应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1381—1386

抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫水稻品种上的适合度比较*

陈 利[1,2**] 陈建明[1***] 何月平[1] 张珏锋[1] 肖鹏飞[1]

(1. 浙江省植物有害生物防控重点实验室省部共建国家重点实验室培育基地,浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所 杭州 310021;2. 杭州师范大学 生命与环境科学学院 杭州 310036)

摘 要 建立抗吡虫啉褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 种群和敏感吡虫啉褐飞虱种群在不同抗虫水稻品种(TN1、IR36)上的实验种群生命表,比较了抗感吡虫啉种群在感虫品种 TN1 上以及在抗虫品种 IR36 上饲养 4 代的种群趋势指数(I)和适合度的差异。结果表明,在 TN1 上,抗吡虫啉和敏感吡虫啉褐飞虱种群的种群数量趋势指数分别为 55.33 和 105.57,抗性种群相对敏感种群的适合度为 0.5241;在 IR36 上,抗感吡虫啉褐飞虱种群的种群数量趋势指数分别为 5.67 和 1.8,抗性种群的相对适合度为 3.15。在 IR36 上连续饲养 2~4 代,发现其种群数量趋势指数在抗性种群和敏感种群分别为 25.25 和 14.58、14.52 和 11.85、42.27 和 54.63;其相对适合度分别为 1.7318、1.2253 和 0.7738。说明抗性种群在抗虫品种上的适应生存较敏感种群优势明显,但随着饲养代数增加,抗性种群的适合度下降。

关键词 抗感吡虫啉褐飞虱,不同抗虫品种,种群生命表,适合度

Comparison of the fitness of imidacloprid-resistant and susceptible populations of the brown planthopper feeding on different varieties of rice

CHEN Li[1,2**] CHEN Jian-Ming[1***] HE Yue-Ping[1] ZHANG Jue-Feng[1] XIAO Peng-Fei[1]

(1. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;
2. College of Life and Environment Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China)

Abstract Experimental population life tables of imidacloprid-resistant and susceptible BPH populations feeding on two rice varieties (TN1, IR36) were compiled and their population number tendency index (PNTI) and fitness determined. The results show that the PNTI of resistant and susceptible BPH feeding on the susceptible rice variety TN1 were 55.33 and 105.57, respectively, and that the relative fitness of resistant compared to susceptible BPH was 0.5241. However, on the pest-resistant rice variety IR36, the PNTI of resistant and susceptible BPH were 5.67 and 1.8, respectively and the relative fitness of the two populations was 3.15. After both populations had been reared for two to four generations under laboratory conditions, the PNTI of 2nd, 3rd and 4th generations of resistant and susceptible BPH were 25.25 and 14.58, 14.52 and 11.85 and 42.27 and 54.63, respectively and the relative fitness of these three generations was 1.7318, 1.2253 and 0.7738 respectively. These results indicate that resistant BPH were more adaptable and had a competitive advantage with regard to the pest-resistant variety rice variety IR36, but that the fitness of this population decreased with successive generations in captivity.

Key words imidacloprid-resistant and susceptible population of *Nilaparvata lugens*, different resistant rice varieties, population life table, fitness

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH)属同翅目飞虱科,具有远距离迁飞习性,是我国和许多亚洲国家水稻生产上最主要害虫之一。目前防治褐飞虱的主要方法是种植抗虫品种和应用化学农药,但推广抗虫水稻品种是控制褐飞虱猖獗最经济有效的方法(Karban and Chen, 2007)。然而,

* 资助项目:国家自然科学基金(30771411,30971918)、国家科技支撑计划专题(2006-BAD08A04-03,2008BADA5B03)。

** E-mail: shiry9985@163.com

*** 通讯作者,E-mail: chenjm63@163.com

收稿日期:2011-07-31,接受日期:2011-08-20

褐飞虱对抗虫品种具有较强的适应性，易产生新的致害性种群，使原有的抗虫品种丧失抗性，这给抗虫水稻品种的选育和推广构成了严重的威胁，也给褐飞虱治理增加了难度。由于杀虫剂的大量频繁使用，褐飞虱对杀虫剂产生抗药性，导致化学防治失败，造成褐飞虱大发生。2005 年全国褐飞虱大发生的主要原因之一就是褐飞虱对吡虫啉产生高度抗药性（Liu *et al.*，2005；程家安等，2008；王彦华等，2008），2006 年江浙等地褐飞虱对吡虫啉的抗性倍数最高可达 881 倍（邹圣龙和刘天龙，2007）。因此，延缓和治理褐飞虱的抗药性是我国水稻生产中急需解决的重要课题。

