

桃蚜诱捕色板的青-洋红-黄-黑四色模式优化^{*}

付国需 李为争 安靖靖 王英慧 原国辉^{**}

(河南农业大学植物保护学院 郑州 450002)

CMYK four-color mode optimization of colour board for trapping *Myzus persicae*. FU Guo-Xu, LI Wei-Zheng, AN Jing-Jing, WANG Ying-Hui, YUAN Guo-Hui^{**} (College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Quantitative bioassays on selection responses of alate *Myzus persicae* (Sulzer) to CMYK, the colour mixture of cyan, magenta, yellow and black, were conducted using computer simulated colours, designed with the orthogonal optimization method. Results of the first experiment using $L_{25}(5^6)$ array design showed that the factorial effects were as follows: $Y > M > K > C$. The best theoretical mixed colour parameters were $C = 25\%$, $Y = 25\%$, $M = 100\%$, $K = 0$, and the leaf colour competitive coefficient (LCC) of alate *M. persicae* to this mixed colour reached up to 77.78%. Results of the second experiment using $L_{16}(4^5)$ array design showed that all the CMYK parameters have not significant effect on LCC values of the simulated colour, when the C , M , Y and K values were in the ranges of $C \in [10\%, 40\%]$, $M \in [10\%, 40\%]$, $Y \in [85\%, 100\%]$, and $K \in [0, 15\%]$ respectively. The regression equation of LCC with yellow component and black component was $LCC = 0.0390Y^2 - 0.1875Y + 0.5591$ ($R^2 = 0.9913$) and $LCC = 0.0163K^2 - 0.1237K + 0.6176$ ($R^2 = 0.7926$), respectively.

Key words *Myzus persicae*, simulated colour board, trap, orthogonal optimization

摘 要 采用计算机模拟混色技术,结合正交设计,定量测定了有翅桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 对青(C)、洋红(M)、黄(Y)和黑(K)4色成分模式混合色的选择性反应。第1组 $L_{25}(5^6)$ 试验结果表明,因子效应顺序为: $Y > M > K > C$ 。最佳理论混合色参数为 $C = 25\%$ 、 $Y = 25\%$ 、 $M = 100\%$ 、 $K = 0$,模拟色板的叶色竞争系数(LCC)达 77.78%。第2组 $L_{16}(4^5)$ 正交试验结果表明,当 C、M、Y、K 分别在 10% ~ 40%、10% ~ 40%、85% ~ 100% 和 0 ~ 15% 区间变化时,对所有处理的叶色竞争系数均无显著影响。模拟色板叶色竞争系数与黄色成分和黑色成分的回归方程分别为 $LCC = 0.0390Y^2 - 0.1875Y + 0.5591$ ($R^2 = 0.9913$) 和 $LCC = 0.0163K^2 - 0.1237K + 0.6176$ ($R^2 = 0.7926$)。

关键词 桃蚜,模拟色板,诱捕,正交优化

色板诱杀是监测害虫种群动态、控制害虫种群数量的有效方法^[1]。不同昆虫对不同颜色有特异性的选择和偏好^[2],其中蚜虫、粉虱、潜蝇、蓟马等小体害虫尤其偏好黄色^[3]。近年来,为了提高粘虫黄板的诱虫效果,国内外对黄板的颜色、悬挂高度、悬挂方向、粘着剂种类、不同时间诱虫效果等进行了广泛的探讨^[4-7],其中颜色的筛选是其他试验的基础,但由于染料种类的限制,可供选择的颜色种类较少,且光

谱成分混杂,致使试验结果可比性较差,甚至相互矛盾。如有的结果表明柠檬黄色诱蚜效果最好^[8],有的结果认为黄绿色诱蚜效果最好^[9],也有的结果表明深黄色诱蚜效果最好^[10]。显然,按照害虫的视觉特点,探讨害虫对颜色偏好

