

桔园内多种天敌对桔全爪螨的控制作用

嵇庆才 赵志模 李隆术

(西南农业大学, 重庆, 630715)

5476.2

摘 要 本文应用二次回归旋转组合实验设计统计方法, 对桔园内主要天敌食螨瓢虫(*Stethorus chengi*)、长须螨(*Agistemus exsertus citri*)、尼氏钝绥螨(*Amblyseius nichols*)和普通钝绥螨(*Amblyseius vulgaris*)对桔全爪螨(*Panonychus citri*)的控制作用, 以及天敌与天敌之间、天敌与害螨之间的相互作用进行了研究。得出了这4种天敌对桔全爪螨的捕食量模型。并对模型进行主效分析, 表明桔全爪螨自身密度的大小对天敌的总捕食量影响最大。在这4种天敌中对总的捕食量影响最大的是食螨瓢虫, 其次为长须螨, 尼氏钝绥螨再次之, 普通钝绥螨的影响最小。对各天敌间交互作用的分析表明, 天敌个体大、活动能力强、捕食量大, 他们的种内种间干扰程度也大, 特别是食螨瓢虫种内种间干扰十分明显。其次为长须螨, 而尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的种内种间干扰较弱, 在密度较低时, 他们还表现出相互促进的作用。最后本文还讨论了这4种天敌能有效地控制桔全爪螨的最大密度, 以及在该密度下各种天敌密度的最佳组合。

关键词: 柑桔, 桔全爪螨, 生物防治, 种间关系。

桔全爪螨(*Panonychus citri*)是柑桔的重要害虫之一。它造成的经济损失在10%—30%之间^[1], 严重威胁着柑桔的生产。近年来人们积极开展了桔全爪螨生物防治基础理论的研究^[2], 以期建立起捕食者-猎物关系的数学模型来预测天敌对桔全爪螨的控制作用。在桔园生态系统中桔全爪螨有多种天敌。天敌与天敌之间, 天敌与害螨之间形成的极其复杂的网络关系, 构成了多种天敌与桔全爪螨种群的共存系统。为了揭示该系统中各物种之间的相互关系, 本研究采用了二次回归旋转组合实验设计统计方法对重庆地区桔园内主要天敌食螨瓢虫(*Stethorus chengi*), 长须螨(*Agistemus exsertus citri*)、尼氏钝须螨(*Amblyseius nichols*)和普通钝绥螨(*Amblyseius vulgaris*)对桔全爪螨(*Panonychus citri*)的控制作用进行了研究。建立了桔全爪螨与这4种捕食性天敌共存系统的数学模型。应用该模型不仅可根据田间调查得到的各种天敌及桔全爪螨密度估计其天敌对该害螨的自然控制作用, 而且还可借以分析天敌之间的交互作用。并提出多种天敌对害螨控制系统中各天敌密度的最佳组合。

1 材料与方 法

本实验以桔全爪螨若螨和它的主要捕食性天敌食螨瓢虫成虫、尼氏钝绥螨、长须螨和普通钝绥螨若螨作为种群共存系统组合研究的对象。所有天敌和害螨均从田间采集获得。在实验前各虫种均选用大小比较一致的个体。天敌先饱食24h, 然后饥饿24h以保证它们基本处于相同的饥饿水平。然后选用所需虫螨态及种类按五因子五水平二次回归旋转组合实验设计结构矩阵中各天敌和桔全爪螨的数量组合^[3], 把虫螨接入钟罩内的柑桔树枝上。所有树枝均保留3张干净叶片, 总面积均为70cm², 柑桔树枝插在一个装有水的罐头瓶中。实验进行24h后检查桔全爪螨被食量, 以及天敌死亡情况。实验组合(表2)的1—26号重复2次, 27—36不再设重复。所有桔全爪螨密度均设有不接天敌的空白对照以校正桔全爪螨被天敌杀

* 国家自然科学基金资助项目。

本文于1991年9月15日收到, 修改稿于1992年8月10日收到。

死的数量。实验在日光温湿培养室内进行。温度为 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，光周期为16h光照、8h黑暗。各物种的密度与编码值的关系见表1。表中编码值 P 或 X 与密度 P' 或 X' 的关系可用下式表示： $P_1 = P'_1 - 2$ ， $P_2 = P'_2 - 2$ ， $P_3 = P'_3 - 2$ ， $P_4 = P'_4 - 2$ ， $x = (\ln(x') - 2.9957)/0.6932$ 。