适合度是害虫对外界环境条件的反应，指害虫在所处环境中能够生存并把它的特性传给一下代得能力，一般包括生活率和繁殖率等（唐振华等，2006；杨峰山等，2006）。在一些抗药性害虫中，由于抗性个体适合度下降，轮用或停用杀虫剂可以使抗性基因频率下降，敏感性基因得以恢复（Roush and Mckenzia，1987）；如果抗性害虫适合度提高，则难以使抗性害虫敏感性恢复（Plapp *et al.*，1989）。对抗药性害虫适合度的研究是选择抗药性治理措施以及了解抗药性动态的基础。Carriere 等（2005）报道，生存在转 Bt 基因作物上的抗性品系适合度低于敏感品系。陈亮等（2006）报道，桃蚜抗吡虫啉品系适合度显著下降，若蚜存活率降低，若蚜历期延长，成蚜寿命缩短；在繁殖上表现为产仔量下降，生殖期缩短；并以净生殖率（*Ro*）和内禀增长率（r_m）来评价抗性品系的相对适合度。但有些学者认为，抗药性昆虫的适合度并没有下降（吴青君等，2000；慕卫等，2005；Parimi *et al.*，2006；Oliveira *et al.*，2007）。王荫长等（1996）报道，抗酰肼类农药褐飞虱种群有生殖劣势，包括交配率、卵孵化率和繁殖力下降。刘泽文等（2001、2003、2004）报道了褐飞虱抗甲胺磷品系和抗吡虫啉品系的适合度，发现抗性品系适合度显著下降，并认为抗性品系适合度下降，可能造成褐飞虱对这些杀虫剂抗性发展的不稳定性，并用种群数量趋势指数来确定抗性种群的相对适合度。然而，至今未曾研究过不同抗药性害虫在抗性品种上的适合度。研究不同抗药性褐飞虱种群在抗虫水稻品种上的适合度，这对治理褐飞虱种群的抗药性，延缓水稻抗虫品种使用寿命和抗性丧失速率具有重要意义。本文通过比较研究抗吡虫啉褐飞虱种群和敏感种群在抗虫水稻品种的相对适合度差异，期望为治理褐飞虱抗药性发展，解释褐飞虱种群暴发原因提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 水稻品种

感虫品种 Taichung Native1（无抗虫基因），抗虫品种 IR36（含抗虫基因 *Bph2*）。水稻种子分期分批播种，当秧苗生长至 4～5 叶期移到大田，肥水管理按常规进行，取分蘖期水稻植株，洗净用于试验。

1.2 褐飞虱

①对吡虫啉敏感褐飞虱种群：由浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所植保工程研究室提供，在不接触任何药剂的条件下一直用 TN1 水稻苗饲养繁殖而成；②抗吡虫啉褐飞虱种群：由敏感种群在室内用吡虫啉连续筛选 50 余代获得的种群，抗性倍数已达 400 倍以上。室内饲养条件为温度（26±0.5）℃和光周期 L∶D＝16∶8。

1.3 生物学特性观察

1.3.1 若虫历期、存活率和羽化率观察 将抗感吡虫啉褐飞虱种群的初孵若虫分别接入放有 1 根 40～45 日龄 TN1、IR36 的健壮无虫稻苗和少许木村 B 营养液的试管中，脱脂棉塞口，置于试管架上，单头饲养。每种群每品种至少重复 80 次，逐日观察记载若虫的蜕皮、死亡和羽化情况，及时取出若虫蜕皮壳，定期换苗和营养液，直至全部羽化。

1.3.2 成虫寿命、产卵量、卵孵化率观察 各品种稻苗在接种前保证无卵，选用主茎，剪去上部叶片，留叶鞘及根，装入大玻璃管中，管内加适量的水稻营养液，每管接入一对当天羽化的成虫，用脱脂棉封口，接虫后每天观察成虫存活率及产卵情况，产卵开始后，每 2 d 检查产卵量，稻苗若出现黄枯，则加入 1～2 根新鲜的分蘖，孵出若虫饲养在对应的水稻品种上，待做下一代试验，直至雌成虫死亡后且连续 3 d 无若虫孵出为止。随后将每管内所有的稻苗在体视镜下解剖并记录未孵化的褐飞虱卵的数量，最后计算各品种上产卵量、产卵期以及雌成虫寿命等。

