

水稻害虫的可持续治理及经济效益评估*

刘光杰^{1**} 寒川一成² 陈仕高³ 蒲正国³ 沈君辉¹ 石敦贵³ 譙青春³ 刘祥贵⁴

(¹ 中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室和国家水稻改良中心, 杭州 310006; ² 日本国际农林水产业研究中心, 筑波 305-8686; ³ 重庆市秀山县植保植检站, 重庆 409900; ⁴ 重庆市植保植检站, 重庆 400020)

【摘要】 以对白背飞虱具有不同抗性的水稻品种嘉花1号(抗白背飞虱粳稻品种)和汕优63(感虫杂交稻)为试材,研究了不同杀虫剂处理对水稻害虫数量及稻米品质和产量的影响,并对其经济效益进行了评估.结果表明,无杀虫剂处理的嘉花1号上白背飞虱的高峰虫量仅为汕优63的1/10,在整个水稻生长季节,嘉花1号上的白背飞虱种群数量始终处于经济危害水平以下,而汕优63却受到白背飞虱的严重危害;无杀虫剂处理的蜘蛛数量比农户管理小区高3~7倍.不施用杀虫剂处理的嘉花1号和汕优63的产量分别下降11.8%和43.4%.与不施杀虫剂处理相比,1次杀虫剂处理的嘉花1号和汕优63的实际经济收入分别下降0.9%~2.6%和2.6%~4.7%,完全不施用杀虫剂时,汕优63的实际经济收入减少32.9%~36.1%,而嘉花1号反而增收2.2%~4.8%.此外,无杀虫剂处理嘉花1号的稻谷收入为9403元·hm⁻²,明显高于3种杀虫剂处理的汕优63(8632元·hm⁻²).杀虫剂处理不影响嘉花1号和汕优63的稻米加工、外观和食用品质,却降低了其蛋白质含量.

关键词 抗虫品种 杀虫剂 害虫可持续治理 白背飞虱 水稻

文章编号 1001-9332(2006)10-1941-07 **中图分类号** X171.5 **文献标识码** A

Sustainable rice pest management and its economic benefits. LIU Guangjie¹, Kazushige SOGAWA², CHEN Shigao³, PU Zhengguo³, SHEN Junhui¹, SHI Dunggu³, QIAO Qingchun³, LIU Xianggui⁴ (¹ State Key Laboratory for Rice Biology and National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; ² Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan; ³ Xiushan Station of Plant Protection and Quarantine, Chongqing 409900, China; ⁴ Chongqing Station of Plant Protection and Quarantine, Chongqing 400020, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(10): 1941 ~ 1947.

With rice varieties Jiahua 1 (resistant to the white backed plant hopper *Sogatella furcifera*) and Shanyou 63 (susceptible) as test materials, this paper studied the effects of different insecticide treatments on the pest population and quality and yield of rice grain, and evaluated their actual economic benefits (AEB). The results indicated that in the control plot, the peak density of *S. furcifera* on Jiahua 1 was only 1/10 of that on Shanyou 63. Throughout the whole rice growth period, the *S. furcifera* population on Jiahua 1 kept below economic injury level, while Shanyou 63 suffered heavy infestation by *S. furcifera*. The spider density in the control plot was 3 ~ 7 times higher than that in the plots treated with insecticide following farmers' practice. No application of insecticide decreased the grain yield of Jiahua 1 and Shanyou 63 by 11.8% and 43.4%, respectively. Compared with the control, spraying with insecticide one time decreased the AEB of Jiahua 1 and Shanyou 63 by 0.9% ~ 2.6% and 2.6% ~ 4.7%, respectively. Without insecticide application, the AEB of Shanyou 63 decreased by 32.9% ~ 36.1%, while that of Jiahua 1 increased by 2.2% ~ 4.8%. The income of planting Jiahua 1 without insecticide application was 9403 yuan · hm⁻², which was remarkably higher than that (8632 yuan · hm⁻²) of Shanyou 63 protected by spraying insecticide 3 times. It was worthwhile to point out that insecticide treatment did not affect the processing of rice grain and its commercial and edible quality, but decreased its protein content of Jiahua 1 and Shanyou 63.

Key words Pest-resistant variety, Insecticide, Sustainable pest management, *Sogatella furcifera*, Rice.

1 引 言

稻飞虱[白背飞虱(*Sogatella furcifera*),褐飞虱(*Nilaparvata lugens*)]、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)和螟虫[二化螟(*Chilo suppressalis*),大螟(*Sesamia inferens*)]是长江流域稻区最重要的害虫.当前,喷施杀虫剂仍是稻农普遍使用的防治手段.国内外的研究表明,连续和重施杀虫剂将引起稻飞虱

产生抗药性^[2,19],并带来稻飞虱的再猖獗^[1,5,17,21],防治成本上升^[6],污染大气、土壤和水体^[2]等诸多问题.顾中言^[3]认为,杀虫剂大量杀死同一环境中的竞争种和害虫天敌,以及亚致死剂量刺激剩余害

* JIRCAS 国际合作研究项目(B3333101)、国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B02-03)和浙江省“十五”科技攻关资助项目(011102202).

