

水稻三种害虫组合侵害及 对籽粒生长的影响*

吴进才 梁家荣¹⁾ 张凤举 葛玉林²⁾

(江苏农学院植保系 扬州 225001)

摘要 根据江淮稻区水稻害虫发生特点,于 1991—1992 年在网室和田间采用全组合随机区组设计研究了白背飞虱 *Sogatella furcifera*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 三种害虫的组合侵害及对籽粒生长的影响。用生长曲线方程拟合籽粒生长过程。由生长曲线方程推导的一些参数分析害虫组合侵害对强、弱勢粒生长的影响。分析结果表明三种害虫组合侵害主效和互作效应均对水稻有显著的影响。随着害虫组合侵害的加重,最大生长速率 V_{max} 、旺盛生长期积累的干物重 GT 等参数变小。田间和网室试验结果表明害虫组合侵害对弱勢粒的影响大于对强势粒的影响。

关键词 白背飞虱,稻纵卷叶螟,褐飞虱,组合侵害,籽粒生长

江淮稻区普遍发生的主要害虫有白背飞虱 *Sogatella furcifera*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 和褐飞虱 *Nilaparvata lugens*。前二种主要是在水稻生长的前中期侵害,褐飞虱主要在中后期侵害。近年来对单种害虫的侵害损失进行了许多研究^[1-5]。单种害虫侵害损失的研究是在水稻一生排除有其它害虫侵害的情况下所得的结果。但在江淮稻区水稻生长季节往往遭受几种害虫同时或序列(交叉)侵害。显然害虫组合侵害对水稻的影响不同于单种害虫或几种害虫的简单相加。研究这个问题对害虫综合治理如何设计最优控制决策具有重要价值^[6]。其次水稻籽粒生长有同步灌浆型和异步灌浆型^[7],两种类型强弱势粒生长达峰值的时间相差较大,明确害虫侵害对强弱势粒的影响机制对综合治理也可能具有重要意义。

本研究在稻纵卷叶螟、褐飞虱组合侵害研究的基础上^[8],在田间和网室应用多因子全组合随机区组设计进行了三种害虫组合侵害效应及对水稻强弱势粒生长的影响研究。

1 研究方法

1.1 网室接虫试验

试验在徐州农科所进行。三种害虫全组合设计见表 1、表 2。1991 年每穴接虫量略高于各单种害虫的防治指标,1992 年接虫量略低于各单种害虫的防治指标。供试品种为汕优 63。该品种对三种害虫均属感虫。所以选感虫品种,一是感虫品种上害虫的自然存

* 国家自然科学基金和江苏省教委自然科学基金资助项目的一部分。

1) 江苏徐州农业科学研究所植保室。

2) 江苏兴化市植保站。

本文于 1993 年 1 月收到。

活率较高, 据我们测定三种害虫自然存活率均在 90% 以上; 其次是感虫品种能比较确切地反映出害虫组合侵害的互作效应。试验在水泥池笼罩内进行。以全生育期绝对无虫为对照, 并设置罩笼与不罩笼小区以比较罩笼后对水稻生长及产量的影响。水泥池施肥按大田正常标准。1991 年接虫时间二代白背飞虱和二代稻纵卷叶螟为 7 月 27 日, 三代稻纵卷叶螟为 8 月 9 日, 褐飞虱三代、四代分别为 8 月 24 日和 9 月 5 日; 1992 年二代白背飞虱、二代稻纵卷叶螟为 7 月 27 日, 三代稻纵卷叶螟 8 月 10 日, 褐飞虱三、四代分别为 8 月 23 日、9 月 7 日。另外考虑到稻纵卷叶螟和褐飞虱在江苏连续为害二代, 也模拟了连续为害二代的辅助比较试验。每次各处理重复 3 次。

表 1 三种害虫组合侵害试验设计

(徐州, 1991 年)

白背飞虱 A	稻纵卷叶螟 B	褐飞虱 C	处理组合	序号
$a_1 = 0$	$b_1 = 0$	$c_1 = 10$	$a_1 b_1 c_1$	1
		$c_2 = 30$	$a_1 b_1 c_2$	2
	$b_2 = 2$	$c_1 = 10$	$a_1 b_2 c_1$	3
		$c_2 = 30$	$a_1 b_2 c_2$	4
$a_2 = 30$	$b_1 = 0$	$c_1 = 10$	$a_2 b_1 c_1$	5
		$c_2 = 30$	$a_2 b_1 c_2$	6
	$b_2 = 2$	$c_1 = 10$	$a_2 b_2 c_1$	7
		$c_2 = 30$	$a_2 b_2 c_2$	8