上述试验均在温度（26±0.5）℃，光照 14 h 的人工气候室内进行。

1.3.3 实验种群生命表的构建 利用单管饲养方法建立实验种群生命表，每天观察并记录饲养

过程中各龄若虫的存活率、若虫历期、羽化率、交配率、产卵量、雌虫寿命、卵历期、卵孵化率，并据此计算下代初孵若虫数和种群数量趋势指数，确定敏感和抗性种群的适合度变化。将从 TN1 品种上孵化出来的初孵若虫接到抗虫品种 IR36 上饲养至成虫产卵孵化，定为 F_1 代; 将 IR36 品种孵化出来的初孵若虫继续在 IR36 品种上再饲养一代，定为 F_2 代; 以此类推。每种群在每品种至少重复 80 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。

1.4　数据分析

用 Microsoft Office Excel 2003 和 SAS 统计软件包(1990) 分析所有数据，用最小显著性差异测定进行比较 2 个种群差异。

2　结果与分析

2.1　抗感吡虫啉褐飞虱在不同抗虫水稻品种上饲养一代(F1 代) 的相对适合度比较

试验时接入初孵若虫 100 头，抗吡虫啉褐飞虱和敏感吡虫啉褐飞虱在感虫品种 TN1 和抗虫品种 IR36 上饲养一代发现，抗性种群和敏感种群的若虫历期在 TN1 上没有差异，在 IR36 上差异显著，抗性种群的若虫历期显著短于敏感种群。在 TN1 上 2 个种群的若虫存活率为 80.00% ~ 88.01%; 在 IR36 上为 43.65% ~ 65.19%。在 TN1 上，2 个种群的羽化率、雌虫比例、交配率、卵孵化率和雌虫寿命均无显著差异，仅在产卵量上差异显著，敏感种群(301 粒/雌) 显著大于抗性种群(245 粒/雌)。种群数量趋势指数分别为 105.57(敏感种群)、55.33(抗性种群)，抗性种群相对敏感种群的适合度为 0.5241。在 IR36 上，抗性种群和敏感种群的雌虫比例、交配率、每雌产卵量、卵孵化率等无显著差异，而羽化率、雌虫寿命等以抗性种群的较高，种群数量趋势指数分别为 1.8(敏感种群)、5.67(抗性种群)，抗性种群相对敏感种群的适合度为 3.15(表 1)。说明抗感吡虫啉褐飞虱种群在感虫品种和抗虫品种上取食一代的相对适合度有较大差异，抗性种群在感虫品种上适合度较差，但在抗虫品种上适合度明显提高，对抗虫品种适应性更强。

表 1　抗感吡虫啉褐飞虱在不同抗虫水稻品种上饲养一代的种群生命表(F1 代)

Table 1　Population life tables of imidacloprid-resistant and susceptible BPH feeding on different resistant rice varieties for one generation (F1 generation)

生物学参数 Biological parameters	感虫品种 Susceptible variety TN1		抗虫品种 Resistant variety IR36(第 1 代)	
	敏感种群 Susceptible population	抗性种群 Resistant population	敏感种群 Susceptible population	抗性种群 Resistant population
初孵若虫数量(头) Newly-hatached nymph number/insect	100	100	100	100
若虫历期(d) Nymphal duration(d)	11.51 ± 0.11a	11.32 ± 0.12a	13.55 ± 0.34a	11.92 ± 0.28b
若虫存活率(%) Survival rate of nymph(%)	88.01	80.00	43.65	65.19
羽化率(%) Emergence rate(%)	88.21 ± 6.05a	79.97 ± 2.49a	41.58 ± 3.08b	52.24 ± 1.47a
雌虫比例(%) Famale ratio(%)	50.34 ± 4.76a	44.27 ± 1.50a	20.58 ± 1.74a	25.19 ± 2.53a
交配率(%) Copulation rate(%)	90.95 ± 5.85a	82.38 ± 9.09a	38.89 ± 14.70a	49.21 ± 11.45a
单雌产卵量(粒) Numbers of egg laid per female/number	301.22 ± 29.70a	245.75 ± 23.90b	162.50 ± 10.44a	153.00 ± 43.30a
卵孵化率(%) Egg hatchability(%)	98.50 ± 0.61a	96.49 ± 1.25a	76.21 ± 11.79a	87.85 ± 10.61a
雌虫寿命(d) Famale longevity(d)	12.65 ± 0.97a	11.21 ± 0.67a	6.94 ± 1.13b	13.86 ± 1.79a
种群数量趋势指数 (I) Population number tendency index	105.57	55.33	1.8	5.67
下一代初孵个体数(头) Nymphal numbers of next generation/insect	10557.22	5532.54	179.9	567.34
* 相对适合度 Relative fitness	1.0000	0.5241	1.0000	3.15