^{*} 资助项目:农业部科技成果转化项目(2005-293)。

^{**} 通讯作者, E-mail: hnnndygh@126.com

收稿日期: 2009-05-27, 修回日期: 2010-02-01

性的定量指标,对于优选诱虫色板颜色和提高诱杀效果具有重要的意义。

害虫对色彩的趋性本质上是一种趋光性,这种趋性是通过其视觉器官中的感光细胞对光波产生感应而作出的趋向反应^[11]。研究表明,桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 的视觉系统由紫外光感受器、蓝光感受器和绿光感受器组成,分别对 320 ~ 330 nm 的紫外光 (UV)、440 ~ 480 nm 的蓝光 (B) 和 530 nm 的绿光 (G) 敏感^[12]。根据色彩视觉理论,最终的色觉是不同光感受器不同程度同时活动产生的结果^[13],取其各类光感受器反应最敏感波长的光线混合,可获得与单色光等同的视觉识别效应^[14]。随着计算机技术的发展,在 24-bit 三原色 (红 red, 绿 green, 蓝 blue, RGB) 模式下,显示器可数字化地表征 160 000 种颜色,这就使利用计算机模拟混色定量研究昆虫对复合光的趋性成为可能^[15]。但对于趋色光研究来说,由于昆虫视觉系统感受到的色光是物体吸收特定光线后反射出来的混合色光,与一般的趋光性不同,所以直接采用接近自然的 RGB 模式色彩并不能准确评价昆虫的趋向反应,且制作色板时需要转化成青色 (Cyan, C)、洋红色 (Magenta, M)、黄色 (Yellow, Y) 和黑色 (Black, K) “印刷四分色”模式才能涂布或印刷。因此,本文设计了专用的生物测定装置,采用正交设计测定了桃蚜对不同 CMYK 模式复合色的趋向反应,期望为诱虫色板的优化和深入研究蚜虫等小体昆虫的趋色光行为提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试桃蚜

从河南农业大学科教园区烟田采集桃蚜,在 $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、70% RH 的条件下用盆栽烟草饲养。为避免直接挑取蚜虫时粘附叶面挥发物或引起蚜虫释放报警信息素,每次试验前将带有蚜虫的烟叶放入市售黄盘中让其自由扩散,然后用软毛刷将分散到盘内的桃蚜装入吸虫器内,暗适应 2 h 后再进行生物测定。

1.2 生测装置

采用高 2.5 cm、底面直径 20.0 cm 的石英生测盘,侧面外部用黑色喷漆涂黑,底面正中绘 1 个直径 4.0 cm 的小圆作为蚜虫释放区,其余部分等分为 4 个扇区,交叉设置,分别作为处理区和对照区 (图 1)。

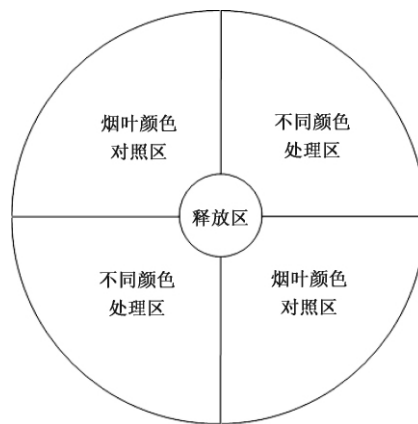


图 1 蚜虫颜色选择行为生物测定装置底面观

1.3 试验设计

试验分 2 组进行。第 1 组试验采用 L_{25} (5^6) 正交设计,第 2 组试验采用 L_{16} (4^5) 正交设计,试验因素为 C、M、Y、K 百分度,由 Adobe Photoshop 软件定义,以烟草顶叶数码图片的颜色为对照 (各因素设置水平见表 1 和表 2)。

1.4 模拟混色

1.4.1 计算机显示器调试 用配置 GeForce GTX280 型显卡的 19 英寸 Philips 190SW8 显示器提供光源。在显示器面板上将亮度和对比度均设为 40%,色温设为 6 500 K;然后在“显示属性”中将分辨率设置为 $1\,440 \times 960$ 像素,颜色质量设置为最高质量 32-bit,刷新率设置为 75 Hz。最后按照“Atrise Lutcurve User Manual”操作说明,用 LUT curve 1.2.1 软件进行精确校正。