2 结果分析

2.1 数学模型的建立

试验设计结构矩阵及结果列于表2。应用STATGRAPHICS统计软件包进行多元统计分析。

表2 5物种共存系统试验设计结构矩阵及结果
Table 2 Structural matrix and results of the 5 species co-existent system

组合No.	P_1	P_2	P_3	P_4	X	Y	模型 Y'
1	-1	-1	-1	-1	1	24	24.6
2	-1	-1	-1	1	-1	4	3.4
3	-1	-1	1	-1	-1	5	4.3
4	-1	-1	1	1	1	25	25.1
5	-1	1	-1	-1	-1	5	4.0
6	-1	1	-1	1	1	25	24.0
7	-1	1	1	-1	1	25	25.5
8	-1	1	1	1	-1	7	6.4
9	1	-1	-1	-1	-1	7	5.9
10	1	-1	-1	1	1	29	28.8
11	1	-1	1	-1	1	20	20.4
12	1	-1	1	1	-1	8	5.3
13	1	1	-1	-1	1	29	20.1
14	1	1	-1	1	-1	7	6.1
15	1	1	1	-1	-1	7	5.9
16	1	1	1	1	1	31	30.8
17	-2	0	0	0	0	8	8.3
18	2	0	0	0	0	13	14.1
19	0	-2	0	0	0	11	11.5
20	0	2	0	0	0	12	13.0
21	0	0	-2	0	0	12	13.0
22	0	0	2	0	0	14	14.5
23	0	0	0	-2	0	13	13.5
24	0	0	0	2	0	13	13.5
25	0	0	0	0	-2	3	5.7
26	0	0	0	0	2	51	49.8
27	0	0	0	0	0	13	13.8
28	0	0	0	0	0	13	13.8
29	0	0	0	0	0	15	13.8
30	0	0	0	0	0	13	13.8
31	0	0	0	0	0	14	13.8
32	0	0	0	0	0	14	13.8
33	0	0	0	0	0	14	13.8
34	0	0	0	0	0	15	13.8
35	0	0	0	0	0	14	13.8
36	0	0	0	0	0	14	13.8

表1 5物种的编码值与其密度的关系

Table 1 The relationship between the code value of the 5 species and their densities

编码值 Code value	-2	-1	0	1	2
食螨瓢虫 P_1	0	1	2	3	4
长须螨 P_2	0	1	2	3	4
尼氏钝绥螨 P_3	0	1	2	3	4
普通钝绥螨 P_4	0	1	2	3	4
桔全爪螨 X	5	10	20	40	80

分析。得出桔全爪螨若螨被捕食量与各天敌因素关系的数学模型为：

$$\begin{aligned}
 y = & 13.7569 + 1.4583P_1 + 0.3750P_2 \\
 & + 0.3750P_3 + 0.1250P_4 + 11.0417x \\
 & - 0.0625P_1P_2 - 0.1875P_1P_3 \\
 & - 0.0625P_1P_4 + 0.8125P_1x \\
 & + 0.1875P_2P_3 + 0.3125P_2P_4 \\
 & - 0.0625P_2x + 0.1875P_3P_4 \\
 & + 0.0625P_3x + 0.1875P_4x \\
 & - 0.6354P_1^2 - 0.3854P_1^3 - 0.0104P_1^4 \\
 & - 0.0104P_1^5 + 3.4896x^2 \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 x 分别为食螨瓢虫、长须螨、尼氏钝绥螨、普通钝绥螨和桔全爪螨的编码值， Y 为桔全爪螨被捕食量。经 F 检验，该回归方程达极显著水平($p < 0.01$)，相关系数为0.99。说明该模型能很好地拟合观察值。从表2也可看出该模型的预测值与观察值非常相近。回归系数的 t 检验表明，达到10%和接近10%显著水平的有 b_0 、 b_1 、 b_{11} 、 b_{22} 、 b_{23} 、 b_{15} 、 b_2 、 b_3 ，其中达到1%显著水平的有前6个，达到5%显著水平的有前7个。

