

# 蕾铃期繁殖器官的损失对棉花产量的影响

## ——人工模拟为害试验

陈法军, 戈 峰\*, 刘向辉

(农业虫害国家重点实验室, 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

**摘要:**1994、1995 连续两年在华北棉区第 3 代棉铃虫发生期间, 通过一系列人工摘蕾模拟为害和人工接虫为害试验, 研究了棉花对蕾铃期繁殖器官损失的补偿效应。试验结果表明: 蕾、铃被害会诱导棉株产生补偿效应, 即提高结铃数, 增加生物产量。但棉花的补偿效应是有限的, 蕾铃期单株被害蕾超过 12 个, 被害铃超过 4 个, 或被害超过 2 蕾 2 铃, 都会导致皮棉显著减产。通过数学模型分析, 1994 年, 单株被害 0~11.80 个蕾或 0~2.26 个铃都不会造成减产; 1995 年, 单株损失 0~10.58 个蕾或 0~3.8 个铃, 同样不会降低棉花产量。模型中各决策变量的边际产量表明, 棉花蕾铃期铃的损失对皮棉产量的影响最大。

**关键词:** 补偿效应; 模拟为害; 产量; 数学模型

## Effects of the loss of squares and bolls on the production of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) during the fruiting: manual simulation of damage

CHEN Fa-Jun, GE Feng\*, LIU Xiang-Hui (Key Laboratory of Integrated Management of Pests and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 744~750.

**Abstract:** Cotton, *Gossypium hirsutum* L. is an indeterminate perennial plant. The reproductive organs (squares, flowers and bolls) are successively produced as plants develop; meanwhile, many of the reproductive organs abort and fall off before the boll opens. However, those abortions do not result in yield loss but stimulate the plant produces compensation, even over-compensation to enhance lint yield. Therefore, the compensation ability of cotton could be considered as an important part of the integrated pest management (IPM). The experiment on the relationship between damage of pest and yield of lint indicates that simulative experiment by artificially damaging the plant is a feasible and efficacious method for studying compensation of cotton.

Two experiments were carried out to study the compensation of cotton for the losses of squares and/or bolls during fruiting stage in Rao-Yang County, Hebei Province, China in 1994 and 1995. In the 1st

**基金项目:** 国家重点基础发展规划(973)资助项目(G2000016209); 中国科学院知识创新工程方向性资助项目(KSCX2-01-02, KSCX2-sw-103); 国家自然科学基金资助项目(39970137)

**收稿日期:** 2002-01-08; **修订日期:** 2002-03-23

**作者简介:** 陈法军(1974~), 男, 山东济南人, 博士生, 主要从事昆虫生态学方面的研究。

\* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: gef@panda. ioz. ac. cn

**Foundation item:** the National Key Basic Research Project "973 Project" on pest management (Project G200016209) and Innovation Research of Chinese Academy of Science (Project KSCX2-01-02 and KSCX2-sw-103) and National Natural Science Foundation of China (39970137)

**Received date** 2002-01-08 **Accepted date:** 2002-03-23

**Biography:** CHEN Fa-Jun, Doctor candidate, Mainly engaged in the insect ecology.

experiment, the simulative damages on cotton were created by removing squares and/or bolls manually. There were nine treatments, three replications and 25 cotton plants per replication in the 1st experiment. In the 2nd experiments, the simulative damages on cotton were made by inoculating one 2nd-instar larva of *Helicoverpa armigera* per plant by hand. Three replications and 50 cotton plants per replication were designed in the 2nd experiments. In the control treatment, the fruits were not removed artificially. Three replications and 25 plants per replication were arranged in the control.