注: 1) 表中数据为平均值 ± 标准误; 2) * 表示同一品种上抗性种群与敏感种群的种群趋势指数的比值; 3) 同品种同参数下，相同小写字母表示抗性种群和敏感种群在 0.05 水平上差异不显著 ($P > 0.05$)，下表同。

1) The data in the table are mean ± SE; 2) * means the ratio of population tendency index of imidacloprid-resistant population to imidacloprid-susceptible population in the same variety; 3) The data within a variety and a parameter followed by the same small letters are not significantly different at 0.05 level; The same below.

2.2 抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种上连续饲养 2 代(F2 代)的相对适合度比较

当抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种 IR36 上连续饲养二代后发现,2 个种群的若虫历期差异显著,以抗性种群的若虫历期显著短于敏感种群。2 个种群的若虫存活率分别为 83.07%(抗性种群)和 64.89%(敏感种群)。除抗性种群的交配率显著低于敏感种群外,其他指标如羽化率、雌虫比例、单雌产卵量、卵孵化率、雌虫寿命等在 2 个种群间均无明显差异。种群数量趋势指数分别为 25.24(抗性种群)和 14.58(敏感种群),抗性种群相对敏感种群的适合度为 1.7311(表 2)。说明抗感吡虫啉褐飞虱种群在抗虫品种上连续饲养 2 代后其适应性均明显提高,其中抗性种群增加了 4~5倍,而敏感种群则增加了 8 倍。

表 2 抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫水稻品种 IR36 上饲养 2 至 4 代的种群生命表(F2~F4 代)

Table 2 Population life tables of imidacloprid-resistant and -susceptible *Nilaparvata lugens* feeding on resistant rice varieties IR36 for two to four generations (F2-F4 generations)

生物学参数 Biological parameters	第 2 代 The 2nd generation		第 3 代 The 3rd generation		第 4 代 The 4th generation	
	敏感种群 Susceptible population	抗性种群 Resistant population	敏感种群 Susceptible population	抗性种群 Resistant population	敏感种群 Susceptible population	抗性种群 Resistant population
初孵若虫数量(头) Newly-hatached nymph number /insect	113	107	100	110	100	87
若虫历期(d) Nymphal duration(d)	15.15 ± 0.27a	13.07 ± 0.10b	13.92 ± 0.19a	13.20 ± 0.09a	14.44 ± 0.13a	14.26 ± 0.14a
若虫存活率(%) Survival rate of nymph(%)	64.89	83.07	62.60	62.59	81.39	82.24
羽化率(%) Emergence rate(%)	62.21 ± 7.69a	62.49 ± 6.39a	56.22 ± 2.35a	60.95 ± 1.96a	80.56 ± 3.22a	83.15 ± 4.98a
雌虫比例(%) Famale ratio(%)	32.58 ± 5.26a	38.88 ± 6.20a	22.82 ± 2.45b	30.86 ± 2.02a	49.05 ± 7.72a	30.81 ± 5.79b
交配率(%) Copulation rate(%)	93.33 ± 6.67a	83.97 ± 8.03b	100.00 ± 0.00a	88.89 ± 11.11b	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
单雌产卵量(粒) Numbers of egg laid per female/number	123.74 ± 25.34a	158.75 ± 34.68a	165.88 ± 23.38b	210.52 ± 30.39a	177.86 ± 27.00a	203.47 ± 27.30a
卵孵化率(%) Egg hatchability(%)	96.04 ± 1.81a	93.83 ± 4.76a	88.92 ± 2.96a	92.37 ± 4.33a	95.50 ± 3.28a	98.60 ± 1.03a
雌虫寿命(d) Famale longevity(d)	13.71 ± 0.93a	12.03 ± 1.19a	12.89 ± 0.82a	11.78 ± 0.83a	12.85 ± 0.76a	10.94 ± 0.43a
种群数量趋势指数(I) Population number tendency index	14.58	25.24	11.85	14.52	54.63	42.27
下一代初孵个体数(头) Nymphal numbers of next generation/insect	1 648.08	2 700.68	1 184.76	1 597.2	5 462.76	3 677.46
相对适合度 Relative fitness	1.0000	1.7311	1.0000	1.2253	1.0000	0.7738