2.2 数学模型的分析

2.2.1 主效分析 由于二次回归旋转组合设计对平方和实行了中心化线性代换，满足试验的正交性，模型中各项效应线性可加，偏回归系数间彼此独立。因此可以采用降维方法固定4个变量于0水平，从模型1得到

桔全爪螨被捕食量与4种天敌主效反应的函数关系式:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= 13.7569 + 1.4583P_1 - 0.6354P_1^2 \\ Y_2 &= 13.7569 + 0.3750P_2 - 0.3854P_2^2 \\ Y_3 &= 13.7569 + 0.3750P_3 - 0.0104P_3^2 \\ Y_4 &= 13.7569 + 0.1250P_4 - 0.0104P_4^2 \\ Y_5 &= 13.7569 + 11.0417x + 3.4896x^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

上述函数关系的二维坐标图如图1, 图中食螨瓢虫(P_1)和长须螨(P_2)随着本身密度的增加, 对桔全爪螨的捕食量也随之增加, 其增加的速度以食螨瓢虫为最快, 长须螨次之。而尼氏钝绥螨和普通钝绥螨对桔全爪螨捕食量的关系曲线较平直, 且增加速度都较缓慢, 尼氏钝绥螨增加速度略高于普通钝绥螨。这说明食螨瓢虫对桔全爪螨的被捕食量影响最大, 其次是长须螨, 尼氏钝绥螨再次之, 而普通钝绥螨的影响最弱。另外根据模型1, 如固定一种天敌密度的编码值为0水平(即2头/枝), 而其余的天敌编码值为-2(即0头/枝), 计算它们在桔全爪螨密度编码值为0水平时(即20头/枝)的捕食量, 得出食螨瓢虫、长须螨、尼氏钝绥螨和普通钝绥螨对桔全爪螨的捕食量分别为: 13.13头, 6.97头, 6.47头和4.97头。这说明食螨瓢虫不仅对桔全爪螨的被捕食量影响最大, 而且对桔全爪螨捕食量的绝对值也最大。这与对单种天敌进行功能反应研究的结果一致。在相同叶面积, 相同空间, 相同猎物情况下, 食螨瓢虫的搜索力 $\alpha_1 = 6.20$, 长须螨 $\alpha_2 = 3.21$, 尼氏钝绥螨 $\alpha_3 = 1.34$, 普通钝绥螨 $\alpha_4 = 0.68$ 。食螨瓢虫、长须螨等4种天敌对桔全爪螨总的捕食量有很大的影响, 但桔全爪螨自身密度对这4种天敌总的捕食量影响更大, 超过任何一种天敌的作用。这从模型2中桔全爪螨被捕食量 Y 与桔全爪螨密度 X 的关系式中一次项系数和二次项系数均大于这4种天敌的一次项和二次项系数值可清楚地看出这一点。从图1可看出, 当桔全爪螨密度低于10头/枝(编码值为-1)时, 对被食量的影响较小, 曲线的下半部较平直。当密度高于10时, 被食量几乎呈直线上升。但从桔全爪螨密度与被食量的百分率来看, 当桔全爪螨密度低于10头/枝(即编码值为-1)时, 捕食率很高, 特别是当桔全爪螨密度低于5头, 天敌密度又较高时, 害螨被食率达90%以上, 甚至桔全爪螨还有绝灭的危险。当桔全爪螨在密度为10—30头/枝之间(图2), 被食百分率又呈上升趋势, 而超过30头/枝则呈下降趋势, 并且随着密度增加这种下降程度更大。这也可能是当害虫种群暴发时天敌不能有效地控制害螨的原因之一。