The results indicate that the cotton plants are induced to produce more bolls and biomass to compensate for the loss of squares or/and bolls. But the ability of cotton to compensate for the damage is finite. When the loss of fruits per plant is above 12 squares, or 4 bolls, or 2 squares and 2 bolls, the lint yields are all significantly reduced. A mathematic model was developed by a two-factor and quadratic regression analysis to express the relationship between the lint yield and the loss of squares or bolls. The results from the analysis with the model show that the lint yields did not decrease if the losses per plant are 0~11.80 squares or 0~2.26 bolls in the experimental conditions in 1994 and 0~10.58 squares or 0~3.8 bolls in the conditions in 1995. Furthermore, the analysis of edge-effect production with the model indicates that losses of bolls affect the lint yield stronger than the losses of squares during the fruiting.

**Key words:**cotton; compensation; artificial damage; yield; mathematic model

文章编号:1000-0933(2003)04-0744-07 中图分类号:S435.622 文献标识码:A

充分发挥作物的耐害补偿能力,是害虫生态调控的基础。在确定害虫对作物的经济为害水平的过程中,不但需要掌握害虫的取食行为特性、种群数量以及种群结构变化,而且还应对被取食作物的生理、生态特性有一个详尽的了解,尤其是抗虫、耐害能力<sup>[1]</sup>。棉花在蕾铃期损失一定数量的繁殖器官,不仅不会造成减产,反而会诱导棉株产生补偿效应<sup>[2~6]</sup>。因此,在分析棉田害虫对棉花生产造成的损失时,就不能单纯地以为害蕾、花、铃的多寡来衡量,而应同时考虑棉花的补偿效应<sup>[7,8]</sup>。在研究害虫为害与棉花产量之间的关系,以及确定棉花补偿能力方面,人工摘除蕾、铃模拟害虫为害是一种行之有效的研究方法<sup>[3,4,9]</sup>。

本试验通过人工摘蕾(铃)模拟害虫为害和人工接虫为害两种试验方法,来研究棉花蕾铃期繁殖器官的损失对产量的影响,旨在为棉田害虫防治指标的制定,以及进一步阐明棉株的补偿效应,发挥棉株的耐害补偿能力提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点 试验棉田设置于河北省饶阳县宋桥镇(38°15'N,115°40'E)。

1.2 棉田类型 棉花品种为“石棉 321”。棉田类型为夏播棉,播种日期为每年的 5 月 15 日,播种密度为 4500~5500×15 株/hm<sup>2</sup>,土壤类型为沙壤土,灌溉条件良好。每年每公顷棉田施加 N、P、K 分别为 138kg、46kg 和 23kg。

1.3 模拟摘蕾、铃试验 人工摘蕾、铃试验按单株进行。1994 年设 9 个处理,即摘 0 个、2 个、4 个、8 个、12 个蕾(分别标记为 CK、2SQ、4SQ、8SQ 和 12SQ),摘 2 个铃、4 个铃(分别标记为 2BO 和 4BO),摘 1 蕾 1 铃、2 蕾 2 铃(分别标记为 1SQ1BO 和 2SQ2BO)。1995 年设 10 个处理,除包括 1994 年的 9 个处理外,另增设摘 4 蕾 4 铃的处理(标记为 4SQ4BO)。每个处理摘 25 株棉花,并重复 3 次。摘蕾时间、调查日期和摘蕾(铃)量详见表 1。各处理中分别随机取 10 株棉花,于每年的 11 月上旬测产,分别记录各株皮棉产量,以及根、茎、叶等的干重。

1.4 棉铃虫为害试验 人工接虫试验也按单株进行,每株接二龄初幼虫 1 头,接虫时间同模拟摘蕾、铃试验。1994、1995 年,各自选取 150 株棉花,分为 3 个重复;同时各自选取 150 株不接虫的棉花为对照,对照也分为 3 个重复。试验前先喷药防治一次棉铃虫,对需要观察的棉株加上笼罩,笼罩规格为 1×1×1m<sup>3</sup>(每笼罩中有 5 株棉花),每隔 3 天调查一次幼虫的为害情况。