1.4.2 对照烟叶颜色获取 在田间自然光照条件下,用 Nikon D 80 型数码相机获取烟草顶部叶片图像,输入电脑作为对照区颜色。

1.4.3 CMYK 画布创建 在 Windows XP 环境下运行 Adobe Photoshop CS4,创建 16-bit 的 CMYK 画布 (白色背景,50% 亮度,颜色配置文件为“Japan Color 2001 Coated”)。在画布上绘

制 1 个与石英生测盘底部大小及分区均相同的圆,中央释放区为白色。然后圈选烟叶图像并填充到 2 个对照扇区;再点击“前景色”,在调色面板中输入设定的 CMYK 值,用“油漆桶”工具分别填充到 2 个处理扇区。

1.5 生物测定

测定时将显示器水平放置,将生测盘放在对应的绘图区内。然后用吸虫器将 15 头供试蚜虫吹入释放区,迅速用内嵌的玻璃板盖上生测盘,并加盖遮光纸。20 min 后观察记录各扇区内的桃蚜数量,若释放区内滞留的蚜虫超过 3 头,则更换蚜虫重新测定。每个颜色参数组合均重复 3 次,每次测定 15 头有翅成蚜。每次测定后均需更换蚜虫,再进行下一次测定。

1.6 数据分析

采用叶色竞争系数 (Leaf colour competitive coefficient, LCC) 作为评价指标,计算公式如下:

$$LCC = \frac{\text{处理区蚜虫数量}}{\text{处理区蚜虫数量} + \text{对照区蚜虫数量}}$$

因原始数据符合二项分布,故将数据经反正弦平方根转换后进行方差分析,并计算 LCC 与 C、M、Y、K 颜色成分的回归方程。

2 结果与分析

2.1 不同模拟色板的叶色竞争系数比较

$L_{25}(5^6)$ 正交试验设计 25 种模拟色板的叶色竞争系数及方差分析结果见表 1 和表 2。从表中可以看出,9 号模拟色板 ($C = 25\%$, $M = 75\%$, $Y = 100\%$, $K = 0$) 的叶色竞争系数最大,平均达 0.4429;4 种颜色参数水平变化引起的

极差均大于 2 个空白列中较大的极差 (0.2879)。根据极差比较得出因子效应顺序为: $Y > M > K > C$,理论上最佳色板的参数应为: $C = 25\%$, $M = 25\%$, $Y = 100\%$, $K = 0$ 。用此模拟色板进行验证试验,其叶色竞争系数均值达 77.78%,明显优于第 1 组正交试验的 25 种模拟色板。方差分析结果表明,4 种颜色参数中, Y 值水平的变化对叶色竞争系数的影响达显著水平。

根据上述理论色板参数,缩小模拟色板的参数选择范围进行第 2 组 $L_{16}(4^5)$ 正交试验,结果表明 (表 3),因子极差以空白列最大,达 0.8840,而 C、M、Y、K 引起的极差均小于空白列。方差分析表明 (表 4),当 C 在 10% ~ 40%、M 在 10% ~ 40%、Y 在 85% ~ 100%、K 在 0 ~ 15% 范围内变动时,对叶色竞争系数的影响均无显著性差异,说明桃蚜所偏好颜色的 CMYK 的值不会收敛于一点,而在一定的范围内变化。

2.2 颜色参数对叶色竞争系数的影响效应比较

绘制 CMYK 颜色参数对叶色竞争系数的影响图 (图 2),从图中可以看出,青色色度与叶色竞争系数呈单峰反应曲线,色度值为 25% 时叶色竞争系数最高;黄色色度与叶色竞争系数大致表现出正相关关系,黑色色度值则与叶色竞争系数大致表现出负相关关系,而洋红色色度与叶色竞争系数的关系不甚明确。分别计算模拟色板叶色竞争系数与黄色成分和黑色成分的二次回归方程,得到 $LCC = 0.0390 Y^2 -$