2.2.2 交互效应分析 在复杂的桔园生态系统中物种之间、同一物种的不同个体间相互联系相互制约, 形成了一个综合作用的有机整体。从图1可以看出食螨瓢虫(P_1)和长须螨(P_2), 随着本身密度的增加, 它们对桔全爪螨总的捕食量也随之增加, 最后分别在编码值为1和0左右时达到最大值, 超过该密度捕食量反而下降。这说明食螨瓢虫和长须螨同种的不同个体间存在着相互干扰, 干扰程度随着本身密度的增加而增加。从相关系数也可以看出(模型2)同种天敌不同个体间的相关系数均为负值, 说明同种不同个体间为负交互作用即相互干扰。特别是食螨瓢虫和长须螨的同种不同个体间的干扰较为突出, 达到10%的显著水平。这也可能是田间这两种天敌的数量都很少的原因之一。而尼氏钝绥螨和普通钝绥螨同种不同个体间的相关系数尽管也为负, 但值很小(-0.0104), t 检验也不显著, 因而在图1中捕食量基本上一直是随着自身密度的增加而增加, 但增加的速度均较缓慢。说明它们对桔全爪螨的被捕食量影响不大, 个体间干扰程度较弱, 这也可能是这两种天敌在田间的数量都很

高的原因之一。

同种天敌不同个体间的相互作用较为复杂,但不同种天敌之间的作用更为复杂。有的种之间相互抑制,有的种之间相互促进,并且在不同天敌密度情况下这种作用又不完全一样。从图3可以看出,在该多种天敌害螨共存系统中,天敌与天敌之间,天敌与害螨之间的关系大致有以下几种情况。

图3 A—C,食螨瓢虫与其他3种天敌(长须螨,尼氏钝绥螨,普通钝绥螨)的作用。随着天敌密度的增加,它们对桔全爪螨的捕食量也随之增加,食螨瓢虫和长须螨在编码值为1左右时达到最大值,超过该密度由于天敌个体间的相互干扰程度增强其捕食量反而下降。食螨瓢虫和尼氏钝绥螨,食螨瓢虫和普通钝绥螨分别在坐标($P_1=1$, $P_3=2$), ($P_1=1$, $P_4=2$)时捕食量达到最大。从反应面上天敌密度的增加与其捕食量增加的关系来看,食螨瓢虫(P_1)密度的增加对捕食量影响最大,其次是长须螨,而尼氏钝绥螨与普通钝绥螨的影响较小。这与主效分析的结果相一致。

图3 D—E,长须螨与尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的作用。随着天敌密度的增加长须螨与尼氏钝绥螨以及长须螨与普通钝绥螨分别在($P_2=1$, $P_3=2$)和($P_2=1$, $P_4=2$)时捕食量达到最大值。从反应面可以看出长须螨的密度超过3时(编码值 $P_2=1$),其捕食量明显下降,特别是当尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的密度低于1时(编码值为-1),长须螨的捕食量在其密度大于2时就明显下降。这说明尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的存在可以减轻长须螨的种内干扰程度。尼氏钝绥螨和普通钝绥螨与捕食量的关系均是随着密度的增加其捕食量也增加,并且增加速度越来越快。这说明在本实验的天敌密度范围内(最大密度为4头/枝),它们还未表现出明显的干扰现象。

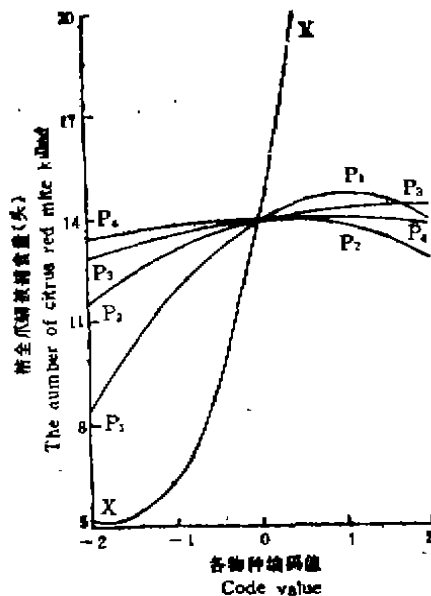


图1 桔全爪螨被食量与4种天敌的主效反应
Fig.1 The efficiency of each predator affecting the predation on citrus red mite
 P_1 : 食螨瓢虫, P_2 : 长须螨, P_3 : 尼氏钝绥螨, P_4 : 普通钝绥螨, X: 桔全爪螨