** 通讯联系人. E-mail: liugj61@hotmail.com
2005-09-15 收稿, 2006-07-25 接受.

虫的繁殖是导致稻飞虱再猖獗的主要原因. 胡国文等^[7]研究了稻田节肢动物群落的结构、组成及其在时间和空间上的变化,发现水稻在分蘖期具有较强的补偿作用. 据此,他们提出了“栽后 30 d 不用或少用农药”的害虫治理简化实用模式. 当前开展的农业结构调整,着重强调农业生产经济效益. 因此,在水稻生产实践中,开发和应用以抗性品种为基础、减少杀虫剂施用次数、保护和利用天敌的水稻害虫可持续种群治理技术,具有十分重要的现实意义. 近年来,抗稻飞虱品种广泛应用于水稻害虫的可持续治理中,并发挥了十分重要的作用^[11,22]. Liu 等^[10]研究表明,在采用农户常规杀虫剂用量防治水稻害虫的基础上减少杀虫剂施用次数是完全可能的. 因此,本文在白背飞虱和稻纵卷叶螟常发区的重庆市秀山县,选择对白背飞虱具有不同抗性的水稻品种,进行了水稻害虫可持续治理技术的田间试验,研究了其对稻米品质的影响,并对其经济效益进行了评估.

2 材料与方法

2.1 试验设计

试验所用水稻品种是对稻飞虱具有抗性的梗稻“嘉花 1 号”和对稻飞虱感虫的三系杂交籼稻品种“汕优 63”. 在整个水稻生育期,对试验田水稻设 3 种处理: 1) 杀虫剂喷施 1 次; 2) 农户按自己的杀虫剂施用习惯或管理经验使用杀虫剂(简称“农户管理”, 2003 年农户实际使用 3 次杀虫剂); 3) 完全不施用杀虫剂(对照). 杀虫剂“天地扫”混配剂由广东省惠阳中迅化工有限公司生产, 90% 杀虫单由江苏省安邦电化有限公司生产, 20% 三唑磷由湖南省天宇农药化工集团股份有限公司生产, “步步杀”混配剂由广西区全州安农化工有限责任公司生产. 表 1 记录了施用杀虫剂的时间、种类、用量及针对的目标害虫.

表 1 试验田中杀虫剂使用的日期、种类、用量及目标水稻害虫

Table 1 Date applied, type and dosage of insecticides used in experimental fields and the target insect pests

杀虫剂处理 Insecticide treatment	施用日期 Date applied (m. d)	杀虫剂 Insecticides	商品剂量 Insecticide rate	目标害虫 Target insect pests
FM	7. 02	天地扫混配剂(有效成分:阿维菌素和吡虫啉, 1. 8WP) Tiandisao (a mixture of avermectins and imidacloprid)	300 g · hm ⁻²	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>
		90% 杀虫单原粉 Monosultap	600 g · hm ⁻²	稻纵卷叶螟 <i>C. medinalis</i>
	7. 11	20% 三唑磷乳油 Triazophos	3 L · hm ⁻²	稻纵卷叶螟和二化螟 <i>C. medinalis</i> and <i>C. suppressalis</i>
	8. 02	天地扫混配剂 Tiandisao	300 g · hm ⁻²	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>
天地扫混配剂 Tiandisao		300 g · hm ⁻²	稻纵卷叶螟和二化螟 <i>C. medinalis</i> and <i>C. suppressalis</i>	
OS	7. 02	步步杀混配剂(有效成分:16%高氯、杀虫单微乳剂) Bubusha (Shachongdan)	1. 5 L · hm ⁻²	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>
		天地扫混配剂 Tiandisao	300 g · hm ⁻²	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>
		90% 杀虫单原粉 Monosultap	600 g · hm ⁻²	稻纵卷叶螟 <i>C. medinalis</i>

FM: 农户管理 Farmers' management, OS: 杀虫剂 1 次 One spray, NI: 无杀虫剂 No insecticide. 下同 The same below.

田间试验于 2003 年 4 ~ 10 月在重庆市秀山县平凯镇护国村进行. 试验田面积约为 1 330 m², 小区面积约为 70 m². 1 个小区为 1 个重复, 每个品种重复 3 次, 随机排列. 4 月 5 日播种, 5 月 20 日单株移栽. 施 1 次底肥: 含 N、P₂O₅、K₂O 分别为 13%、5% 和 7% 的复合肥 375.0 kg · hm⁻², 第 1 次追肥: 含 N 量 46% 的尿素 187.5 kg · hm⁻² 和茶籽饼 112.5 kg · hm⁻², 第 2 次追肥: 含 N 量 46% 的尿素 75.0 kg · hm⁻². 正常喷施所需的杀菌剂, 并进行正常的灌溉管理.

2.2 研究方法

2.2.1 水稻害虫田间发生情况和蜘蛛数量的调查 白背飞虱: 田间的白背飞虱自然迁入发生. 移栽 2 周(6 月 2 日) 后开始进行田间白背飞虱和蜘蛛的系统调查, 每个小区随机调查 20 丛稻株, 每隔 5 d 用盘拍法调查 1 次, 分别记录白背飞虱和蜘蛛数量. 飞虱不分虫龄, 蜘蛛不分种类, 记载总数.

