

## 研究报告

## 褐飞虱抗吡虫啉品系生物适合度研究\*

刘泽文 刘成君 张洪伟 韩召军

(南京农业大学农业部病虫监测与治理重点开放实验室 南京 210095)

**Relative biological fitness of imidacloprid resistant strains of *Nilaparvata lugens*.** LIU Ze- Wen, LIU Cheng- Jun, ZHANG Hong- Wei, HAN Zhao- Jun( *Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Disease and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

**Abstract** Although the resistance of BPH to imidacloprid was low in the field, high resistance has been observed in strains selected by imidacloprid. The effects of the imidacloprid resistance on the fitness of BPH were evaluated in terms of developmental and reproductive characteristics by constructing and comparing the life tables of the two resistant strains ( $R_1$ ,  $R_2$ ) with those of susceptible strains (S). The results revealed that both  $R_1$  and  $R_2$  strains had developmental disadvantages, including a lower larval survival rate from neonate to 2nd instar, a lower adult emergence rate and shorter female life-span, as well as reproductive disadvantages such as lower copulation rate, effective fecundity and hatchability. In addition, the  $R_2$  strain had prolonged egg duration and a lower larval survival rate from the 3rd to 5th instar. The fastigium of  $R_2$  was later than that of S and  $F_2$ , and the fecundity of the fastigium of  $R_2$  was also lower than that of S and  $F_2$ . The fitness of the two resistant strains was determining by comparing the population number tendency index( $I$ ) with the susceptible strain as standard. The relative fitness value for the  $R_1$  strain was calculated to be 0.609 and the  $R_2$  strain was only 0.245.

**Key words** *Nilaparvata lugens*, imidacloprid, biological fitness

**摘要** 毒力测定结果显示,虽然褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 田间品系对吡虫啉还没有表现出明显的抗性,但室内筛选品系已经出现了一定水平的抗性,抗性品系 1( $R_1$ )和抗性品系 2( $R_2$ )的抗性倍数分别为 25.38 和 68.92。通过建立抗性品系、田间种群和敏感品系的生命表,发现抗性品系适合度显著下降,而且  $R_2$  品系下降的幅度明显大于  $R_1$  品系。存在显著变化的因素有低龄若虫存活率、成虫羽化率、交配率、产卵量和孵化率下降,雌虫寿命缩短; $R_2$  品系还表现为卵历期延长,3 龄若虫至 5 龄若虫存活率下降。 $R_2$  品系产卵高峰期迟,高峰期日虫量显著低于敏感品系和田间种群。用种群数量趋势指数( $I$ )来确定抗性品系的相对生物适合度,发现与敏感性品系相比, $R_1$  品系和  $R_2$  品系的相对适合度分别为 0.609 和 0.245。

**关键词** 褐飞虱,吡虫啉,生物适合度

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål (brown planthopper, BPH) 是危害水稻最严重的害虫之一,长期以来国内外对褐飞虱的防治主要是以化学防治为主<sup>[1]</sup>,亚洲不少国家和地区的褐飞虱对大量有机氯、有机磷、氨基甲酸酯中常用杀虫剂产生了抗性<sup>[2-4]</sup>。20 世纪 80 年代以来,生产上大量使用扑虱灵来防治褐飞虱,但该药存

在着药效慢、对成虫和卵杀虫效果差的局限<sup>[5]</sup>。20 世纪 90 年代以来,吡虫啉由于对稻飞虱具有卓越的控制作用,成为目前使用最多的防治药剂<sup>[6]</sup>。虽然目前还没有监测到田间褐飞虱种

\* “973”国家重点基础研究项目(J20000162)。

收稿日期:2002-12-11,修回日期:2003-02-24

群对吡虫啉产生明显的抗性,但对桃蚜、白粉虱等同翅目害虫抗性的产生以及作者在室内高水平筛选抗性的出现(另文发表),都表明褐飞虱对吡虫啉产生抗性的可能性<sup>[7]</sup>。因此在吡虫啉防治稻飞虱的过程中,必须充分利用各种合理条件,减少吡虫啉的使用量和使用次数。有研究表明,褐飞虱抗有机磷品系的生物适合度下降<sup>[8]</sup>,使得抗性种群在田间的种群增长受到一定的抑制。如果褐飞虱抗吡虫啉品系也具有适合度下降的特点,并且在害虫防治中充分利用这种种群发展的不利性,就可以减少吡虫啉的用量,延缓抗药性的产生,延长吡虫啉的使用寿命。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