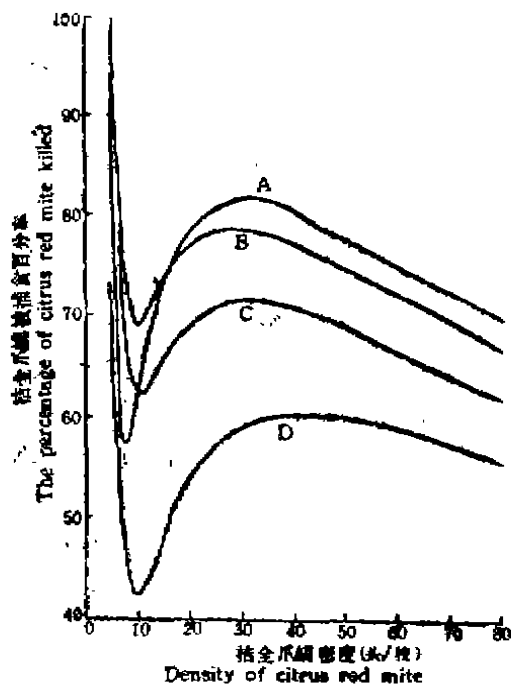


图2 桔全爪螨被捕食百分率与桔全爪螨密度的关系
Fig.2 The relationship between the percentage of citrus red mite killed and the density
A: 天敌密度均为4头/枝 B: 天敌密度均为3头/枝
C: 天敌密度均为2头/枝 D: 天敌密度均为1头/枝