表 2 三种害虫组合侵害试验设计

(徐州, 1992 年)

白背飞虱 A	稻纵卷叶螟 B	褐飞虱 C	处理组合	序号
$a_1 = 0$	$b_1 = 0$	$c_1 = 0$	$a_1 b_1 c_1$	1
		$c_2 = 10$	$a_1 b_1 c_2$	2
	$b_2 = 1$	$c_1 = 0$	$a_1 b_2 c_1$	3
		$c_2 = 10$	$a_1 b_2 c_2$	4
$a_2 = 15$	$b_1 = 0$	$c_1 = 0$	$a_2 b_1 c_1$	5
		$c_2 = 10$	$a_2 b_1 c_2$	6
	$b_2 = 1$	$c_1 = 0$	$a_2 b_2 c_1$	7
		$c_2 = 10$	$a_2 b_2 c_2$	8

1.2 田间试验

网室能够控制虫量等条件, 但与自然情况有一定差异; 田间试验符合实际, 但虫量不易严格控制。本研究田间和网室同时进行相互印证。田间试验设计见表 3。小区面积

表 3 害虫组合侵害的田间选择性控制试验设计

(江苏兴化, 1992 年)

稻纵卷叶螟三代 B	褐飞虱三代 C	处理组合	序号
b_1 (不防治)	c_1 (不防治)	$b_1 c_1$	1
	c_2 (8 月 10 日, 亩用 25% 扑虱灵 40g)	$b_1 c_2$	2
b_2 (8 月 21 日, 亩用 90% 杀虫丹 40g)	c_1	$b_2 c_1$	3
	c_2	$b_2 c_2$	4

66.7m², 小区间筑埂, 品种为中粳 903726。所有处理在 8 月 5 日、8 月 15 日用井冈霉素防治纹枯病 2 次。试验重复 3 次。试验期间调查自然发生的飞虱和稻纵卷叶螟数量。

1.3 各处理籽粒生长量测定

1991—1992 年徐州的网室和兴化的田间试验自水稻抽穗后各处理一次标记强势粒(抽穗后 1—2 天开的花)和弱勢粒(抽穗后最后 1—2 天开的花) 200 个穗。标记穗尽量在小区中分布均匀。开花后每隔 4 天取穗 15—20 个, 每穗分别摘取强势粒和弱勢粒 20 粒, 烘干去壳称重, 直至成熟。最后考察千粒重、秕谷率和小区产量。

1.4 籽粒生长模型及分析

籽粒生长模型的表达式为:

$$W = \frac{K}{1 + e^{a-bt}} \quad (1)$$

(1) 式的一阶导数得籽粒生长速率方程:

$$V = \frac{dW}{dt} = \frac{Kb \cdot e^{a-bt}}{(1 + e^{a-bt})^2} \quad (2)$$

(2) 式求导得(1)式的二阶导数即加速度方程:

$$W'' = \frac{d^2W}{dt^2} = \frac{Kb^2 \cdot e^{a-bt} \cdot (e^{a-bt} - 1)}{(1 + e^{a-bt})^3} \quad (3)$$

令二阶导数 $W'' = 0$, 推导得:

$$t = \frac{a}{b} \quad (4)$$

t 即为生长曲线的拐点(出现最大生长速率相对应的时间, t_{\max})。将(4)式代入(2)式得最大生长速率 V_{\max} :

$$V_{\max} = \frac{bK}{4} \quad (5)$$

对(1)式求三阶导数:

$$W''' = \frac{d^3W}{dt^3} = \frac{Kb^3(1 - 4e^{a-bt} + e^{2(a-bt)}) \cdot e^{a-bt}}{(1 + e^{a-bt})^4} \quad (6)$$

令(6)式为零, 推导出生长曲线的两个特征点:

$$\begin{cases} t_1 = \frac{a - \ln(2 + \sqrt{3})}{b} \\ t_2 = \frac{a - \ln(2 - \sqrt{3})}{b} \end{cases} \quad (7)$$