表 1 人工模拟摘蕾、铃的试验设计\*

Table 1 Design and setup of simulated removal of squares/bolls during the fruiting of cotton

年份 Year	摘蕾、铃日期	调查日期	摘蕾、铃量										
	Date of removing squares / bolls	Investigating date	No. of removed squares / bolls per plant										
1994	7 月 27 日	9 月 18 日	0	2SQ	4SQ	8SQ	12SQ						
	8 月 4 日	9 月 18 日	2BO	4BO	1SQ 1BO	2SQ 2BO							
1995	8 月 1 日	9 月 19 日	0	2SQ	4SQ	8SQ	12SQ	2BO	4BO	1SQ 1BO	2SQ 2BO	4SQ 4BO	

\* 若一次需要摘的蕾、铃数不够时,可分批摘,直至上述要求摘的蕾、铃数为止;摘 2 蕾、4 蕾、8 蕾、12 蕾、2 铃、4 铃、1 蕾 1 铃、2 蕾 2 铃和 4 蕾 4 铃各处理分别标记为 2SQ、4SQ、8SQ、12SQ、2BO、4BO、1SQ1BO、2SQ2BO 和 4SQ4BO;对照不摘零,标记为 CK。The process of removing squares / bolls does not stop until the number of squares / bolls removed by hand is enough. All treatments are marked as 2SQ、4SQ、8SQ、12SQ、2BO、4BO、1SQ1BO、2SQ2BO and 4SQ4BO. CK is the control without removal of square / boll

1.5 数学模型研究 将人工模拟去蕾( $x_1$ )和去铃( $x_2$ )作为两个决策变量,采用二次正交旋转组合设计方法<sup>[10]</sup>来研究棉花蕾铃期繁殖器官的损失对皮棉产量( $y$ )的影响,得到棉花产量对蕾铃损失的响应方程:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i x_i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^2 b_{jj} x_{jj} (i = 1, 2; j = 1, 2)$$

进一步通过逐步回归分析(SAS6. 12, REG 过程,且 Selection=stepwise)优化产量模型(模型各变量的  $p$  值都不大于 0. 50),并通过单因子的边际效应分析来研究皮棉产量随各因素水平值变化而增减的速率<sup>[11]</sup>。

2 结果与分析

2.1 前期蕾、铃损失对后期结铃的影响

1994 和 1995 年棉花蕾铃期人工模拟为害对后期结铃(大铃和总铃量)的影响如表 2 所示。1994 年,棉花蕾铃期人工摘除蕾、铃和接虫为害都可提高棉花的最终大铃量,与对照相比单株大铃量增加 3. 94%~54. 24%;经多重比较(Duncan 测验),4SQ 和 8SQ 两处理单株大铃量增加达到了显著水平( $p<0. 05$ ),分别比对照增加 38. 48%和 54. 24%。1995 年,与对照相比,12SQ、4BO、2SQ2BO 和 4SQ4BO 的大铃量分别减少 4. 87%~15. 01%,而 2SQ、4SQ、8SQ、2BO、1SQ1BO 和“接虫”处理的单株大铃量分别增加 4. 46%~30. 22%;经 Duncan 测验,8SQ 的单株大铃量增加达到了显著水平( $p<0. 05$ ),比对照增加 1. 49 个大铃。

从表 2 中的单株总铃量来看,1994 年,棉花蕾铃期通过人工摘除一定数量的蕾、铃,以及接虫为害都可在一定程度上提高棉花的后期结铃数,单株总结铃量分别比对照提高 3. 89%~53. 33%;经多重比较(Duncan 测验),4SQ 和 8SQ 的单株总结铃量的增加都达到了显著水平( $p<0. 05$ ),分别比对照提高 36. 39%和 53. 33%。1995 年,2SQ、4SQ、8SQ、12SQ、1SQ1BO 和“接虫”处理的单株总结铃量都有所提高,分别比对照增加 0. 62%~25. 58%,经多重比较,只有 8SQ 的单株总铃量的增加达到了显著水平( $p<0. 05$ ),比对照增加 1. 66 个铃;而 4BO、2SQ2BO 和 4SQ4BO 的单株总铃量分别比对照减少 6. 93%、3. 39%和 13. 71%,但经 Duncan 测验,单株总铃量的减少未达到显著水平( $p>0. 05$ )。可见,棉花对于蕾铃期的蕾、铃损失以及棉铃虫的为害具有很强的补偿能力。