敏感品系(S) 2000年4月由江苏省农科院植保所提供多年室内饲养的褐飞虱,经室内在不接触任何农药的条件下继续饲养繁育而成。

田间品系1( $F_1$ ) 2000年7月采集于南京市江浦县植保站试验田。

田间品系2( $F_2$ ) 2001年7月采集于广西桂林杂交稻田。

抗性品系1( $R_1$ ) 对 $F_1$ 品系连续筛选11代而成。

抗性品系2( $R_2$ ) 对 $F_1$ 品系连续筛选20代而成。

### 1.2 供试药剂

98.0%吡虫啉(Japan Bayer Agrochem Co.),由日本茨城大学 Toru Nagata 教授提供。

### 1.3 毒力测定方法

参照 Nagata<sup>[2]</sup>的方法并加以改进。供试昆虫用  $CO_2$  麻醉 15 s,然后用手微量点滴器(Burkard Manufacturing Co. Ltd, Richmansworth England, Toru Nagata 教授提供,使用体积为 0.0403  $\mu$ L)将药液点滴在试虫的前胸背板上。每个药剂均用丙酮稀释成 5~6 个浓度,每个浓度处理 30 头,重复 3 次,用丙酮做对照。处理后的试虫倾入到装有无土栽培稻苗的饲养杯(Toru Nagata 教授提供)中,每个饲养杯放 15 头,然后将饲养杯放在(25  $\pm$  1)  $^{\circ}C$  的光照培养箱内饲养,光照周期为 16 h/8 h(白天/黑夜),相对湿度为 70%~80%。24 h 后检查结果。

### 1.4 实验种群生命表的构建

参照庞雄飞<sup>[9]</sup>和黄寿山<sup>[10,11]</sup>的方法构建褐飞虱敏感品系(S)、田间品系( $F_1$ ,  $F_2$ )和抗性品系( $R_1$ ,  $R_2$ )的实验种群生命表。每个品系从大笼内随机取 100 只初孵若虫,一直饲养至下代若虫孵化。观察并记录饲养过程中初孵若虫到 2 龄若虫的存活率、3 龄到 5 龄若虫的存活率、若虫历期、羽化率、交配率、产卵量、雌虫寿命、卵历期、孵化率,并据此计算下代初孵若虫数和种群数量趋势指数,确定抗性品系相对适合度的变化。每个品系重复 3 次。

种群数量趋势指数:  $(I) = (N_{n+1}) / N_n$

其中:  $N_n$  为上一代个体数;  $N_{n+1}$  为下一代个体数。若 S 种群数量趋势指数为  $I_S$ , F 或 R 种群的数量趋势指数为  $I_F$  或  $I_R$ ,则 F 或 R 种群的相对适合度为  $I_S / I_F$  或  $I_S / I_R$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品系对吡虫啉的敏感性测定

表 1 不同品系对吡虫啉的敏感性

时间(年)	品系	LD <sub>p</sub>	LD <sub>50</sub> ( mg/kg)	抗性倍数 RR
2000	敏感品系 S	$y = 3.5327x + 19.6780$	0.00007 $\pm$ 0.00001	1
	田间品系 1 $F_1$	$y = 2.7504x + 14.4069$	0.00038 $\pm$ 0.00005	5.44
	抗性品系 1 $R_1$	$y = 1.8173x + 9.9968$	0.00178 $\pm$ 0.00021	25.38
2001	敏感品系 S	$y = 3.2661x + 17.8058$	0.00012 $\pm$ 0.00002	1
	田间品系 2 $F_2$	$y = 2.4182x + 12.4130$	0.00086 $\pm$ 0.00010	7.13
	抗性品系 2 $R_2$	$y = 2.6638x + 10.5473$	0.00827 $\pm$ 0.00104	68.92

从表1可以看出,2000年和2001年的抗药性监测都显示田间品系对吡虫啉的敏感性已经有一定程度的下降。对2000年的田间品系进

行室内抗药性筛选,11代后抗性达到25.38倍;筛选20代后,抗性达到68.92倍。

## 2.2 不同品系生物适合度测定

表2 褐飞虱敏感品系 S、田间品系  $F_1$  和抗性品系  $R_1$  实验种群生命表 (2001,7)