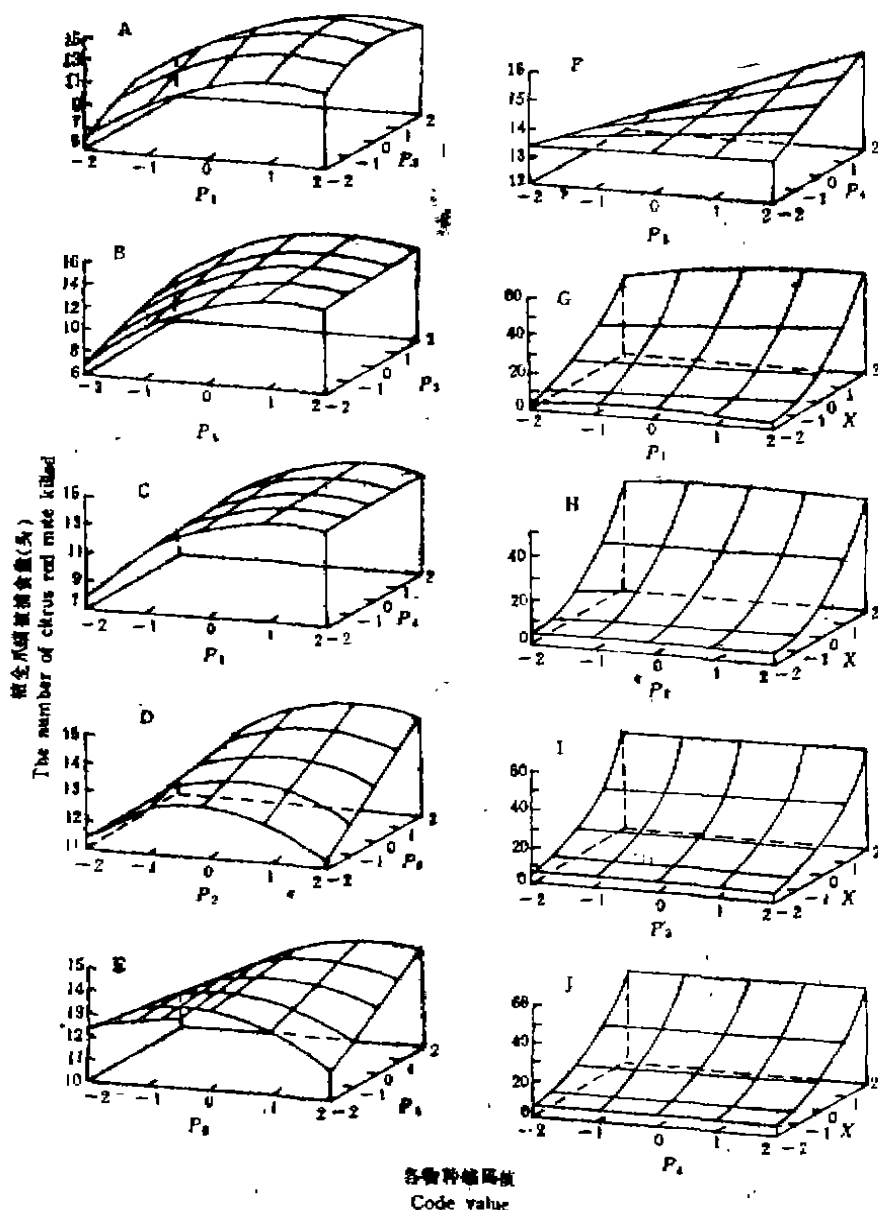


图 3 多物种共存系统中各物种之间交互作用下桔全爪螨被捕食量响应面
Fig.3 Response surface of the number of citrus red mite killed under the interaction between species in the multiple predator-prey system

P_1 : 食螨瓢虫(*S. chengi*), P_2 : 长须螨(*A. exsertus*), P_3 : 尼氏钝绥螨(*A. nichols*),
 P_4 : 普通钝绥螨(*A. vulgaris*), X : 桔全爪螨(*P. citri*)

图F, 尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的作用。随着两者密度的增加捕食量也随之增加, 增长率逐渐上升, 两种天敌之间似乎还有相互促进的作用, 并且捕食量的增加随天敌密度的增加越来越明显。这很可能是由于该实验所用的天敌密度很低, 每枝最多仅为4头。尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的活动能力较弱, 捕食量也较低, 因为在这样大一个空间中个体相遇的机率很小, 未表现出明显的相互干扰现象, 反而因竞争而促进了捕食。

图 G—J, 食螨瓢虫、长须螨、尼氏钝绥螨、普通钝绥螨与桔全爪螨相互作用的关系。从图中可明显地看出, 桔全爪螨密度对其天敌的捕食量影响明显, 随着桔全爪螨密度的增加, 天敌的捕食量明显增加, 并且增加速度随猎物密度的增加而增加。与桔全爪螨密度的影响相比, 各天敌密度对其捕食的影响就小得多, 因而各天敌密度与其捕食量的关系曲线就比较平直。

2.2.3 各种天敌密度的最佳组合 天敌只能在一定害螨密度范围内才能发挥有效的控制作用。天敌对害螨控制作用的大小不仅与它捕食的绝对数量有关, 而且还依赖于捕食率的高低。如本实验中当害螨密度为30头/枝时天敌对它的捕食率最高, 超过该密度时天敌对害螨的捕食率下降, 并且害螨密度增加越高, 捕食率下降越大, 以致天敌难以发挥有效的控制作用。因而以桔全爪螨密度为30头/枝为例探讨多种天敌发挥最大控制作用的密度组合。对模型1求各因素的一阶偏导数, 并设其为0, 整理后得下列方程组:

$$\left. \begin{aligned} -1.2708P_1 - 0.0625P_2 - 0.1875P_3 - 0.0625P_4 &= -1.9336 \\ -0.0625P_1 - 0.7708P_2 + 0.1875P_3 + 0.3125P_4 &= -0.3384 \\ -0.1875P_1 + 0.1875P_2 - 0.0208P_3 + 0.1875P_4 &= -0.4116 \\ -0.0625P_1 + 0.3125P_2 + 0.1875P_3 - 0.0208P_4 &= -0.2347 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

解此方程组得: $P_1 = 1.65$, $P_2 = -0.07$, $P_3 = -0.64$, $P_4 = -0.55$ 。即4种天敌, 食螨瓢虫、长须螨、尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的密度比例为3.7:1.9:1.4:1.5。此时天敌间相互干扰程度较弱, 对桔全爪螨的捕食量最高($Y = 23$)头, 其捕食率为76.7%。因而从最优控制角度来看, 当桔全爪螨密度一定时(如每枝30头)并非天敌越多越好。有些物种, 如食螨瓢虫、长须螨大量增多, 种内种间干扰增强, 从而削弱了天敌对桔全爪螨的控制作用。这在天敌保护、繁殖和释放时就应充分考虑到天敌的最佳比例, 不然会造成人力、物力和资源的浪费。天敌最优组合是一种理想情况。自然种群正好处于最优组合的情况是极少的。并且害虫种群数量发生变化时, 最佳组合的比例也会发生变化。因而进一步研究以指导害虫生物防治工作的实际开展具有十分重要的意义。