2.2 蕾铃为害对皮棉产量和生物产量的影响

表 3 给出了 1994、1995 年棉花蕾铃期繁殖器官损失对皮棉产量和生物产量的影响。1994 年,与对照相比,2SQ、4SQ、8SQ、2BO 和 1SQ1BO 的皮棉产量都有所增加,单株皮棉增产 1. 29%~39. 02%,经多重比较(Duncan 测验),4SQ、8SQ 和 1SQ1BO 的增产显著( $p<0. 05$ ),单株皮棉产量分别增产 33. 91%、39. 02%和 16. 86%;而 2SQ、2SQ2BO 和 4SQ4BO 分别减产 12. 79%、9. 24%,减产也达到了显著水平( $p<0. 05$ )。1995 年,2SQ、4SQ、8SQ、2BO、1SQ1BO 和 2SQ2BO 的皮棉产量都有所提高,单株皮棉产量较对照增产 2. 76%~

25.81%;而 12SQ、4BO 和 4SQ4BO 的皮棉产量都有所降低,分别比对照减产 15.02%、4.07%和 5.74%。对 1995 年各处理单株皮棉产量进行多重比较(Duncan 测验),8SQ、1SQ1BO、4SQ、2BO 的增产都达到了显著水平( $p<0.05$ ),分别比对照增产 25.81%、20.96%、11.31%和 6.73%;而 12SQ 和 4SQ4BO 两处理的减产也都达到了显著水平( $p<0.05$ )。

表 2 华北棉区第 3 代棉铃虫发生期蕾(铃)损失对棉花后期结铃(大铃和总铃量)的影响(Duncan 测验)

Table 2 Effects of loss of squares and bolls during the fruiting on the number of bolls (large bolls and whole bolls) of cotton

年份 Year	处理 Treatments	单株大铃量 Num. of large bolls per plant	单株总铃量① Num. of small and large bolls per plant
1994	CK	3.30±2.12 c	3.60±2.12 c
	2SQ	3.71±1.77 bc	4.20±1.84 bc
	4SQ	4.57±1.82ab	4.91±1.67ab
	8SQ	5.09±2.22a	5.52±2.26a
	12SQ	3.65±1.67 bc	3.95±1.76 bc
	2BO	3.43±1.42 c	3.74±1.41 c
	4BO	3.60±1.73 c	3.92±1.67 c
	1SQ1BO	3.91±1.59 bc	4.26±1.86 bc
	2SQ2BO	3.52±1.73 c	3.82±1.70 c
	接虫② Artificially laid larvae	3.70±2.10 bc	4.16±2.21 bc
1995	CK	4.93±2.46 bcd	6.49±2.51 bcd
	2SQ	5.15±2.69 bcd	6.87±2.45abcd
	4SQ	6.02±2.74ab	7.57±2.46ab
	8SQ	6.42±2.75a	8.15±2.56a
	12SQ	4.56±2.21 cd	6.53±2.42 bcd
	2BO	5.40±2.34abc	7.00±2.57abc
	4BO	4.36±1.90 cd	6.04±2.14 cd
	1SQ1BO	5.25±2.36 bcd	6.75±2.29 bcd
	2SQ2BO	4.69±2.07 cd	6.27±2.13 bcd
	4SQ4BO	4.19±2.58 d	5.60±2.51 d
	接虫 Artificially laid larvae	5.20±2.59 bcd	7.31±2.77abc