籽粒在 t_1 之前和 t_2 之后生长或积累缓慢; 在 t_1 与 t_2 之间生长或积累迅速, 称为旺盛生长期。用 $\Delta t = t_2 - t_1$ 表示旺盛生长期持续时间的长短。进而推导出生长特征值 GT :

$$GT = \frac{bK}{4} (t_2 - t_1) = V_{\max}(t_2 - t_1) \quad (8)$$

GT 表示 Δt 时间内干物质积累的生长量, 是关键时段。

另外, 设(2)式的 $t \rightarrow 0$, 得起始生长势 R_0 为:

$$R_0 = \frac{Kbe^e}{(1 + e^e)^2} \quad (9)$$

2 结果与分析

2.1 三种害虫组合侵害效应的统计分析

两年网室试验结果的统计分析见表 4。除主效对千粒重、秕谷率、小区产量有显著的影响外,在一级互作效应中白背飞虱与稻纵卷叶螟 ($A \times B$)、稻纵卷叶螟与褐飞虱 ($B \times C$) 主要影响秕谷率而影响产量;白背飞虱与褐飞虱 ($A \times C$) 主要影响千粒重而影响产量。二级互作 ($A \times B \times C$, 生物学意义为一种害虫的侵害与其他两种害虫的侵害程度有关)对千粒重、小区产量也有显著的影响。互作效应的统计分析表明水稻整个生长过程受多种害虫侵害是一个系统过程,后期害虫侵害对水稻籽粒生长的影响除与该虫当时的密度有关外,还与生长前期白背飞虱、稻纵卷叶螟的侵害程度有关。即前期受到白背飞虱、稻纵卷叶螟的侵害会加重后期褐飞虱的损害。但三种害虫不同密度、不同组合情况有所不同(参见表 5 的多重比较)。由于互作效应,各物种接虫量在各单种防治指标以下或称亚经济阈值密度时的组合侵害对水稻产量的影响也是明显的。在分析中还表明连续侵害二代比一代水稻产量要低。

田间试验结果的统计分析结论与网室试验分析结果基本一致。通过选择性控制方法研究害虫组合侵害的主效和互作效应显著。

2.2 害虫组合侵害对籽粒生长的影响

2.2.1 参数分析

现列出 1992 年徐州网室试验籽粒生长模型的若干主要参数(表 6),兴化田间试验的分析参见图 1。

生长速率达最大的时间 $t_{\max \cdot w}$:

在侵害较轻的情况下, $t_{\max \cdot w}$ 值随侵害的加重 $t_{\max \cdot w}$ 值变大。例如表 6 中的 $a_2b_2c_2$ 与 $a_1b_1c_1$ 相比,强势粒生长速率达最大的日期推迟 3.4 天;兴化田间 b_1c_1 与 b_2c_2 相比,生长速率达最大的日期推迟 2.2 天;弱勢粒则相反,随侵害的加重,生长速率达最大的日期提前,如兴化田间 b_2c_2 与 b_1c_1 相比, $t_{\max \cdot w}$ 值减小 4.76 (天)。在侵害较重的情况下(1991 年),强势粒均随侵害的加重 $t_{\max \cdot w}$ 值变小。

最大生长速率 V_{\max} :

不论是网室还是田间试验结果各处理 V_{\max} 值均随侵害的加重而变小。在三种害虫组合侵害中,又以褐飞虱(代号 c)对 V_{\max} 值的影响最明显。表 6 中 $a_2b_2c_2$ 比 $a_2b_2c_1$ 强势粒 V_{\max} 分别减小 0.0162、0.0094;图 1 中 b_2c_2 比 b_2c_1 强势粒 V_{\max} 分别减小 0.0102、0.0279。

旺盛生长期 Δt 及 Δt 期间的物质累积量 GT :

各处理的 Δt 及 GT 基本趋势是随着组合侵害的加重而变小。表明害虫侵害不仅影响千粒重,而且使旺盛生长期缩短,关键时期的干物质累积量显著减少。

起始生长势 R_0 :

两年试验数据分析中认为起始生长势随侵害的加重而变小,其中前中期害虫稻纵卷叶螟、白背飞虱对起始生长势的影响大于褐飞虱。但 R_0 与籽粒生长终值量 K 、 V_{\max} 并

表 4 害虫组合侵害的方差分析表

(徐州网室, 1991—1992年)