2.3　抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种上连续饲养 3 代(F3 代)的相对适合度比较

抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种 IR36 上连续饲养 3 代后发现,抗性种群和敏感种群的雌虫比例、交配率和单雌产卵量有显著差异,其中抗性种群的雌虫比例高、产卵量大,敏感种群的交配率相对较高。2 个种群的若虫存活率为 62% 左右,其他指标均无明显差异。抗感种群的种群数量趋势指数分别为 14.52 和 11.85,抗性种群相对敏感种群的适合度为 1.2253(表 2)。说明抗感吡虫啉褐飞虱种群在抗虫品种上连续饲养 3 代后其适应性虽比饲养一代要高,但低于连续饲养 2 代的结果,下降了 20% ~40%。

2.4　抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种上连续饲养 4 代(F4 代)的相对适合度比较

抗感吡虫啉褐飞虱在抗虫品种 IR36 上连续饲养 4 代后发现,除雌虫比例有显著差异外,其他指标均无显著差异。抗性种群和敏感种群的若虫历期为 14.24 d 和 14.44 d,若虫存活率为 82.24% 和 81.39%,雌虫比例为 30.81% 和 49.05%。种群数量趋势指数分别为 42.27(抗性种群)和 54.63(敏感种群),抗性种群相对敏感种群的适合度为 0.7738(表 2)。说明抗感吡虫啉褐飞虱种群在抗虫品种上连续饲养 4 代后其适应性均显著提高,又以敏感种群的适合度更高。

3　讨论

适合度是指一个生物能生存并把它的基因传给下一代的相对能力,是一个群体概念,它反映种群质量的指标。当害虫适合度较低时,就意味着其所处环境不利于其生存或种群质量不是处于最佳状态,因而其种群增长就会受到限制。反之,当害虫适合度较高时,种群增长就较快(顾晓军和田素芬,2004)。许多文献报道,对有机磷、有机氯、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯或昆虫生长调节剂甚至生物杀虫剂 Bt 等药剂产生抗性的昆虫的适合度常存在劣势,如发育历期延长、死亡率增加、生殖机能衰退、越冬能力减低等(陈亮等,2006; 牛洪涛等,2007; 韩晓莉等,2008; 兰亦全和赵士熙,2009; 章玉苹等,2009; 王凯等,2010)。适合度下降,抗性种群群体增长受到抑制,这也会导致抗性个体比例的下降和敏感个体比例的上升,从而保持种群的相对敏感性,所以抗性增长到一定程度会有停滞在一定水平的可能。有研究表明,害虫对吡虫啉的抗性具有明显的不稳定性和易回复性,因而抗性只在局部地区发生较为严重,抗性治理也相对容易(Denholm *et al.*, 2002; Nauen and Bretschneider, 2002; Nauen and Denholm, 2005),这可能与抗药性种群的适合度下降有关。

研究发现,褐飞虱对吡虫啉产生抗性之后,本身适合度下降,这可能也是褐飞虱抗药性发展缓慢的原因之一,适合度和抗药性遗传的综合作用有利于敏感性种群的回复(刘泽文等,2003,2004)。本文研究发现抗吡虫啉褐飞虱种群和敏感种群在抗虫水稻品种 IR36 上的相对适合度比在感虫品种 TN1 上低得多,将褐飞虱从 TN1 转移到 IR36 上饲养,其相对适合度急剧下降,随着饲养代数增加,适合度逐渐恢复,整个过程呈波浪形发展。这说明抗虫品种能够在一定程度上降低抗感种群的相对适合度,抑制褐飞虱种群的扩大。研究也明确了抗吡虫啉褐飞虱在抗虫品种 IR36 上连续饲养 3 代时较敏感种群适合度高,生长发育较快,产卵量多等生存优势,连续饲养 4 代后抗性种群反较敏感种群适合度低,与前人研究结果抗性种群较敏感种群相对适合度低的观点不同。这说明在一定程度上适合度的变化除了受前人研究得出的那些因素影响外,还可能受寄主植物抗虫特性的影响。因而,在种植抗虫水稻品种的前提下,除了充分利用各种常规的延缓抗性形成和发展的措施外,还可以利用抗吡虫啉种群增殖的不利性,减少使用吡虫啉的次数和用量,达到确保吡虫啉对褐飞虱的有效控制,延缓褐飞虱抗药性的进一步发展和延长吡虫啉使用寿命的目的。

参考文献(References)

Carriere Y, Ellers-Kirk C, Biggs R, Degain B, Holley D, Yafuso C, Evans P, Dennehy TJ, Tabashnik BE, 2005. Effects of cotton cultivar on fitness costs associated with resistance of pink boll worm (Lepidoptera: Gelechiidae) to Bt cotton. *J. Econ. Entomol.*, 98(3): 947—954.