3 讨论

3.1 多种天敌对害虫相互作用系统的研究可以指导防治。主效分析表明实验中的5个因子都对桔全爪螨的被食量有着很大的影响。其中影响最大的是桔全爪螨自身的密度, 其次为食螨瓢虫, 这两者的影响都达到了极显著水平($p < 0.01$), 长须螨的作用次之, 尼氏钝绥螨的作用再次之。这两者的影响只达到38%的显著水平, 而普通钝绥螨对桔全爪螨的捕食能力最弱, 并且作用很不显著。因而在桔园桔全爪螨密度可被天敌有效地控制范围内, 进行天敌保护和释放时应重点考虑食螨瓢虫, 其次考虑长须螨和尼氏钝绥螨的作用。

天敌密度的最佳组合分析得出, 田间食螨瓢虫的量应多于其他各种捕食螨, 这样才能经济有效地控制桔全爪螨。重庆地区由于桔园内频繁地用药, 个体相对较大、捕食量较大、繁殖力较低的食品瓢虫种群受到很大抑制; 而个体较小、繁殖力较高的天敌和桔全爪螨的密度较高。在1990年重庆桔全爪螨大发生季节4—6月, 食螨瓢虫、长须螨、尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的比为2.3:3.5:13.2:3.3。这与最佳天敌密度的组合比例相差较大, 天敌难以经济有效地控制桔全爪螨种群, 不得不借助于化学防治, 从而形成恶性循环。因而重庆地区桔园生物防治中应积极开展食螨瓢虫的保护繁殖和利用以提高他们在田间的种群数量。

3.2 天敌间的相互作用强度大小与其个体大小、活动能力、捕食能力大小有关。天敌与天敌之间往往都要发生相互干扰, 但不同天敌间干扰程度不一样, 并且在不同密度情况下干扰程度大小也不一样。在图 3 中, 如果我们把相同天敌密度下的交互作用点联接起来, 可以看出随着天敌密度的增加其总的捕食量也增加。但当天敌密度超过 3 头/枝(编码值为 1)时, 其捕食量反而下降。其中下降程度最大的是图 A。其次为图 B 和图 C。因而可以得出食螨瓢虫同长须螨间的相互干扰作用最强, 食螨瓢虫同尼氏钝绥螨间干扰强度次之; 食螨瓢虫同普通钝绥螨的作用再次之; 长须螨同尼氏钝绥螨和普通钝绥螨的相互干扰作用都很弱(图 D、E), 因此随着天敌密度的增加, 其捕食量也随之增加, 并且增加速度越来越快。比较这些天敌的个体大小、活动能力大小以及捕食量大小可以得出天敌个体大, 活动能力强, 捕食量大, 则其相互干扰作用也越强。反之则相互干扰作用较弱。并且种内个体间的相互干扰作用也有同样的规律。从图 1 可以发现当天敌密度较高时, 食螨瓢虫个体间的相互干扰作用很强, 当编码值 > 1 时其总的捕食量急骤下降。长须螨个体间的相互干扰也较强, 当密度编码值大于 0 时其捕食量也随之下降。这主要是由于食螨瓢虫个体大, 活动能力较强, 特别是捕食量很大($a_1 = 6.2$), 所以随着密度的增加个体间相互干扰程度增强。长须螨个体尽管小, 但爬行能力特别强, 并且捕食量也较大($a_2 = 3.2$), 所以这两种天敌的种间干扰作用都很强。相应的它们与其他天敌间的干扰作用也较强。而尼氏钝绥螨和普通钝绥螨尽管爬行能力也较强, 个体大小与长须螨也差别不大, 但由于捕食量较低(分别为 $a_3 = 1.34$, $a_4 = 0.68$), 因而它们的种内种间相互干扰程度较弱。图 1 中尼氏钝绥螨与普通钝绥螨几乎随着密度的增长其捕食量也随之增长, 只是增长速度越来越慢。因而它们对其它天敌的干扰程度较弱, 特别是当这两种天敌同时出现时甚至还有相互促进作用。所以图 3-F 中表现出捕食量随天敌密度增加而增加。