稻纵卷叶螟: 2003 年稻纵卷叶螟发生代数较多, 且较为严重, 故在水稻分蘖盛期至孕穗期(7 月 2 日 ~ 18 日), 对稻纵卷叶螟危害造成的卷叶数进行了 3 次调查, 并计算卷叶率. 每个小区调查 10 株.

二化螟: 2003 年水稻二化螟发生相对往年较轻, 故仅在水稻孕穗初期(7 月 16 日) 调查了各小区二化螟危害造成的枯鞘株数, 并计算枯鞘率. 每个小区调查 50 株.

2.2.2 水稻产量、千粒重测定及稻米品质分析 收获稻谷时, 每个小区随机取 3 个水稻样品并混合, 每个样品 1 m². 将样品自然风干后称稻谷产量和千粒重. 每个处理的 3 个水稻样品均匀混合后作为米质分析的 1 个样品. 米质测定在杭州市中国水稻研究所农业部稻米及制品质量监督检验测试中心进行. 采用农业部制定的部标准(NY/T83), 测定供试材料的糙米率、精米率、整精米率、粒长、长宽比、垩白米率、垩白度、胶稠度、直链淀粉和蛋白质含量. 依据农业部制定的部标准(NY122-86), 分别对供试籼稻和粳稻材料进行米质等级评价.

2.2.3 数据分析及经济收益估算 采用最小显著差数法, 分析比较平均数之间的差异显著性($P=0.05$). 经济收益比较

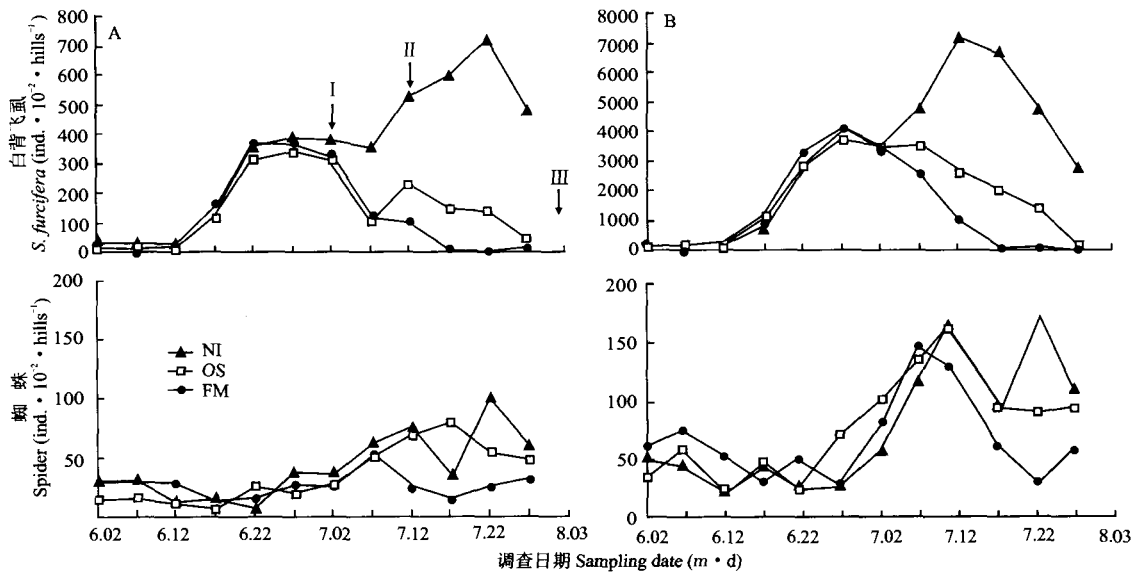


图1 不同次数杀虫剂处理水稻品种白背飞虱和蜘蛛的田间数量变化

Fig. 1 Quantity changes of *S. furcifera* and spiders on rice varieties treated with different times insecticide.

A: 嘉花1号 Jiahua 1, B: 汕优63 Shanyou 63; I: 第一次杀虫剂 1st spray, II: 第二次杀虫剂 2nd spray, III: 第三次杀虫剂 3rd spray; NI: 无杀虫剂 No insecticide, OS: 杀虫剂一次 One spray, FM: 农户管理 Farmers' management. 下同 The same below.

以人民币计算, 稻谷的出米率一般在70%左右。稻谷价值按当地当前粳稻1.4元·kg⁻¹、杂交稻1.1元·kg⁻¹折算。减少或完全不使用杀虫剂的稻米将增值。以近年来市场上“无公害稻米”的销售价格比普通稻米高出20%~40%为基准, 同时考虑到其它“无公害稻米”生产措施的贡献(如少施化肥而改用有机肥等), 本试验按施用1次杀虫剂和未施用杀虫剂稻谷的70%分别增值10%和15%, 计算稻谷附加值。每次喷施杀虫剂的成本和劳务费分别为45和60元·hm⁻²。农户减少杀虫剂施用次数后, 剩余劳动力可从事其它经济活动而获得经济收益。经济收益按当地目前每个劳动力每天工费20~50元计算。最后, 计算减少杀虫剂施用次数后水稻产生的实际经济收益, 但没有包括对农田生态、人类生活环境及人类自身健康带来的间接益处。