\* ①小铃的直径小于 2.0cm,而大铃的直径大于 2.0cm; ②在第 3 代棉铃虫发生期进行接虫为害试验,每株棉花接一头二铃初幼虫 ① Small bolls, diameter<2 cm; large bolls, diameter ≥2.0 cm. ② Means manually laying larvae during the fruiting of cotton

从单株总生物量来看,1994、1995 两年的试验处理中,棉花蕾铃期繁殖器官的损失以及第 3 代棉铃虫的为害不但不会降低棉花的生物产量,反而会提高生物产量。1994 年,各处理单株生物量增产 1.17%~18.42%;而 1995 年,各处理单株生物量增产 7.39%~21.75%。经多重比较(Duncan 测验),1994 年中,只有 4SQ 和 8SQ 两处理的单株生物量增产显著( $p<0.05$ ),分别较对照高出 18.42%和 16.12%;而 1995 年中,各处理单株生物量增产都达到了显著水平( $p<0.05$ ),其中,8SQ 和 1SQ1BO 两处理的生物量增产最显著( $p<0.01$ ),分别较对照增产 21.75%和 19.56%。

2.3 蕾铃损失对皮棉产量影响的数学模型分析

进一步根据试验结果,选择人工模拟摘蕾量( $x_1$ )和人工模拟摘铃量( $x_2$ )两个因素,采用二次正交旋转组合设计方法,对棉花蕾铃的损失与皮棉产量之间进行定量分析,得到皮棉产量对试验因子的响应方程: $y=c_0+a_1x_1+b_1x_2+a_2x_1^2+b_2x_2^2+c_1x_1x_2$ (见表 4)。

现在分别令  $x_1=0, x_2=0$ ,可得(见图 1 和图 2):

1994 年  $f(x_1)=14.46+2.36x_1-0.20x_1^2, f(x_2)=14.46+5.10x_2-2.25x_2^2$

1995 年  $f(x_1)=18.83+1.48x_1-0.14x_1^2, f(x_2)=18.83+1.52x_2-0.40x_2^2$

表 3 第 3 代棉铃虫发生期蕾(铃)损失对棉花皮棉产量和总生物量的影响(Duncan 测验)

Table 3 Effects of loss of squares / bolls during the fruiting on the production of lint and biomass of cotton			
年份 Year	处理 Treatments	皮棉产量 / 株 (g) Amount of lint per plant	总生物量 / 株 (g) Amount of biomass per plant
1994	CK	15.48±1.34 c	69.05±6.33 b
	2SQ	16.74±1.78 c	69.86±3.42 b
	4SQ	20.73±2.78a	81.77±6.79a
	8SQ	21.52±2.85a	80.18±7.29a
	12SQ	13.50±1.52 d	71.36±8.60 b
	2BO	15.68±1.55 c	71.52±4.56 b
	4BO	—	—
	1SQ1BO	18.09±1.09 b	78.35±6.17 b
	2SQ2BO	14.05±2.13 d	70.59±10.52 b
	4SQ4BO	18.08±1.16 g	58.90±3.54 b
1995	CK	19.18±1.60 ef	53.57±4.81 c
	2SQ	19.99±1.13 de	57.85±2.54 b
	4SQ	21.35±1.61 c	60.44±5.60 b
	8SQ	24.13±2.26a	65.22±5.58a
	12SQ	16.30±1.71 h	59.08±4.01 b
	2BO	20.47±1.10 cd	58.11±3.28 b
	4BO	18.40±0.92 fg	57.53±3.45 b
	1SQ1BO	23.20±1.90 b	64.05±3.56a
	2SQ2BO	19.71±0.86 de	59.99±5.46 b
	4SQ4BO	18.08±1.16 g	58.90±3.54 b

表 4 第 3 代棉铃虫发生期蕾(铃)损失与单株皮棉产量的回归分析(REG 过程)