3.3 密度相关、逆密度相关捕食率是一个普遍现象,害虫生物防治实践中应充分利用这一现象。Lessells^[4] (1985) 解释了形成密度相关、逆密度相关寄生率的原因。Iwasa et al^[5] (1981) 和嵇庆才^[6] (1988) 解释了形成密度相关、逆密度相关、密度无关捕食率的原因, 并指出当天敌密度一定时, 随着害虫密度的增加, 天敌对害虫的捕食率从密度相关转为逆密度相关。在这转变过程中有一个害虫密度阈值, 在这一点上其捕食率或寄生率最高, 低于这个值时捕食率或寄生率为密度相关, 高于这个害虫密度时, 其捕食率或寄生率为逆密度相关。在本实验中当桔全爪螨密度为 30 头/枝时, 天敌对害螨的捕食率最高, 超过这个值时其捕食率为逆密度相关。也就是说当桔全爪螨的密度超过 30 头/枝时, 现有天敌难以发挥有效的控制作用。因而就必须采用其它有效防治措施。当桔全爪螨密度低于这个值时, 现有天敌能有效地控制害螨, 就应充分发挥现有天敌的自然控制作用。

参 考 文 献

- [1] 陈杰林. 多因子经济阈值的研究——桔全爪螨经济阈值的进一步探讨. 西南农业大学学报, 1985, 23(3): 40—49
- [2] 黄明度等. 柑桔害虫综合治理论文集. 学术书刊出版社, 1989, 27—212
- [3] 萧兵, 钟俊维. 农业多因子实验设计与统计分析. 湖南科学技术出版社, 1986, 45—73
- [4] Lessells C M. Parasitoids foraging. Should parasitism be density dependent. *Journal of Animal Ecology*, 1985, 54: 27—41
- [5] Iwasa et al. Prey distribution as a factor determining the choice of optimal foraging strategy. *American Naturalist*, 1981, 117—123
- [6] 嵇庆才, Jervis M A. 黑肩绿盲蝽对不均匀分布猎物的捕食行为. 西南农业大学学报, 1988, 10(2): 245—252

FORAGING BEHAVIOR OF MULTI-PREDATORS FOR CITRUS RED MITE

Wei Qing-Cai Zhao Zhi-Mo Li Long-Shu

(Southwest Agricultural University, Chongqing, 430718)

The Foraging behavior of four predators(*Stethorus chenqi*, *Agistemus extertus*, *Amblyseius nichols*, *Amblyseius vulgaris*) for citrus red mite(*Panonychus citri*) was investigated, as well as how the interference among and within species occurs, by using the rotational composite design of quadratic regression. The predation model of the four predators to citrus red mite was obtained: $Y = 13.7569 + 1.4583P_1 + 0.3750P_2 + 0.3750P_3 + 0.1250P_4 + 11.0417X - 0.0625P_1P_2 - 0.1875P_1P_3 - 0.0625P_1P_4 + 0.8125P_1X + 0.1875P_2P_3 - 0.3125P_2P_4 - 0.0625P_2X + 0.1875P_3P_4 + 0.0625P_3X + 0.1875P_4X - 0.6354P_1^2 - 0.3854P_2^2 - 0.0104P_3^2 - 0.0104P_4^2 + 3.4896X^2$. The principal efficiency analysis on this model indicated that an increase in citrus red mite density has significantly increased the predation of predators on the pest mite and has a greater effect than any of predators. Among the four predators, an increase in *S. chenqi* density has the greatest effect on the increase of predation, *A. extertus* has the second, *A. nichols* the third and *A. vulgaris* the weakest. As the predator density increase, the inter- and intra-species interferences occur, which are largely related to the size, activity, and searching efficiency of the predators. *S. chenqi* has the greatest interference between different individuals and with any other predator species, and *A. extertus* has the second greatest, which reduced the predation in high predator densities. However, *A. nichols* and *A. vulgaris* have little interference in this experiment densities, they even promote each other and increase the predation as the densities of the two predators increase. Because of these, the highest predation were obtained in the prey density of 30 and the optimal proportion of the four predators in the multi-predator prey system were 3.7:1.9:1.4:1.5.

Key words: *Panonychus citri*, citrus pest mite biological control, intra-species relationship.