3 结果与分析

3.1 水稻害虫与蜘蛛田间数量动态

白背飞虱田间虫情调查结果表明, 3种杀虫剂处理条件下白背飞虱田间发生趋势在抗虫品种嘉花1号和感虫品种汕优63上是基本一致的(图1)。在没有施用杀虫剂的小区里, 白背飞虱在汕优63上的发生高峰期(7月12日)早于嘉花1号(7月22日)。无杀虫剂处理区的白背飞虱高峰期数量在汕优63上达到了7225.0只/100丛, 明显高于嘉花1号(725.0只/100丛), 是嘉花1号的10倍左右。自7月2日和7月12日喷施杀虫剂后, 杀虫剂1次和农户管理处理区里嘉花1号和汕优63上的白背飞虱数量下降明显(图1)。8月上旬至中旬, 大部分白背飞虱若虫羽化、迁出。

从田间蜘蛛调查结果来看, 7月12日以前, 各杀虫剂小区的蜘蛛数量没有明显的差异(图1)。在7月22日蜘蛛数量达到高峰时, 各小区的蜘蛛数量则呈现出如下趋势: 无杀虫剂处理 > 杀虫剂1次 > 农户管理; 无杀虫剂小区的蜘蛛数量比农户管理小区的高3~7倍。就水稻品种而言, 无杀虫剂处理的感虫汕优63小区里的蜘蛛数量要比抗虫嘉花1号小区高2倍左右。

在同一水稻品种中, 各杀虫剂处理间稻纵卷叶螟危害后的卷叶率的差异随着时间的发展, 逐渐显著, 卷叶率高低的基本趋势是: 无杀虫剂处理 > 杀虫剂1次 > 农户管理(图2)。在3次调查中(7月2日、9日、18日), 农户管理小区卷叶率基本没有差异。杀虫剂1次处理小区前2次调查(7月2日、9日)的卷叶率均显著低于第3次。在同一品种中, 无杀虫剂处理小区卷叶率不断上升, 7月18日嘉花1号和汕优63卷叶率分别高达57.3%和93.7%, 而且3次卷叶率之间均存在显著差异。图2还表明, 汕优63卷叶率均显著高于嘉花1号。

农户管理小区和1次杀虫剂处理小区的二化螟枯鞘丛率(5.0%~6.7%)没有显著差异, 均显著低于无杀虫剂小区的枯鞘丛率(11.0%~11.7%)(图3)。

3.2 水稻产量与千粒重

从水稻产量来看, 1次杀虫剂处理和无杀虫剂处理小区的嘉花1号水稻产量间没有显著差异, 其产量分别为6711.4和6717.0kg·hm⁻², 但显著低

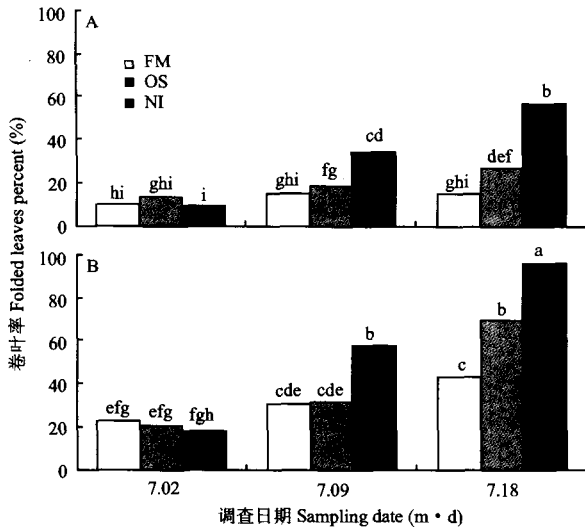


图2 不同次数杀虫剂处理水稻品种受稻纵卷叶螟危害后的卷叶率
Fig. 2 Percentage of the folded leaves damaged by *C. medinalis* on rice varieties treated with different times insecticide.
相同小写字母表示平均数间没有显著差异 Means followed by the same letters are not significantly different ($P > 0.05$). 下同 The same below.

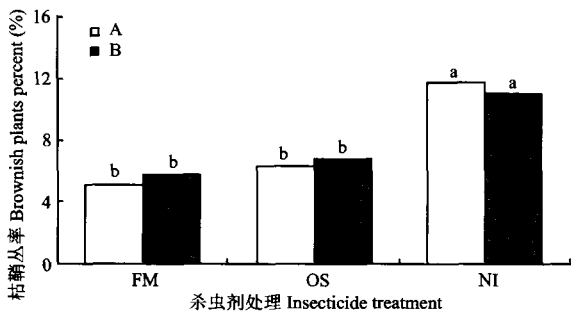


图3 不同次数杀虫剂处理水稻品种受二化螟危害后的枯鞘丛率
Fig. 3 Percent of brownish plants caused by *C. suppressalis* on rice varieties treated with different times insecticide.

表2 不同次数杀虫剂处理水稻品种的产量和千粒重
Table 2 Rice yields and 1000-grain weights of rice varieties applied insecticide with different times

处理 Treatment	产量 Yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)		损失率 Yield loss percent (%)		千粒重 1 000-grain weight (g)		损失率 Yield loss percent (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
FM	7 611.4a	7 983.8a	-	-	25.11a	24.26abc	-	-
OS	6 711.4b	7 111.5ab	11.82	10.93	24.72ab	23.83c	1.58	1.77
NI	6 717.0b	4 516.9c	11.75	43.42	23.96bc	25.04a	4.61	-3.20

A: 嘉花1号 Jiahua 1, B: 汕优63 Shanyou 63. 下同 The same below.