陈亮,吴兴富,陈若霞,宋春满,姚洪渭,叶恭银,2006. 桃蚜抗吡虫啉品系和敏感品系某些生物学特性比较. 昆虫知识,43(4): 504—508.

程家安,朱金良,祝增荣,章连观,2008. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报,30(2): 176—182.

Denholm I, Devine GJ, Williamson MS, 2002. Insecticide resistance on the move. *Science*, 297(5590): 2222—2223.

顾晓军,田素芬,2004. 害虫适合度与害虫生态控制. 世界科技研究与发展, 23(2): 70—73.

韩晓莉,高占林,党志红,李耀发,潘文亮,2008. 麦长管蚜抗吡虫啉品系和敏感品系的生殖力比较. 昆虫知识,45(2): 243—245.

Karban R, Chen Y,2007. Induced resistance in rice against insects. *Bull. Entomol. Res.*, 97(4): 327—335.

兰亦全,赵士熙,2009. 抗氰戊菊酯甜菜夜蛾品系的交互抗性及相对适合度. 热带作物学报,30(1): 108—111.

刘泽文,韩召军,王荫长, 2001. 褐飞虱抗有机磷品系的交互抗性和适合度研究. 昆虫知识,38(4): 37—41.

刘泽文,韩召军,张春玲,2004. 褐飞虱不同品系杂交子代抗药性和适合度的变化. 中国水稻科学,18(2): 167—170.

刘泽文, 刘成君, 张洪伟, 韩召军, 2003. 褐飞虱抗吡虫啉品系生物适合度研究. 昆虫知识,40(5): 419—421.

Liu Z, Williamson MS, Lansdell SJ, 2005. A nicotinic acetylcholine receptor mutation conferring target-site resistance to imidacloprid in *Nilaparvata lugens* (brown planthopper). *PNAS*, 102(24): 8420—8425.

慕卫,吴孔明,张文吉, 郭予远,2005. 抗高效氯氟氰菊酯甜菜夜蛾近等基因系的交互抗性和品系适合度. 中国农业科学,38(10): 2007—2013.

Nauen R, Bretschneider T, 2002. New modes of action of insecticides. *Pestic. Outl.*, 13(6): 241—245.

Nauen R, Denholm I, 2005. Resistance of insect pests to neonicotinoid insecticides current status and future prospects. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 58(4): 200—215.

牛洪涛,宗建平,王海迎,魏书娟,朱秀凤,罗万春,2007. 小菜蛾对丁烯氟虫腈的抗性选育及生物适合度. 农药学学报,9(3): 245—250.

Oliveira EE, Eugenio E, Guedes RNC, Totola MR, De Marco Jr P, 2007. Competition between insecticide-susceptible and resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Chemosphere*, 69: 17—24.

Parimi S, Meinke LJ, French BW, 2006. Stability and persistence of aldrin and methyl-parathion resistance in western corn rootworm populations (Coleoptera: Chrysomelidae). *Crop Prot.*, 25(3): 269—274.

Plapp FW Jr, Frisb IE, Mccutchen BF, 1988. Monitoring for pyrethroid resistance in *Holiothis* spp. in Texas in 1988. Proc of the Cotton Production and Research Conference, Nashville, Tenn. 347—348.

Roush RT, Mckenzia JA, 1987. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annu. Rev. Entomol.*, 32: 361—380.

唐振华, 陶黎明,李忠,2006. 害虫对新烟碱类杀虫剂的抗药性及其治理策略. 农药学学报,8(3): 195—202.

王彦华,李永平,陈进,沈晋良,李文红,高聪芬,庄永林,戴德江,周威君,梁桂梅,邵振润,2008. 褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力. 中国水稻科学,22(4): 421—426.

王荫长, 李国清, 丁士银,1996. 褐飞虱对常用药剂敏感性的年度间变化规律. 南京农业大学学报, 19(增): 1—8.