发育阶段	S	$F_1$	$R_1$
初孵若虫数量	100	100	100
初孵若虫至2龄若虫存活率(%)	91.6 ± 1.7 a	92.4 ± 3.0 a	87.4 ± 4.7 b
3龄若虫至5龄若虫存活率(%)	93.7 ± 1.1 a	92.7 ± 2.1 a	91.2 ± 3.2 a
若虫期(d)	15.7 ± 1.3 a	15.1 ± 2.0 a	16.2 ± 2.8 a
羽化率(%)	92.1 ± 1.9 a	90.5 ± 2.7 ab	85.3 ± 4.9 b
雌虫比例(%)	48.1 ± 1.3 a	49.0 ± 2.4 a	48.8 ± 3.7 a
交配率(%)	87.5 ± 4.1 a	88.7 ± 5.5 a	82.8 ± 6.4 b
产卵量(粒)	491.3 ± 65.1 a	437.5 ± 51.4 ab	391.4 ± 73.1 b
雌成虫寿命(d)	21.7 ± 0.9 a	21.1 ± 2.3 ab	19.0 ± 3.1 b
卵历期(d)	9.1 ± 1.4 a	9.7 ± 2.1 a	10.5 ± 1.9 a
孵化率(%)	88.2 ± 4.6 a	87.4 ± 6.3 ab	81.6 ± 9.8 b
推算下代初孵若虫数量(头)	14416.62	12882.76	8774.38
$I$ (种群数量趋势指数)	147.40	128.83	87.74
相对适合度	1	0.874	0.609

注:同一横栏中不同字母表示0.05水平上的显著性差异。

表3 褐飞虱敏感品系 S、田间品系  $F_2$  和抗性品系  $R_2$  实验种群生命表 (2002,9)

发育阶段	S	$F_2$	$R_2$
初孵若虫数量	100	100	100
初孵若虫至2龄若虫存活率/ %	92.3 ± 1.4 A	92.5 ± 3.0 A	79.6 ± 8.3 B
3龄若虫至5龄若虫存活率/ %	94.9 ± 1.7 a	91.2 ± 2.1 ab	87.4 ± 6.1 b
若虫期/d	16.1 ± 0.9 a	15.9 ± 1.7 a	17.1 ± 3.3 a
羽化率/ %	91.5 ± 2.2 A	89.8 ± 2.4 A	71.9 ± 11.4 B
雌虫比例/ %	48.5 ± 4.6 a	48.2 ± 2.1 a	47.9 ± 4.2 a
交配率/ %	87.7 ± 4.1 A	85.7 ± 5.5 A	69.7 ± 13.2 B
产卵量/粒	459.6 ± 52.7 A	416.0 ± 48.2 A	301.9 ± 87.4 B
雌成虫寿命/d	21.4 ± 1.3 a	20.7 ± 2.5 ab	17.2 ± 4.1 b
卵历期/d	8.8 ± 0.9 a	8.9 ± 0.6 a	11.8 ± 1.7 b
孵化率/ %	87.2 ± 6.2 A	89.4 ± 6.3 A	66.4 ± 14.3 B
推算下代初孵若虫数量/头	13662.39	11637.82	3347.75
$I$ (种群数量趋势指数)	136.62	116.38	33.48
相对适合度	1	0.852	0.245

注:同一横栏中不同小写字母表示0.05水平上的显著性差异,不同大写字母表示0.01水平上的极显著性差异。

从表2可以看出,虽然田间品系  $F_1$  与敏感品系 S 在实验观察的各项中都不存在显著差异,但种群数量趋势指数却存在很大差异,分别为147.40和128.83,后者是前者的87.4%。抗性品系  $R_1$  的生物适合度下降很大,与敏感品系 S 存在显著差异的是低龄若虫存活率、成虫羽化率、交配率、产卵量和孵化率下降,雌虫寿命缩短。比较3个群体的实验种群生命表,计算

出3个群体的种群数量趋势指数( $I$ )分别为147.40,128.83和87.74。结果表明,抗性品系  $R_1$  和田间品系  $F_1$  相对于敏感品系 S 的相对生物适合度分别下降到0.609和0.874。

与表2结果相同,表3显示田间品系  $F_2$  与敏感品系 S 在实验观察的各项中都不存在显著差异,但种群数量趋势指数( $I$ )同样存在很大差异,分别为136.62和116.38,后者为前者的

85.2%。抗性品系  $R_2$  的相对生物适合度极显著下降,与敏感品系  $S$  相比,存在极显著差异的因素有低龄若虫存活率、成虫羽化率、交配率、产卵量和孵化率下降;存在显著差异的因素有卵历期延长,3龄若虫至5龄若虫存活率下降和雌虫寿命缩短。根据生命表,计算出3个群体的种群数量趋势指数( $I$ )分别为136.62, 116.38和33.48。结果表明,抗性品系  $R_2$  和田间品系  $F_2$  相对于敏感品系  $S$  的相对生物适合度分别下降到0.245和0.852。