表3 不同次数杀虫剂处理稻米品质
Table 3 Grain quality of rice applied insecticide with different times

项目 Item	A			B		
	FM	OS	NI	FM	OS	NI
糙米率 Percentage of brown rice (%)	80.0(3)	79.4(3)	79.4(3)	80.5(2)	80.0(2)	79.7(2)
精米率 Percentage of milled rice (%)	69.9(3)	69.3(3)	68.7(3)	72.7(1)	71.2(2)	71.4(2)
整精米率 Percentage of milled head rice (%)	55.4(3)	55.8(3)	52.8(3)	53.3(3)	40.5(3)	58.7(2)
粒长 Length of grains (mm)	4.8(3)	4.8(3)	4.9(3)	6.1(2)	6.3(2)	5.9(2)
长宽比 Ratio of length and width of grains	1.8(1)	1.8(1)	1.8(1)	2.5(2)	2.6(2)	2.6(2)
垩白米率 Percentage of chalky rice (%)	41.0(3)	47.0(3)	29.0(3)	92.0(3)	84.0(3)	88.0(3)
垩白度 Percentage of chalkiness (%)	9.4(3)	8.7(3)	3.5(2)	33.6(3)	23.9(3)	37.8(3)
胶稠度 Gel consistency (mm)	76.0(1)	64.0(2)	70.0(2)	86.0(1)	82.0(1)	89.0(1)
直链淀粉含量 Amylose content (%)	15.2(1)	15.1(1)	15.1(1)	20.3(1)	20.2(1)	19.8(1)
蛋白质含量 Protein content (%)	9.1(1)	9.4(1)	10.8(1)	9.9(1)	10.2(1)	11.0(1)

括号里的数值表示依据农业部标准(NY122-86)评价的稻米品质级别, 1,2,3 分别表示一级优质米, 二级优质米和等外级稻米 Values in brackets indicated the evaluation grades of rice grains based on the Departmental Standard of Quality Edible Rice (NY122-86) by Department of Agriculture, China, 1,2,3 stood for grade 1 quality rice, grade 2 quality rice and nongraded rice, respectively.

于农户管理小区水稻产量($7\ 611.4\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 稻谷损失率为12% (表2). 就汕优63而言, 1次杀虫剂处理和农户管理小区水稻产量间没有显著差异. 如果不进行杀虫剂防治, 稻谷损失率可高达43.4%.

嘉花1号水稻千粒重随杀虫剂施用次数的减少而下降, 无杀虫剂小区与农户管理小区千粒重差异显著(表2). 然而, 无杀虫剂小区汕优63千粒重高于农户管理小区, 并显著高于1次杀虫剂处理小区.

3.3 稻米品质

3种杀虫剂处理尽管蛋白质含量随杀虫剂施用次数的减少而有所上升, 但对嘉花1号的糙米率、精米率、整精米率、粒长、粒长宽比、垩白米率、直链淀粉含量和蛋白质含量均没有显著影响(表3); 无杀虫剂小区稻米垩白度较农户管理小区高1个级别, 而农户管理小区胶稠度较无杀虫剂小区高1个级别. 对汕优63而言, 3种杀虫剂处理对稻米品质指标(如糙米率、粒长、粒长宽比、垩白米率、垩白度、胶稠度、直链淀粉含量和蛋白质含量)没有显著影响(表3); 同样, 汕优63蛋白质含量随杀虫剂施用次数的减少而有所上升, 无杀虫剂小区整精米率较农户管理小区高1个级别.

3.4 水稻生产的实际收益比较

水稻生产的实际收益比较表明(表4), 与杀虫剂农户管理小区相比, 杀虫剂使用次数减少至1次的嘉花1号和汕优63小区的实际收入比较接近, 分

表 4 不同次数杀虫剂处理下水稻生产情况及经济收益比较

Table 4 Rice yields and losses under reduced insecticide use and comparisons of actual economic benefits from rice production

水稻品种 Rice variety	处理 Treatment	稻谷产量 Rice yield (kg · hm ⁻²)	稻谷价值 Value of rice (元 · hm ⁻²)	附加值 Additional value (元 · hm ⁻²)	与农户管理相比 Comparison with farmers' management			
					I (元 · hm ⁻²)	II (元 · hm ⁻²)	III (元 · hm ⁻²)	IV (%)
A	FM	7611.4	10656	0	315	0	10341	0
	OS	6711.4	9396	657	105	120 ~ 300	10068 ~ 10248	0.9 ~ 2.6
	NI	6717.0	9403	987	0	180 ~ 450	10570 ~ 10840	-2.2 ~ -4.8
B	FM	7983.8	8632	0	315	0	8318	0
	OS	7111.5	7822	391	105	120 ~ 300	8229 ~ 8409	2.6 ~ 4.7
	NI	4516.9	4968	372	0	180 ~ 450	5522 ~ 5792	32.9 ~ 36.1

I: 成本费和人工费 Cost for insecticides and labor, II: 节余劳动力的其它经济活动收入 Income from saved labor, III: 实际收入 Actual economic benefits, IV: 实际收入减少率 Loss of actual economic benefits.