Table 4 Two-factor and stepwise regression analysis of the loss of squares / bolls during the fruiting and lint production			
年份 Year	函数式 $y=f(x_1, x_2)$	复相关系数 $R$ Coefficient of duplicated correlation	$F$ 值 $F$ value
1994	$14.46+2.36x_1+5.10x_2-0.20x_1^2-2.25x_2^2-1.39x_1x_2$	0.7855	49.61**
1995	$18.83+1.48x_1+1.52x_2-0.14x_1^2-0.40x_2^2-0.28x_1x_2$	0.6841	34.13**

$x_1$  为单株摘蕾量,  $x_2$  为单株摘铃量,  $y$  为单株皮棉产量。  $x_1$ -Number of squares removed by hand per plant,  $x_2$ -Number of bolls removed by hand per plant,  $y$ -Lint production per plant. \*\*  $p<0.01$

由图 1 可得,1994 年棉花蕾铃期单株损失 0~11.80 个蕾都不会影响皮棉产量,而当损失 5.9 个蕾时,棉花的补偿能力最强,单株皮棉产量为 21.42g,增产达 48.13%;1995 年棉花蕾铃期单株损失 0~10.58 个棉蕾同样不会降低皮棉产量,而当损失 5.29 个蕾时,棉花的补偿能力最强,单株皮棉产量为 22.74g,增产达 20.76%。

由图 2 可得,1994、1995 年,棉花蕾铃期单株分别损失 0~2.26 个铃和 0~3.38 个铃都不会降低皮棉产量,而当损失 1.13 个铃和 1.9 个铃时,各自增产最大(单株皮棉分别增产 2.89g 和 2.44g,增产达 19.99%和 12.96%)。

通过皮棉产量模型的单因子边际产量分析,以研究皮棉产量随各因素(摘蕾量和摘铃量)水平值变化而增减的速率,则有:

1994 年
$$f'(x_1)|_{x_2=0}=2.36-0.40x_1, f'(x_2)|_{x_1=0}=5.10-4.5x_2$$

1995 年
$$f'(x_1)|_{x_2=0}=1.48-0.28x_1, f'(x_2)|_{x_1=0}=1.52-0.80x_2$$

由图 3 边际效应可知,1994 年,  $f'(x_2)$  的斜率( $|K|=4.5$ )远大于  $f'(x_1)$  的斜率( $|K|=0.40$ );1995 年,  $f'(x_2)$  的斜率(为 0.80)同样大于  $f'(x_1)$  的斜率( $|K|=0.28$ )。由此可得,棉花蕾铃期铃的损失量对皮棉产量的影响最大;而此期,被害蕾量对皮棉产量的影响相对较小。

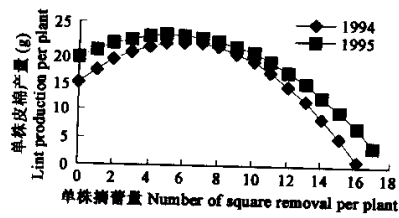


图1 摘蕾量与皮棉产量的关系

Fig. 1 Relationship between squares removed by hand and lint production per plant

$y = f(x_1)$ ,  $x_1$  为单株摘蕾量  $x_1$ -number of squares removed by hand per plant

