ 表示水平 1 的总和, T₂ 表示水平 2 的总和, Y₁ 表示水平 1 的平均值, Y₂ 表示水平 2 的平均值, R 表示极差。

2.1 筛选关键因子

极差分析和趋势图分析是正交试验筛选关键因子的常用方法。极差(R)是 2 水平的平均值(Y)之差,极差大说明该因子的不同水平间

产生的差异大,是关键因子。同时可根据各因子在 2 水平上的平均值可用可判断其变化趋势。极差和趋势分析的结果均表明,在二化螟发育的不同阶段,影响其发育的关键因子不同,

其中影响二化螟幼虫历期的关键因子是蔗糖(I)和麦芽粉(C),影响二化螟幼虫成活率的关键因子是水稻茎粉(A)、麦芽粉(C)、酵母粉(G)和稻糠粉(D),影响二化螟蛹重的关键因子是水稻茎粉(A)。因此,影响二化螟整体发育的关键因子是水稻茎粉(A)、麦芽粉(C)、稻糠粉(D)、酵母粉(G)和蔗糖(I)。

2.2 饲料配方

由表 3 可得出各指标的 15 因子优水平组合(表 4)。综合各指标的情况,考虑二化螟整体的发育,得出 15 因子的最佳优水平组合为 A₁B₁C₂D₁E₂F₁G₂H₂I₂J₂K₂L₂M₂N₁O₁。因此一种新的二化螟人工饲料的初步配方为:水稻茎粉 15 g、大豆粉 15 g、麦芽粉 15 g、稻糠粉 5 g、茭白茎粉 7.5 g、干酪素 10 g、酵母粉 15 g、纤维素 7.5 g、蔗糖 15 g、葡萄糖 7.5 g、维生素 C 7.5 g、复合维生素 B 3 g、胆固醇 0.375 g、氯化胆碱 0.375 g、Beck 氏盐 3.75 g、山梨酸 1.27 g、琼脂 12.7 g 和水 762 g。

表 4 二化螟人工饲料正交试验各因子的优水平组合

指标	优水平组合
幼虫历期	A ₁ B ₂ C ₁ D ₂ E ₂ F ₂ G ₁ H ₁ I ₂ J ₂ K ₁ L ₂ M ₂ N ₂ O ₁
成活率	A ₁ B ₁ C ₂ D ₁ E ₁ F ₁ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂ K ₂ L ₂ M ₂ N ₁ O ₁
化蛹率	A ₁ B ₂ C ₂ D ₁ E ₂ F ₁ G ₂ H ₂ I ₁ J ₂ K ₂ L ₁ M ₂ N ₁ O ₁
蛹重	A ₁ B ₁ C ₂ D ₁ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₁ K ₁ L ₁ M ₁ N ₁ O ₁
羽化率	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ E ₂ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂ K ₂ L ₁ M ₁ N ₁ O ₁
整体发育	A ₁ B ₁ C ₂ D ₁ E ₂ F ₁ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂ K ₂ L ₂ M ₂ N ₁ O ₁

3 小结与讨论

(1)本试验应用正交试验,设计出一种新的二化螟人工饲料。该饲料综合多数较成功的二

化螟人工饲料,同时添加 2 种新的成分,因此,成分比较复杂,营养比较全面。同时本试验从该饲料的 15 种成分中筛选出 5 种影响二化螟发育的关键因子,这在二化螟人工饲料的设计上还是第 1 次。

(2)试验结果表明,饲料中的不同成分影响二化螟发育的不同方面,说明二化螟在不同的发育阶段对营养成分的需求不同。所以本试验的结果可以指导我们在二化螟发育的不同阶段添加不同的饲料成分。

(3)本试验设计的二化螟人工饲料只是一个初步的配方,其中的 5 个关键因子仍需做进一步的优化,为此作者进行 5 因子 4 水平[L₁₆(4⁵)] 的第 2 次正交试验,对这 5 个关键因子做进一步优化,得出该饲料的优化配方,同时作者将此优化的配方与其它较成功的二化螟人工饲料进行饲养效果的比较试验,得到很理想的结果。限于本文篇幅,将另文发表。

参 考 文 献

1 王延年,郑忠庆,周永生. 昆虫人工饲料手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1984.

2 忻介六,苏德明. 昆虫、螨类和蜘蛛的人工饲料. 北京: 科学出版社, 1979.

3 忻介六,邱益三. 昆虫、螨类和蜘蛛的人工饲料(续篇). 北京: 科学出版社, 1986.

4 尚稚珍,王银淑,邹永华. 昆虫学报, 1979, 22(2): 164 ~ 167.

5 尚稚珍,王银淑. 昆虫知识, 1984 21(1): 5 ~ 9.

6 王延年. 昆虫知识, 1990, 27(5): 310 ~ 314.

7 方杰,朱麟,杨振德,赵博光. 四川林业科技, 2003, 24(4): 18 ~ 26.

8 刘慧敏,李闪红,王满园,王雪峰,张国安. 昆虫知识, 2005, 42(6): 714 ~ 716.

《农业科研经济管理》征订启事

《农业科研经济管理》(季刊)是一本以农业科研单位、农业院校、农业政策、咨询部门的管理、科研、开发等人员为主要读者对象的综合性专业刊物。着重刊登农业科研经济管理理论的最新研究成果,报导农业科研经济管理建设的实践与经验。

《农业科研经济管理》杂志为国内外公开发行的刊物,大 16 开本,48 页。每册定价 3.50 元,全年每套 14 元。

订阅款请汇寄北京市海淀区中关村南大街 12 号《农业科研经济管理》发行组。地址: 北京海淀区中关村南大街 12 号,邮编: 100081。也可通过银行汇款,开户行: 农行北京北下关支行,帐号: 050601040011896,单位名称: 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所。电话: (010) 68919647 68919628 68919637,传真: 68919647 68919637。邮发代号: 80-301