别为 0.9% ~ 2.6% 和 2.6% ~ 4.7%。如果完全不使用杀虫剂,则嘉花 1 号和汕优 63 的水稻生产实际收入完全相反,汕优 63 减少 32.9% ~ 36.1%,嘉花 1 号反而可以增收 2.2% ~ 4.8%。表 4 还表明,如果种植嘉花 1 号而不进行杀虫剂处理,收获的稻谷价值可达 9 403 元 · hm⁻²,远高于农户管理的汕优 63 的价值(8 632 元 · hm⁻²)。

4 讨 论

4.1 品种抗虫性和杀虫剂处理对水稻害虫发生及产量的影响

害虫的危害与水稻的抗虫性是昆虫与植物相互作用的自然进化结果。国内外的研究均表明,水稻品种对害虫的抗虫性是多形式、多层次和多方面的,是一种或多种抗性机理作用的结果^[9]。因此,种植抗虫品种可以明显地抑制害虫种群的发生和发展。田间试验表明,在完全不使用杀虫剂的情况下,抗白背飞虱水稻品种嘉花 1 号的虫数显著低于感虫品种汕优 63,仅为汕优 63 的 1/10 左右,始终处于推荐白背飞虱防治指标 1 000 只/100 丛^[8]以下,表明抗虫品种对白背飞虱的危害具有明显而有效的抑制作用。与汕优 63 相比,嘉花 1 号对稻纵卷叶螟也表现出明显的抗性,其卷叶率仅为汕优 63 的 1/6。但是,嘉花 1 号和汕优 63 对二化螟的危害反应差异不显著。水稻产量测定结果也表明,无杀虫剂处理的抗虫品种嘉花 1 号的产量与农户管理相比,仅降低 11.8%,而感虫品种汕优 63 却降低了 43.4%。刘光杰等^[12]报道,2002 年无杀虫剂处理的汕优 63 在浙江富阳市和重庆秀山县的产量损失率分别为 25.8% 和 78.4%。许多相关研究都表明,尽管各地区不同年份的白背飞虱发生情况不同,但是虫口密度与水稻的产量损失间呈极显著的正相关^[20,23,24]。

从秀山田间水稻害虫的发生情况调查及杀虫剂防治目标来看,白背飞虱、稻纵卷叶螟和二化螟是该地区水稻生长季节的主要害虫。喷施杀虫剂是目前

稻农防治这些水稻害虫、保障水稻高产稳产的主要措施。本研究也表明,在白背飞虱发生高峰期使用杀虫剂混配剂“天地扫”(阿维菌素和吡虫啉)后,白背飞虱的数量在汕优 63 和嘉花 1 号上均有明显下降,在汕优 63 上下降更为显著,且农户管理小区的数量最低。另外,与“天地扫”配合使用针对稻纵卷叶螟的杀虫单后,杀虫剂 1 次和农户管理小区的卷叶率基本得到了控制,而无杀虫剂小区的卷叶率则继续上升。无杀虫剂小区的二化螟枯鞘率也明显高于杀虫剂 1 次和农户管理小区。由此可知,如果不用杀虫剂防治,抗白背飞虱品种嘉花 1 号的产量将会显著下降。因此,与杀虫剂 1 次和无杀虫剂小区的水稻产量相比,农户管理小区可挽回产量损失 10.9% ~ 43.4%。

千粒重是影响水稻产量的重要因素之一。钱汉良等^[15]报道,水稻千粒重随褐飞虱虫量的增加而逐渐下降。本研究表明,抗虫品种嘉花 1 号的白背飞虱虫量也是随杀虫剂使用次数的减少而增加,水稻千粒重则随杀虫剂使用次数的减少而下降。感虫品种汕优 63 的情况则有所不同,汕优 63 受害较重时,无杀虫剂小区的千粒重反而比农户管理小区高 3.2%。这可能是由于未受害稻株获得了更好的光照和生长条件,使千粒重增加了。

4.2 杀虫剂处理与天敌蜘蛛的关系

蜘蛛是稻田生境的主要捕食性天敌之一^[13]。许多杀虫剂防治试验均表明,杀虫剂在杀死害虫的同时,也杀灭或减少了害虫的天敌,特别是捕食性天敌,降低了它们对害虫的控制作用^[2,3,17]。本试验采用的混配杀虫剂(主要有效成分是吡虫啉和杀虫单)是选择性杀虫剂,对白背飞虱和稻纵卷叶螟具有很好的防治效果^[25],且对蜘蛛等天敌的直接杀伤作用较小^[16]。试验表明,虽然这些杀虫剂没有直接杀死天敌,但显著降低了天敌赖以生存的食料来源^[4,16],导致使用杀虫剂次数较多的农户管理小区的蜘蛛数量明显低于少用或不用杀虫剂的小区。因