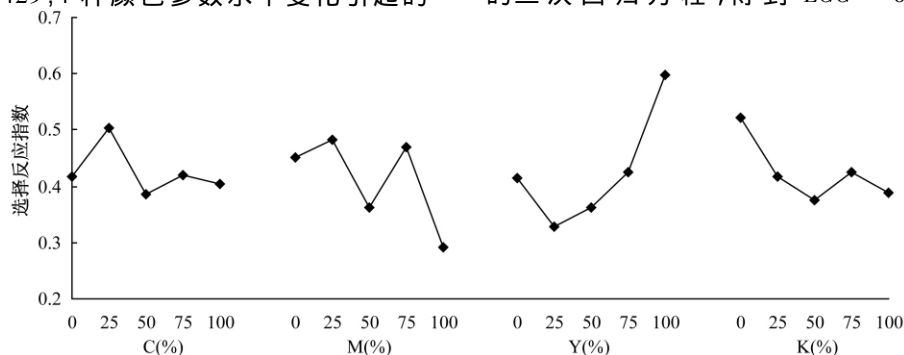


图 2 各颜色参数对叶色竞争系数的影响效应

表 1 L₂₅(5⁶) 正交设计模拟色板的叶色竞争系数

处理 编号	CMYK 模拟色组成				空白列		叶色竞争系数			
	C(%)	M(%)	Y(%)	K(%)	1	2	I	II	III	平均
1	0	0	0	0	1	1	0.2941	0.3333	0.2667	0.2980
2	0	25	25	25	2	2	0.2667	0.1765	0.2500	0.2310
3	0	50	50	50	3	3	0.2308	0.0714	0.1765	0.1596
4	0	75	75	75	4	4	0.3529	0.2000	0.2857	0.2796
5	0	100	100	100	5	5	0.2308	0.2857	0.3333	0.2833
6	25	0	25	50	4	5	0.2500	0.2000	0.3077	0.2526
7	25	25	50	75	5	1	0.3571	0.2000	0.3846	0.3139
8	25	50	75	100	1	2	0.3333	0.2500	0.3077	0.2970
9	25	75	100	0	2	3	0.4000	0.5000	0.4286	0.4429
10	25	100	0	25	3	4	0.2857	0.1333	0.2000	0.2063
11	50	0	50	100	2	4	0.0714	0.2500	0.1667	0.1627
12	50	25	75	0	3	5	0.3529	0.3333	0.3333	0.3399
13	50	50	100	25	4	1	0.3333	0.3571	0.3333	0.3413
14	50	75	0	50	5	2	0.3333	0.1579	0.3077	0.2663
15	50	100	25	75	1	3	0.0000	0.0667	0.0667	0.0444
16	75	0	75	25	5	3	0.1333	0.2857	0.3333	0.2508
17	75	25	100	50	1	4	0.3571	0.2308	0.4286	0.3388
18	75	50	0	75	2	5	0.2857	0.2500	0.2000	0.2452
19	75	75	25	100	3	1	0.2308	0.3125	0.0588	0.2007
20	75	100	50	0	4	2	0.1250	0.3529	0.2000	0.2260
21	100	0	100	75	3	2	0.4500	0.2941	0.4286	0.3909
22	100	25	0	100	4	3	0.3333	0.0769	0.2667	0.2256
23	100	50	25	0	5	4	0.3158	0.1765	0.2857	0.2593
24	100	75	50	25	0	100	0.1667	0.2308	0.2727	0.2234
25	100	100	75	50	25	0	0.1333	0.1429	0.0588	0.1117
T1	1.2515	1.3550	1.2416	1.5661	1.2017	1.2656				
T2	1.5127	1.4493	0.9881	1.2528	1.1935	1.4112				
T3	1.1546	1.3024	1.0855	1.1289	1.2974	1.1233				
T4	1.2615	1.4128	1.2789	1.2741	1.3250	1.2468				
T5	1.2109	0.8717	1.7971	1.1693	1.3736	1.3443				
R	0.3581	0.5776	0.8090	0.4371	0.1801	0.2879				