变 异 来 源	1991						1992					
	千粒重 (g)		秕谷率		小区产量 (g)		千粒重 (g)		秕谷率		小区产量 (g)	
	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
区 组	4.3		115.4		2401		0.8		4.0		5967.6	
A	99.3	737.4**	2993.1	37.0**	1377102	260.1**	6.0	0.8	762.5	16.2**	1086285	124.8**
B	85.9	637.4**	2839.8	35.1**	200256	37.8**	4.8	0.7	452.1	9.6*	773960	231.4**
C	50.3	373.4**	2556.3	31.6**	280900	53.1**	28.8	4.0	1479.4	31.4**	500910	149.7**
A × B	0.3	2.4	93.9	1.2	40000	7.6*	2.5	<1	728.3	15.5**	4865.3	1.5
A × C	6.5	48.3**	0.2	<1	13110	2.5	7.0	<1	100.7	2.1	22876	6.8*
B × C	0.1	1.0	0.8	<1	25122	4.7	6.6	<1	675.3	14.3**	83376	24.9**
A × B × C	28.2	209.5**	264.0	32.7**	192721	36.4**	0.02	<1	126.9	2.7	31596	9.4*
误 差	0.1		80.8		5294.7		7.3		47.1		3344	

表 5 各处理组合平均数的多重比较*

(徐州网室, 1992年)

处理组合	秕 谷 率				小 区 产 量 (g)			
	平均数	差异显著性	处理组合	平均数	差异显著性	处理组合	平均数	差异显著性
a ₁ b ₂ c ₁	23.77	a	A	73.50	a	A	1301	a
a ₂ b ₁ c ₁	23.69	ab	A	35.60	b	B	1256	a
a ₂ b ₂ c ₁	23.11	ab	A	31.1	b	B	1059	b
a ₁ b ₁ c ₁	22.82	ab	A	30.8	b	B	909	c
a ₁ b ₁ c ₂	22.73	ab	A	30.7	b	B	560	d
a ₁ b ₂ c ₂	21.16	ab	A	25.2	b	B	548	d
a ₂ b ₁ c ₂	20.99	ab	A	24.2	b	B	535	d
a ₂ b ₂ c ₂	17.79	b	A	14.0	c	B	75	c

* 小写字母为 $P = 0.05$ 水平, 大写字母为 $P = 0.01$ 显著水平, 相同字母无显著差异。

表 6 各处理籽粒生长分析的几个参数值

(徐州网室, 1992 年)

处理组合	强势粒					弱势粒				
	K	$t_{\max \cdot w}$	V_{\max}	$\Delta t = t_2 - t_1$	GT	K	$t_{\max \cdot w}$	V_{\max}	$\Delta t = t_2 - t_1$	GT
$a_1b_1c_1$	2.0330	7.63	0.1127	11.88	1.3389	1.6380	17.45	0.0973	11.08	1.0781
$a_1b_1c_2$	1.9650	9.29	0.1033	12.53	1.2943	1.5010	17.65	0.0975	10.14	0.9887
$a_1b_2c_1$	1.9469	12.92	0.1044	12.27	1.2809	1.4890	20.18	0.0889	10.91	0.9807
$a_1b_2c_2$	1.6376	14.97	0.0915	11.79	1.0788	1.1900	18.25	0.0827	9.47	0.7831
$a_2b_1c_1$	1.8556	10.51	0.0755	16.18	1.2216	1.4960	17.81	0.1310	7.51	0.9838
$a_2b_1c_2$	1.3907	12.89	0.0973	9.40	0.9156	0.8050	16.61	0.0543	9.76	0.5299
$a_2b_2c_1$	1.5480	5.91	0.0739	11.69	0.8639	1.0380	18.27	0.0678	10.09	0.6841
$a_2b_2c_2$	1.2379	11.03	0.0901	8.86	0.7983	0.7360	16.18	0.0584	7.30	0.4847