此,在害虫的可持续治理中应该减少杀虫剂的施用次数,不要盲目地施用杀虫剂,要维持较低数量的害虫种群,充分利用天敌的控制作用。

4.3 品种抗虫性和杀虫剂处理对稻米品质的影响

稻米品质主要指稻米的加工品质(糙米率、精米率、整精米率)和主要蒸煮食用品质(直链淀粉、胶稠度)^[14],而整精米率、垩白米率和胶稠度是影响米质的三大因子^[18]。从稻米品质测定结果来看,不管是抗虫品种嘉花1号,还是感虫品种汕优63,杀虫剂施用次数的多少在上述几项影响稻米品质的主要指标上没有明显的差异,例外的是农户管理处理小区嘉花1号的胶稠度略好于施用1次杀虫剂和无杀虫剂处理。这说明减少杀虫剂施用量对稻米品质没有明显的影响。另外还发现,嘉花1号和汕优63的稻米蛋白质含量均随杀虫剂施用次数的增多而降低,因此,杀虫剂是否影响稻米蛋白质含量及其原因,还有待于进一步研究。本试验用于米质分析的稻谷样品是同一处理3个重复的混合样品,因此无法进行杀虫剂处理间的显著性分析,希望在以后的研究中加以改进。

4.4 利用抗虫品种和减少杀虫剂的经济收益评估

传统的水稻生产观念主要是以保障水稻的丰产丰收为目的,极少考虑稻谷生产的成本、产出和经济收益。在追求农业生产的经济效益,强调农民增收增收,注重社会效益和生态效益,提倡农业可持续发展的今天,需要重新调整水稻生产的观念。在水稻生产中,虽然减少杀虫剂施用次数以后,稻谷产量会有所下降,稻谷产值也随之下降,但是也降低了施用杀虫剂的成本和人工费用。同时,还可以通过销售杀虫剂含量少或完全无杀虫剂的“减量农药大米”或“无公害稻米”而增值。减少杀虫剂施用次数后,节余或富裕的劳动力还可以从事其它经济活动,而获得一定的经济收益。国内外的市场表明,无公害或农药减量的农产品市场价格比正常施用农药的农产品一般要高15%~30%。所以,农户可以通过生产无公害或农药减量的大米使其增值和减少杀虫剂施用成本的方法来抵消因稻谷产量损失引起的经济损失。本研究采用的嘉花1号就给予了有力的证明。在完全不施杀虫剂的情况下种植抗虫品种嘉花1号,可使水稻生产的实际收入提高2.2%~4.8%,在水稻关键生育期使用一次杀虫剂的话,实际收入仅降低0.9%~2.6%。从感虫杂交稻汕优63来看,在水稻关键生育期施用1次杀虫剂后,由于其自身的产量潜力大,补偿能力强,所以实际收入也仅下降2.6%

~4.7%,但是,如果完全不使用杀虫剂的话,害虫的严重危害可造成不可挽回的产量和经济损失,实际收入损失率可高达36%。田间试验表明,在不施用杀虫剂的情况下种植嘉花1号可增收1.1%~15.9%^[12]。试验还表明,如果进行适当的水稻品种调整,扩大种植市场价值和食用性较好的抗虫粳稻品种,既可减少杀虫剂的施用次数,还可获得较高的经济收益。

综上所述,如果稻农种植对稻飞虱具有抗性或耐性的水稻品种,充分利用蜘蛛等天敌的控制作用,就能够有效地抑制白背飞虱种群的发生和发展,在水稻的关键生育期施用1~2次杀虫剂防治当地的主要水稻害虫(如稻纵卷叶螟或螟虫),就可获得与常规杀虫剂施用量(3~6次)相当或更高的水稻生产经济收益。减少杀虫剂施用次数,对稻米的加工品质、外观品质和食用品质基本没有影响。因此,通过应用对害虫具有一定抗性的水稻品种并结合大田天敌的自然控制作用,可有效地控制害虫的危害,还可增加水稻生产的净收入。当然,本试验结果还有些局限性,有待继续进行更多水稻品种以及多年多点的试验和示范。

致谢 浙江省嘉兴市农业科学院姚海根研究员提供了实验用水稻品种嘉花1号种子,重庆市秀山县植保植检站谢雪梅参加了部分田间试验,谨致谢意。

参考文献

- Chelliah S, Heinrichs EA. 1980. Factors affecting insecticide-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice. *Environ Entomol*, **9**: 773~777
- Ge F (戈峰), Cao D-F (曹东风), Li D-M (李典谟). 1997. The ecological risk analysis of pesticide use and its reduction strategies in China. *Plant Prot Technol Ext* (植保技术与推广), **17**(2): 35~37 (in Chinese)
- Gu Z-Y (顾中言). 1993. Ecological mechanism of chemical leading to pest resurgence. *Plant Prot Technol Ext* (植保技术与推广), **13**(5): 22~23 (in Chinese)
- Guo R (郭荣). 1998. Evaluation of the safety of imidacloprid to spiders in paddy field. *Plant Prot Technol Ext* (植保技术与推广), **18**(3): 30~31 (in Chinese)
- Heinrich EA, Mochida O. 1984. From secondary to major pest status: The case of insecticide-induced rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resurgence. *Prot Ecol*, **7**: 201~218
- Hu C-W (胡国文), Guo Y-J (郭玉杰), Li S-S (李绍石), et al. 1996. The principle and practice of reducing chemical application in paddy field (Part one). *Entomol Knowl* (昆虫知识), **33**(1): 3~7 (in Chinese)
- Hu C-W (胡国文), Guo Y-J (郭玉杰), Li S-S (李绍石), et al. 1996. The principle and practice of reducing chemical application in paddy field (Part two). *Entomol Knowl* (昆虫知识), **33**(2): 65~69 (in Chinese)
- Liu C-J (刘光杰), Chen A-H (陈爱辉), Shen J-H (沈君辉). 2003. Effects of damage by *Sogatella furcifera* on rice yield and eco-