表 2 各颜色参数对叶色竞争系数影响的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F	F 临界值		显著性
					0.05	0.01	
C	0.0152	4	0.0038	0.7052	2.53	3.66	NS
M	0.0438	4	0.0110	2.0387	2.53	3.66	NS
Y	0.0784	4	0.0196	3.6467	2.53	3.66	*
K	0.0235	4	0.0059	1.0949	2.53	3.66	NS
e ₁	0.0144	8	0.0018				
e ₂	0.2973	50	0.0059				
e	0.3117	58	0.0054				

注:e₁ 和 e₂ 分别表示虚拟因素(空白列)引起的一类误差和重复试验引起的二类误差,e 表示二者合并的误差;* 和 ** 分别表示在 P=0.05 和 P=0.01 水平上具有显著性差异,NS(no significance)表示没有显著性差异。(下表同)

表 3 L₁₆(4⁵) 正交试验模拟色板的叶色竞争系数

处理 编号	CMYK 模拟色组成				空白列	叶色竞争系数			
	C(%)	M(%)	Y(%)	K(%)		I	II	III	平均
1	10	10	85	0	1	0.6000	0.4000	0.4667	0.4889
2	10	20	90	5	2	0.5625	0.6471	0.4211	0.5435
3	10	30	95	10	3	0.5556	0.5238	0.6667	0.5820
4	10	40	100	15	4	0.3077	0.3889	0.3636	0.3534
5	20	10	90	10	4	0.4118	0.3571	0.5000	0.4230
6	20	20	85	15	3	0.7692	0.5294	0.6250	0.6412
7	20	30	100	0	2	0.4615	0.5385	0.7143	0.5714
8	20	40	95	5	1	0.5000	0.4667	0.4667	0.4778
9	30	10	95	15	2	0.5333	0.5000	0.4286	0.4873
10	30	20	100	10	1	0.6000	0.5625	0.3125	0.4917
11	30	30	85	5	4	0.5000	0.2353	0.3333	0.3562
12	30	40	90	0	3	0.5556	0.6471	0.6923	0.6316
13	40	10	100	5	3	0.5263	0.8667	0.6250	0.6727
14	40	20	95	0	4	0.4444	0.5882	0.5000	0.5109
15	40	30	90	15	1	0.5000	0.5625	0.5263	0.5296
16	40	40	85	10	2	0.3889	0.2000	0.3571	0.3153
T1	1.9678	2.0718	1.8017	2.2029	1.9879				
T2	2.1134	2.1873	2.1278	2.0502	1.9176				
T3	1.9668	2.0393	2.0580	1.8120	2.5275				
T4	2.0285	1.7782	2.0892	2.0115	1.6435				
R	0.1466	0.4091	0.3261	0.3909	0.8840				

表 4 各颜色参数对叶色竞争系数影响的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F	F 临界值		显著性
					0.05	0.01	
C	0.0036	3	0.0012	0.0967	2.87	29.46	NS
M	0.0224	3	0.0075	0.6038	2.87	29.46	NS
Y	0.0164	3	0.0055	0.4418	2.87	29.46	NS
K	0.0194	3	0.0065	0.5239	2.87	29.46	NS
e ₁	0.1027	3	0.0342				
e ₂	0.3298	32	0.0103				
e	0.4325	35	0.0124				

$0.1875Y + 0.5591$ ($R^2 = 0.9913$) 和 $LCC = 0.0163K^2 - 0.1237K + 0.6176$ ($R^2 = 0.7926$)。可以看出,模拟色板的黄度和亮度越高,桃蚜对色板的选择性会越强。

3 小结与讨论

本文采用计算机模拟混色技术,结合正交设计方案,在室内定量测定了有翅桃蚜对 CMYK 模式混合色的选择反应,证明了不同模拟色板对桃蚜的叶色竞争系数与黄光相关性最强,找到了理论色板参数为青色 25%、洋红色