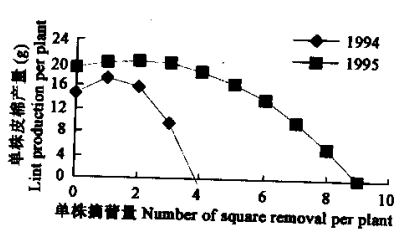


图2 摘铃量与皮棉产量的关系

Fig. 2 Relationship between bolls removed by hand and lint production per plant

$y = f(x_2)$ ,  $x_2$  为单株摘铃量  $x_2$ -number of bolls removed by hand per plant

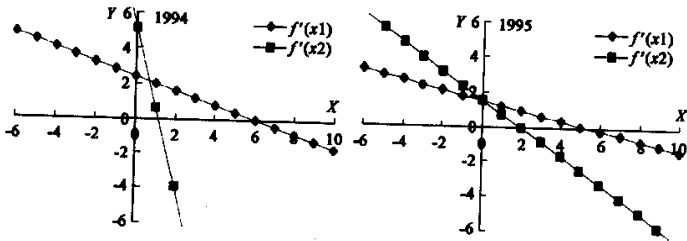


图3 边际效应分析图

Fig. 3 Edge-effect analysis of removal squares or bolls on lint production per plant

Y-单株皮棉产量(g), X-单株摘蕾(铃)量;  $f'(x_1)$  为产量模型中单株摘蕾量( $x_1$ )的一阶偏导函数,  $f'(x_2)$  为单株摘铃量( $x_2$ )的一阶偏导函数 Y-lint production per plant, X-No. of square or boll removal per plant ( $x_1$  or  $x_2$ ).  $f'(x_1)$  is one-rank deviated derivative of  $x_1$ ,  $f'(x_2)$  is one-rank deviated derivative of  $x_2$

3 讨论

3.1 通过 1994、1995 棉花蕾铃期的模拟摘蕾和人工接虫为害试验可得, 此期棉花对于繁殖器官损失的补偿能力很高。进一步分析试验结果得出, 棉株主要是通过增加总铃量和大铃量来补偿此期繁殖器官的损失, 而人为摘除的蕾(铃)恰好替代了此期繁殖器官的生理脱落也是其产量未受影响的原因之一<sup>[12, 13]</sup>。此外, 棉花的补偿能力也是有限的, 当繁殖器官的损失超过一定限度时, 也会导致棉花减产。本试验中, 当繁殖器官的损失达到每株 12 个蕾、4 个铃或 4 蕾 4 铃以上时, 皮棉产量降低, 甚至减产显著; 但其生物产量都没有降低, 有的增产显著。通过摘蕾和摘铃两因子的边际产量得出, 蕾铃期铃的损失对皮棉产量的影响最大。故此, 生产中应尽量减少棉铃的受害。

3.2 棉花具有补偿效应已成定论, 但补偿的蕾、铃必将导致其生殖生长阶段的后移, 从而推迟棉花吐絮<sup>[4, 13, 14]</sup>。棉花是无限花序生长植物, 后期积温的多少(霜降时间的早晚)将直接影响其产量的高低。如后期积温高、霜降时间晚, 多数补偿的棉铃可正常吐絮; 而霜降早, 则无效铃量增加。可见, 霜降时间的早晚会影响棉花的补偿能力。然而, 不同年份间霜降时间有一定差异, 从而导致年份间棉花的补偿能力存在差异。因此, 在研究棉花的补偿能力时, 应将气候因素(如温度、霜降时间等)考虑进来。当然, 有关霜降早晚对棉花补偿能力的影响还有待进一步研究。

3.3 采用回归设计理论和分析方法进行棉花损害和补偿效应研究, 具有准确性高、综合性好、试验规模小、信息量大等优<sup>点</sup>。本试验通过两因子二次旋转组合设计和逐步回归分析得出棉花蕾铃期繁殖器官损失( $x_1$  为单株蕾损失量,  $x_2$  为单株铃损失量)与皮棉产量( $y$  为单株皮棉产量)的关系式:  $y = c_0 + a_1x_1 + b_1x_2$

$+a_2x_1^2+b_2x_2^2+c_1x_1x_2$ 。通过对各因子的边际效应分析得出,棉花蕾铃期铃的损失量对皮棉产量的影响最大,而蕾的损失量的影响相对较小。结合棉铃虫或其它棉花害虫的相应世代的取食模型,将本试验所得模型中的蕾、铃损失量转换成相应的虫口密度,这样可以与害虫防治阈值(Control threshold)联系起来,从而为棉田害虫的生态调控提供理论依据。

References :

[ 1 ] Zhai L R, Ding Y Q, Li D M. Studies on the foraging behavior of *Heliothis armigera* (Hübner) and damaged fruiting structures in cotton fields of North China. *Acta Entomologica Sinica*, 1992, **35**(3): 257~265.