- onomic thresholds. *Entomol Knowl* (昆虫知识), **40**(1): 1~5 (in Chinese)
- 9 Liu G-J (刘光杰), Hu G-W (胡国文). 1995. Recent development of the studies on the mechanisms of varietal resistance to rice planthoppers. *Entomol Knowl* (昆虫知识), **32**(1): 52~54 (in Chinese)
- 10 Liu G-J, Lu Z-X, Tang J, et al. 2001. Managing insect pests of temperate japonica rice by conserving natural enemies through habitat diversity and reducing insecticide use. In: Mew TW, Borromeo E, Hardy B, eds. Exploiting Biodiversity for Sustainable Pest Management. Philippines; IRRI. 43~50
- 11 Liu G-J (刘光杰), Shen J-H (沈君辉), Sogawa K. 2003. Varietal resistance to insect pests in rice and its application in China: History and prospects. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), **17**(suppl.): 1~6 (in Chinese)
- 12 Liu G-J (刘光杰), Sogawa K, Pu Z-G (蒲正国), et al. 2003. Resistance in two hybrid Rice combinations and their parents to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera*. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), **17**(supp): 89~94 (in Chinese)
- 13 Liu Y-F (刘雨芳), Gu D-X (古德祥), Zhang G-R (张古忍). 2002. An investigation of species of predatory arthropods in paddy ecosystems. *Nat Enemies Insects* (昆虫天敌), **24**(4): 145~153 (in Chinese)
- 14 Ni L-J (倪林娟), Yuan Q (袁勤), Cao L-M (曹黎明), et al. 2001. Genetic analysis of rice quality characters of hybrid japonica varieties in Shanghai area. *Acta Agric Shanghai* (上海农业学报), **17**(3): 22~26 (in Chinese)
- 15 Qian H-L (钱汉良), Ke Y-X (柯愈祥), Chen Q-Z (陈其志), et al. 1998. A study on simplified technique to control threshold of rice brown planthopper. *J Southwest Agric Univ* (西南农业大学学报), **20**(5): 423~426 (in Chinese)
- 16 Qiu G-C (仇广灿), Sun G-Z (孙广仲), Cheng X-S (成晓松), et al. 1996. The effect of imidacloprid on spider population in paddy field. *Nat Enemies Insects* (昆虫天敌), **18**(3): 139~140 (in Chinese)
- 17 Wang Y-C (王荫长), Fan J-Q (范加勤), Tian X-Z (田学志). 1994. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomol Knowl* (昆虫知识), **31**(5): 257~262 (in Chinese)
- 18 Yang Z-M (杨泽敏), Hu K-F (胡孔峰), Lei Z-S (雷振山), et al. 2004. Comprehensive analysis of quality characters of late japonica rice. *J Jilin Agric Univ* (吉林农业大学学报), **24**(4): 30~34 (in Chinese)
- 19 Yao H-W (姚洪渭), Ye G-Y (叶恭银), Cheng J-A (程家安). 1998. Advance in resistance of rice planthopper to chemical insecticide in Asia. *Pesticides* (农药), **37**(9): 6~11 (in Chinese)
- 20 Ye Z-X (叶正襄), Qin H-G (秦厚国), Huang R-H (黄荣华), et al. 1993. Yield loss caused by whitebacked planthopper and its economic threshold at heading stage of early rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), **7**(1): 21~24 (in Chinese)
- 21 Zhang N-H (张内河), Ou G-C (欧高才), Yi G-H (易光辉), et al. 1996. Studies on resurgence of rice planthopper induced by the application of several kinds of insecticides. *Plant Prot Technol Ext* (植保技术与推广), **16**(1): 5~7 (in Chinese)
- 22 Zhang W-H (张文辉), Liu G-J (刘光杰). 2001. The genetics and breeding of varietal resistance to insect pests of rice and its application. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), **17**(3): 53~57 (in Chinese)
- 23 Zhang X-L (张夕林), Zhang G-F (张谷丰), Sun X-M (孙雪梅), et al. 1999. Economic damage to Japonica by the second generation population of the white-backed planthopper in the middle-late non-glutinous rice zone. *J Zhejiang Univ* (浙江大学学报), **25**(5): 539~542 (in Chinese)
- 24 Zhang X-L (张夕林), Zhang G-F (张谷丰), Zhang Z (张治), et al. 1998. Economic damage to japonica rice by the second generation population of the whitebacked planthopper. *Acta Phytophyl Sin* (植物保护学报), **25**(2): 129~131 (in Chinese)
- 25 Zhao M (赵敏), Wu C-W (吴传伟), Chen Q (陈群). 1998. Experiments on mixture of imidacloprid and shachongdan effects of control pests in rice fields. *Pesticides* (农药), **37**(5): 26~27 (in Chinese)

作者简介 刘光杰,男,1961年生,研究员,博导.主要从事以抗虫品种为基础的、环境友好型的水稻害虫可持续治理研究.发表论文50多篇. Tel:0571-63370326; E-mail: liugj61@hotmail.com

责任编辑 梁仁禄