王凯,张淑颖,谢兰芬,张婷婷,肖春,2010. 小菜蛾抗溴氰菊酯品系的相对适合度和抗性遗传方式. 农药,49(10): 729—731,740.

吴青君,张文吉,张友军,徐宝云,朱国仁,2000. 敏感和抗阿维菌素小菜蛾的生物适合度. 农药学学报,2(1): 36—40.

杨峰山,吴青君,徐宝云, 曹丽波,朱国仁,张友军,2006. 小菜蛾对 Bt 毒素 CrylAc 和 Bt 制剂抗性的选育及其抗性品系的生物学适应性. 昆虫学报, 49(1): 64—69.

章玉苹,陆永跃,曾玲,梁广文,2009. 桔小实蝇抗高效氯氰菊酯品系种群生命参数与相对适合度. 应用生态学报, 20(2): 381—386.

邹圣龙,刘天龙,2007. 褐飞虱对吡虫啉抗性测定. 安徽农学通报,13(5): 139—140.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1387—1393

褐飞虱侵害对水稻叶片、根 SOD 活性及丙二醛含量的影响*

刘井兰** 杨 霞 吴进才***

(扬州大学园艺与植物保护学院 扬州 225009)

摘 要 以分蘖期水稻协优 963、TN1 为供试材料,研究褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 侵害后水稻叶片、根超氧化物歧化酶(SOD) 活性、丙二醛(MDA) 含量变化情况。结果表明:协优 963、TN1 叶片 SOD 活性变化不明显;15 和 30 头/株侵害协优 963 后 3、6、9 d 根 SOD 活性分别显著下降了 88.4% 和 77.2%、86.8% 和 70.5%、51.3% 和 19.7%;15 和 30 头/株侵害 TN1 后 3 d 根 SOD 活性显著下降了 71.4% 和 89.4%,30 头/株侵害 TN1 后 6、9 d 根 SOD 活性显著下降了 50.3% 和 70.1%。协优 963、TN1 叶片 MDA 含量变化不明显;30 头/株侵害协优 963 后 3 d 根 MDA 含量显著上升了 119.4%,9 d 15 头/株侵害后根 MDA 含量显著上升了 369.7%;15、30 头/株侵害 TN1 后 3、6、9 d 根 MDA 含量分别显著下降了 92.4% 和 87.9%、76.0% 和 54.0%、72.4% 和 98.2%。由此可见,褐飞虱侵害 2 水稻品种后根、叶片变化不同,叶片变化不明显,根 SOD 活性显著下降;2 水稻品种根 MDA 含量变化稍有不同,协优 963 根 MDA 含量显著上升,TN1 根 MDA 含量显著下降。

关键词 褐飞虱,水稻,SOD 活性,MDA 含量

Effects of *Nilaparvata lugens* (Stål) infestation on SOD activities and Malondialdehyde contents in leaves and roots of rice

LIU Jing-Lan** YANG Xia WU Jin-Cai***

(School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract Changes in SOD activity and Malondialdehyde (MDA) content in the leaves and roots of the rice varieties Xie you 963 and TN1 infested by *Nilaparvata lugens* (Stål) were investigated at the tillering stage. SOD activity in the leaves of Xie you 963 and TN1 did not significantly decrease at infestation levels of 15 and 30 nymphs / plant. However, SOD activities in the roots of Xie you 963 decreased significantly after 3, 6 and 9 d at infestation levels of 15 and 30 nymphs / plant SOD activity in the roots of TN1 infested by 15 and 30 nymphs / plant decreased significantly after 3 d. SOD activities in roots decreased significantly after 6 and 9 d when infested by 30 nymphs / plant. The MDA content of the leaves of Xie you 963 and TN1 showed no significant change at infestation level of 15 and 30 nymphs / plant. However, an infestation level of 30 nymphs / plant caused a 119.4% increase in the MDA content of the roots of Xie you 963 after 3 d, while an infestation level of 15 nymphs / plant caused an increase of 369.7% after 9d. The MDA content of the roots of TN1 plants infested by 15 and 30 nymphs / plant decreased after 3, 6 and 9 d. These results showed that changes in SOD activity and MDA content under different levels of *N. lugens* infestation varied with rice organ (roots or leaves). Roots were more sensitive than leaves; although SOD activity and MDA content of the leaves of both cultivars did not change significantly, SOD activity in the roots of both cultivars significantly decreased whereas MDA content in the roots of Xie you 963 significantly increased and that of TN1 significantly decreased.