[ 2 ] Sheng C F, Ding Y Q, Ma S J. Econ-ecological benefit of management of the 2nd generation cotton bollworm (*Heliothis armigera* Hübner) used insecticides in cotton fields of North China. *Acta Ecologica Sinica*, 1983,**3**(1): 35~46.

[ 3 ] Sheng C F, Ma S J. Econ-ecological benefit of manual removal of squares during the 2nd generation cotton bollworm (*Heliothis armigera* Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 1986, **6**(2): 148~157.

[ 4 ] Brook K D, Hearn A B and Kelly C F. Response of cotton, *Gossypium hirsutum* L. , to damage by insect pests in Australia; manual simulation of damage. *J. Econ. Entomol.* , 1992, **85**(4): 1368~1377.

[ 5 ] Brook K D, Hearn A B and Kelly C F. Response of cotton, *gossypium hirsutum* L. , to damage by insect pests in Australia; compensation for early season fruit damage. *J. Econ. Entomol.* , 1992, **85**(4): 1378~1386.

[ 6 ] Stewart S D, Layton M B, Williams M R, *et al.* Response of cotton to prebloom square loss. *J. Econ. Entomol.* , 2001, **94**(2): 388~396.

[ 7 ] Hearn A B, and Rosa G. D. A simple model for cotton-crop management applications (*Gossypium hirsutum* L. ). *Field Crop Res.* , 1984, **12**(1): 49~69.

[ 8 ] Cox P G, Marsden S G, Brook K D, *et al.* Economic optimization of *Heliothis* thresholds on cotton using the SIRATAC pest management model. *Agric. Systems*, 1990, **35**(1): 157~171.

[ 9 ] Kincade R T, Laster M L, Brazzel J R. Effect on cotton yield of various levels of simulated *Heliothis* damage to squares and bolls. *J. Econ. Entomol.* ,1970. **63**: 613~615.

[10] Xiao B, Zhong J W. The multi-factor Design and Statistic Analysis of Agricultural Experiments. Changsha: Science and technology Press of Hu’nan Province,1985.

[11] Bi C P, Yang Q H, Zhou M X. A mathematical model of cotton compensation for cotton bollworm damage. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1991, **18**(1): 11~17.

[12] Hearn A B, and Room P M. Analysis of crop development for cotton pest management. *Prot. Ecol.* , 1979, **1**:266~277.

[13] Kletter E. and Wallach D. Effects of fruiting form removal on cotton reproductive development. *Field Crops Res.* , 1982, **5**: 69~84.

[14] Stewart S D, M B Layton, M R Williams, *et al.* 2001. Response of cotton to prebloom square loss. *J. Econ. Entomol.* ,2001, **94**: 388~396.

参考文献:

[ 1 ] 翟连荣,丁岩钦,李典澳. 华北棉区棉田中棉铃虫的取食行为及为害特征研究. 昆虫学报,1992,**35**(3):257~265.

[ 2 ] 盛承发,丁岩钦,马世俊. 华北棉区药剂防治二代棉铃虫经济生态学效应研究. 生态学报,1983,**3**(1):35~46.

[ 3 ] 盛承发,马世俊. 棉铃虫二代期模拟为害蕾的经济生态学效应分析. 生态学报,1986,**6**(2):148~157.

[10] 萧兵,钟俊维. 农业多因素试验设计与统计分析. 长沙:湖南科学与技术出版社,1985.

[11] 毕成鹏,杨奇华,周明祥. 棉花受棉铃虫为害后的补偿效应及其数学模型研究. 植物保护学报,1991,**18**(1):11~17.