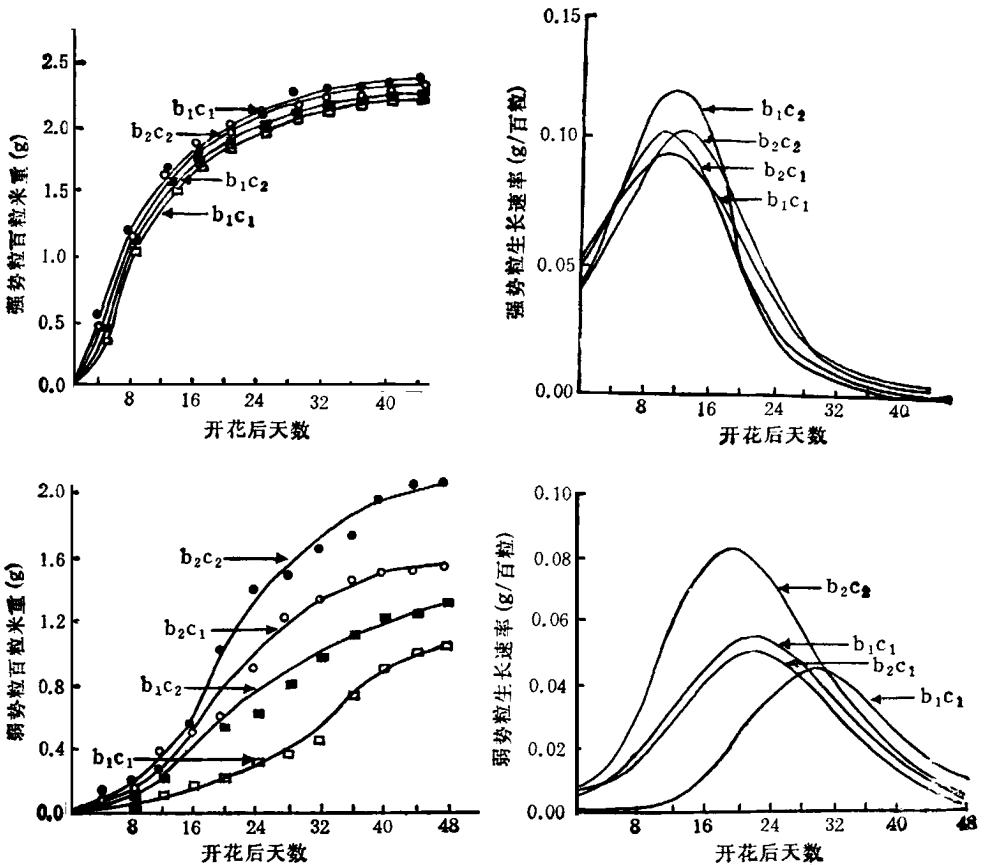


图 1 害虫组合侵害对强、弱勢粒增重及生长速率的影响

(江苏兴化, 田间, 1992 年, 品种: 中梗 903726) b_1c_1 代号的含义见表 3。

不出现密切的正相关性。如果 R_0 小, 中后期害虫侵害较轻, 对 K 、 V_{\max} 值影响较小; 若 R_0 大, 中后期害虫侵害较重, 则 K 、 V_{\max} 显著变小。这与互作效应分析相一致。

2.2.2 害虫组合侵害对强弱势粒生长的影响

从图 1 可见, 害虫组合侵害对强势粒的影响相对较小, 而对弱势粒的影响较大。对弱

势粒的影响表现生长速率曲线峰值右移, V_{\max} 、 K 值显著变小。1991—1992 徐州网室试验结果分析也证明了上述结论。

上述害虫侵害对强弱势粒生长的差异是由水稻品种籽粒充实特性决定的。强势粒开花后光合产物优先充实。特别是异步灌浆型品种弱勢粒充实慢、充实期长、生长速率达最大的日期推迟,害虫为害加重。

3 讨论

3.1 害虫组合侵害的互作效应与综合治理

在害虫组合侵害中,即使单种害虫密度在经济损害水平以下,但由于累加损害效应可能导致经济损害。其可能的原因之一是一种害虫的存在提高了另一种或另几种害虫的损害。例如菲律宾国际水稻研究所^[9]研究了菲岛稻水蝇 *Hydrellia philippina*、稻三点水螟 *Nymphula depunctalis*、美洲稻弄蝶 *Zerodea eufala* 和三化螟 *Tryporyza incertula* 的组合侵害。在一定的损害程度下,这四种害虫均没有引起显著的产量损失。然而,组合侵害引起了经济损失,即使每一物种密度均在经济损害水平以下。本文的三种害虫组合侵害与 Waibel 的研究结果有相似之处。这就提出了一个问题,在多种害虫同时发生或序列(交叉)发生时,如何设计最优控制策略。既要减少用药次数,又要不致引起经济损害。一方面要研究害虫组合侵害的经济损害和防治指标;另一方面我们认为在允许损失的条件下,放宽水稻中前期的防治指标(保护天敌、充分利用自然控制)、中后期的防治指标就不能任意放宽。反之,如果水稻生长中前期害虫发生较轻或控制得好,后期则可适当放宽防治指标。至于这方面的定量研究和生产应用将另文探讨。