25%、黄色 100% 和黑色 0,其对应的三原色参数为红色 200、绿色 117 和蓝色 46。本试验中,烟草叶片色区与模拟混色色区的面积之比设计为 1:1,若进一步优化颜色参数,可通过减少处理与对照扇区的面积比来实现。

当然,由于室内试验是在屏蔽掉自然光线干扰的情况进行的,虽然可以加快色板的筛选进度,但需要在大田自然光背景下进行验证和优化。已有研究表明,采用白色染料对黄色进行梯度“稀释”后在大田进行诱捕试验,发现白色成分越少则诱捕效果越强^[16],可见“黑白度”

与“明暗度”是不同的概念。本研究也证明,模拟色板的黄度和亮度越高,桃蚜对色板的选择性会越强。因此,在田间进行诱捕时,应当考虑色板的褪色或变暗对诱捕效果的影响。

参 考 文 献

- 1 Hoddlea M. S. , Robinsona L. , Morganb D. Attraction of thrips (Thysanoptera: Thripidae and Aeolothripidae) to colored sticky cards in a California avocado orchard. *Crop Prot.* ,2002 ,**21**(5) :383 ~ 388.
- 2 Kelber A. Receptor based models for spontaneous colour choices in flies and butterflies. *Entomol. Exp. Appl.* ,2001 ,**99**(2) : 231 ~ 244.
- 3 傅建炜,徐敦明,吴玮,等. 不同蔬菜害虫对色彩的趋性差异. *昆虫知识* ,2005 ,**42**(5) :532 ~ 533.
- 4 Hassan A. A. , Mohammed A. D. Trapping efficiency of various colored traps for insects in cucumber crop under greenhouse conditions in Riyadh , Saudi Arabia. *Pakistan J. Biol. Sci.* ,2004 ,**7**(7) :1 213 ~ 1 216.
- 5 Döring T. F. , Kirchner S. M. , Kühne S. , *et al.* Response of alate aphids to green targets on coloured backgrounds. *Entomol. Exp. Appl.* ,2004 ,**113**(1) :53 ~ 61.
- 6 Harman J. A. , Mao C. X. , Morse J. G. Selection of colour of sticky trap for monitoring adult bean thrips , *Caliothrips fasciatus*. *Pest Manag. Sci.* ,2007 ,**63**(2) :210 ~ 216.
- 7 王晓青,张令军,郭喜红,等. 正交试验法研究黄板对3种温室西葫芦害虫的诱杀作用. *植物保护* ,2007 ,**33**(4) :112 ~ 115.
- 8 钱玉梅,王凤龙,秦焕菊,等. 烟蚜测报诱集方法的研究. *植物保护* ,2000 ,**26**(4) :10 ~ 12.
- 9 孙晓建. 蚜虫对不同颜色的趋向性试验研究. *植保技术与推广* ,2001 ,**21**(1) :12 ~ 13.
- 10 陈凤英,施伟韬,杨群林,等. 黄板诱杀蔬菜蚜虫初报. *江西植保* ,2003 ,**26**(4) :189 ~ 191.
- 11 张纯霄,杨捷. 害虫趋光性及其应用技术的研究进展. *华东昆虫学报* ,2007 ,**16**(2) :131 ~ 135.
- 12 Kirchner S. M. , Döring T. F. , Saucke H. Evidence for trichromacy in the green peach aphid , *Myzus persicae*. *J. Insect Physiol.* ,2005 ,**51**(11) :1 255 ~ 1 260.
- 13 何国兴. 颜色科学. 上海: 东华大学出版社 ,2004.
- 14 Alfvén R. L. , Fairchild. Observer variability in metameric color matches using color reproduction media. *Color Res. Appl.* ,1997 ,**22**(3) :174 ~ 188.
- 15 赵卫星,陈少波,姜红波,等. 茶蚜对不同 SPAD 值绿色的趋性. *生态学杂志* ,2007 ,**26**(11) :1 755 ~ 1 760.
- 16 Döring T. F. , Chittka L. Visual ecology of aphids—A critical review on the role of colours in host finding. *Arthropod. Plant. Inter.* ,2007 ,**1**(1) :3 ~ 16.