### 2.3 不同品系产卵高峰期的变化

图1显示,抗性品系  $R_2$  与敏感品系  $S$  和田间品系  $F_2$  的产卵量日变化存在一定的差异,抗性品系  $R_2$  产卵始期晚,上升缓慢,高峰期迟;而敏感品系  $S$  和田间品系  $F_2$  产卵始期早,上升快,高峰期早。抗性品系  $R_2$  的产卵高峰期为(10.00 ± 1.22) d,高峰期产卵量为(43.97 ± 8.16)粒/d;敏感品系  $S$  和田间品系  $F_2$  的产卵高峰期分别为(7.00 ± 0.42) d和(7.00 ± 0.76) d,高峰期产卵量分别为(59.17 ± 3.54)粒/d和(56.50 ± 5.39)粒/d。

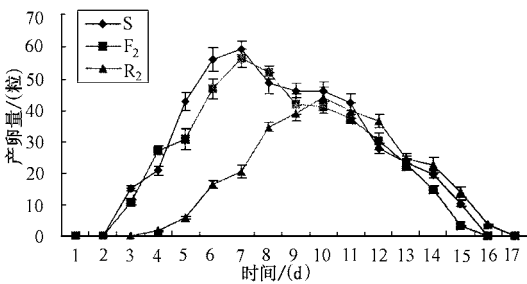


图1 敏感品系  $S$ 、田间品系  $F_2$  和抗性品系  $R_2$  的产卵量日变化

### 3 讨论

自20世纪90年代吡虫啉用于防治稻飞虱以来,一直是稻飞虱防治的主要品种之一,在某些地区甚至是单一品种。田间连续单一使用某种农药,实际上就相当于一种粗放的抗性筛选,但田间并没有出现很高的抗性,作者2000年和2001年的监测结果都证实了这一点。褐飞虱

对吡虫啉抗性发展缓慢,一般认为最重要的原因是褐飞虱的迁飞扩散使抗性得到稀释,延缓了抗性的形成和发展<sup>[12]</sup>。但是本文作者的研究发现,褐飞虱对吡虫啉产生抗性以后,本身的生物适合度下降,抗性群体的种群增长受到抑制,这也会导致抗性个体比例的下降和敏感个体比例的上升,从而保持种群的敏感性。所以在褐飞虱防治中使用吡虫啉时,除了充分利用各种常规的延缓抗性形成和发展的措施外,还可以充分利用抗性种群发展的不利性,这样就可以减少吡虫啉的用量,延缓抗药性的产生,延长吡虫啉的使用寿命。

大多数害虫随着抗药性的上升,会出现适合度下降,从而抑制抗性的发生发展,这对害虫的抗性治理具有重要意义。但并非所有害虫都因抗性上升而引起适合度下降,抗性桃蚜比敏感个体发育更快,体重增加,并且在成虫初期产蚜量增多<sup>[13]</sup>。因此,研究抗性害虫生物适合度下降的机制十分重要,但目前这方面的研究很少,还有待进一步的加强和深入。

### 参 考 文 献

- 1 Nagata T. *Bull. Kyushu Nation. Agri. Exp. Station.*, 1982, 22 (1): 49 ~ 164.
- 2 Nagata T., Masuda T., Moriya S. *Appl. Ent. Zool.*, 1979, 14 (3): 264 ~ 269.
- 3 潘道一,董成森,张铁山. *农药*, 1985, 2: 33 ~ 35.
- 4 高辉华,王荫长,谭福杰,尤子平. *南京农业大学学报*, 1987, 4(增): 65 ~ 71.
- 5 Asai T., Fukada M., Maekawa S., Ikeda K., Kanno H. *Appl. Ent. Zool.*, 1983, 18(4): 550 ~ 552.
- 6 邱光,顾正远,肖英方. *江苏农业科学*, 1994, 78(2): 39 ~ 41.
- 7 张彦英,张弘. *农药*, 1999, 38(4): 22 ~ 23.
- 8 刘泽文,韩召军,王荫长. *南京农业大学学报*, 2001, 24(4): 37 ~ 40.
- 9 庞雄飞. *植物保护学报*, 1990, 17(1): 11 ~ 16.
- 10 黄寿山. *华南农业大学学报*, 1994, 15(3): 45 ~ 49.
- 11 黄寿山,丁克军. *华南农业大学学报*, 1994, 15(4): 47 ~ 51.
- 12 王荫长,李国清,田学志,丁士银,谭福杰. *南京农业大学学报*, 1996, 19(增): 9 ~ 15.
- 13 Banks C.J., Needham P.H. *Ann. Appl. Biol.*, 1970, 66: 465 ~ 468.