3.2 害虫组合侵害对强弱势粒影响差异与综合治理策略

朱庆森等^[7]根据水稻籽粒灌浆特点分成同步灌浆和异步灌浆两种类型。前者强弱势粒的 $t_{\max \cdot w}$ 值相差较小,后者相差较大。本供试品种属异步灌浆型,在无害虫侵害时,汕优 63 强弱势粒 $t_{\max \cdot w}$ 值相差 20 天左右。本文结果表明害虫组合侵害主要影响弱勢粒而影响产量。由此可以设想害虫防治不仅要考虑害虫本身的发生而确定防治适期,还应把籽粒生长特点结合起来研究防治对策,这样才能获得最佳的综合防治效果。

参 考 文 献

- 1 丁宗泽,陈茂林,李沛元. 褐稻虱的产卵繁殖和允许损失阈限. 昆虫学报,1981,24(2): 152—159
- 2 沈彩云,卢兆成. 稻纵卷叶螟为害的产量损失与防治指标. 昆虫学报,1984,27(4): 384—391.
- 3 金德锐. 水稻对稻纵卷叶螟危害补偿作用的测定. 植物保护学报,1984,11(1): 1—7.
- 4 陈常铭,等. 稻纵卷叶螟经济阈值的研究. 生态学报,1984,4(2): 149—155.
- 5 张桂芬,刘芹轩. 河南省水稻穗期稻纵卷叶螟的危害损失与防治指标的研究. 植物保护学报,1985,12(1): 1—8
- 6 Johnson, K. B. Assessing multiple pest populations and their effects on crop yield. In Crop Loss Assessment in Rice. International Rice Research Institute, 1990.
- 7 朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析. 作物学报,1988,14(3): 182—193.
- 8 吴进才. 三种蜘蛛两种害虫共存系统水稻损失率的数学模型探讨. 昆虫知识,1991,28(2): 65—67.
- 9 Waibel, H. The economics of integrated pest control in irrigated. Crop Protection Monograph. Springer-Verlag, Berlin, 1986.

STUDIES ON COMBINED INFESTATIONS OF THREE INSECT PESTS AND THEIR EFFECTS ON GRAIN GROWTH OF RICE

WU JINCAI LIANG JIARONG ZHANG FENGJU GE YULIN

(Department of Plant Protection, Jiangsu Agricultural College Yangzhou 225001)

Abstract According to the characteristics of occurrences of the three insect pests *Sogatella furcifera*, *Cnaphalocrocis medinalis*, *Nilaparvata lugens* in Jianghua rice district, their combined infestations and effects on grain growth of rice were studied in paddy field and cement pool with cage by random plot design of complete combination in 1991—1992. Weights of the strong grain and the weak grain were determined once every four days from heading to harvesting. The growth equation,

$W = \frac{K}{1 + e^{a-bt}}$ was used to describe the grain growth process of each treatment.

From first, second and third order derivatives of the equation, some parameters were derived as follows:

$$t = \frac{a}{b}, V_{\max} = \frac{bK}{4}, \Delta t = t_2 - t_1, GT = V_{\max} \cdot (t_2 - t_1), R_0 = \frac{Kbe^a}{(1 + e^a)^2}$$

where t = turning point of growth curve, V_{\max} = maximum growth rate, Δt = active growth stage, (grain growth becomes slow before t_1 and after t_2), GT = cumulative weight of dried content in active growth stage, and R_0 = initial growth power. Effects of combined infestation of the pests on the strong and the weak grain growth were analysed by these parameters. The results of analysis of variance showed that interaction effects were also significant in addition to the main effects of the combined infestations on yield which were significant. This indicated that the combined infestations of the pests caused economic damage even though density of each species was below economic threshold. Values of V_{\max} , GT , t and K decreased as the infestations aggravated. Moreover, the result of analysis also showed the effect of the infestation on the weak grain being greater than that on the strong grain.

Key words *Sogatella furcifera*, *Cnaphalocrocis medinalis*, *Nilaparvata lugens*, combined infestation, grain growth