Key words *Nilaparvata lugens*, rice, SOD activities, MDA contents

---

* 资助项目:国家 973 计划项目(2010CB126200)、国家自然科学基金(30470285)。

**E-mail: liujl@yzu.edu.cn

*** 通讯作者,E-mail: jc.wu@public.yz.js.cn

收稿日期:2011-08-07,接受日期:2011-08-27

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 是长江流域水稻生产上重要的害虫之一，以刺吸稻株的韧皮部汁液为害水稻，严重影响了水稻的产量。目前，在害虫综合治理策略中，利用水稻品种自身的抗(耐)虫性是非常重要的控制策略。地上部及根作为水稻的 2 个不同器官，它们具有相互依赖、相互竞争的动态关系(Magnani *et al.*, 2000)，根系吸收水分、养分功能，叶具备光合功能，各自要向对方提供最低限度的物质(罗远培和李韵珠，1996; 冯广龙和罗远培，2000)。有研究表明，抗(耐)、感虫水稻品种在褐飞虱侵害后同化物(蔗糖与可溶性糖)根、叶片分配不同，干物质根、叶片分配不同(Liu *et al.*, 2008)，感虫水稻品种 TN1 根系吸收氮、磷、钾能力下降较其它水稻品种明显(刘井兰和吴进才，2010)，水稻根系氮、磷、钾元素含量下降较地上部明显，且感虫品种 TN1 体内氮、磷、钾元素含量下降较其它水稻品种明显(刘井兰等，2007)，以上这些生理生化变化与水稻抗(耐)虫性相关，同时也体现了根系功能在水稻抗(耐)虫性中的重要地位。

植物体内有复杂的抗氧化酶系统来应对外界环境(生物与非生物因素)的胁迫(Panda, 2007)，如超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)清除 $O_2^{\cdot -}$ 自由基形成 H_2O_2，过氧化氢酶(catalase, CAT)和过氧化物酶(peroxidase, POD)具有分解 H_2O_2 的能力，这 3 种酶协调作用，使生物体处于一种动态平衡状态，使细胞内的自由基维持在一个低水平，防止自由基的毒害，这是公认的生物体内的抗氧化酶系统(McCord and Fridovich, 1969)，其中 SOD 是研究较深入的一种抗氧化酶(Fridovich, 1995)。丙二醛(malondialdehyde, MDA)是细胞内膜脂过氧化的重要产物，使细胞的生物膜受到损伤，其含量的多少是脂质过氧化作用强弱的一个重要指标。非生物因素如干旱、重金属、营养缺乏、极限温度和紫外线等对植物 SOD 活性及 MDA 含量的影响方面前人做了大量的研究(Slesak *et al.*, 2008; Gill and Tuteja, 2010)，而生物胁迫后植物 SOD 活性及 MDA 变化方面研究报道不多，褐飞虱作为水稻生产上重要的一种害虫，研究其侵害不同抗(耐)、感虫水稻品种后根、叶片 SOD 活性及 MDA 含量变化，对阐明水稻根、叶片膜脂过氧化程度，为水稻虱烧发生及褐飞虱综合治理提供重要的理论与实践意义，为水稻育种工作提供思路，而且有可能把 SOD 活性及 MDA 含量水平作为水稻对褐飞虱抗(耐)虫性的一个生化指标。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 用协优 963(籼稻，中抗)，TN1(籼稻，感虫对照品种)作为供试材料。挑选饱满种子，清水浸种 12 h 后用次氯酸钠消毒 20 min 后，再用清水冲洗干净，放于 35℃ 阴处催芽，待露出胚根后播于筛子筛过的细土中，待 4 叶期(32 日龄)时用清水洗去根部泥土，将其插入预备好的泡沫板孔中，每孔 6 株，再将泡沫板放入充满 Espino 培养液(吉田昌一等，1975)的小桶(高 13.7 cm，直径为 10.4 cm)中水培。储备液制备：大量元素 914 g NH_4NO_3，403 g $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$，714 g K_2SO_4，3 240 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$，886 g $CaCl_2$，分别用 10 L 蒸馏水配制放在玻璃器皿中保存。微量元素 15.0 g $MnCl_2 \cdot 4H_2O$，0.74 g $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$，9.34 g H_3BO_3，77.0 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$，0.35 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$，0.31 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$，119 g 柠檬酸，先各物质溶解后与 500 mL 浓 H_2SO_4 混在一起，加蒸馏水至 10 L 放在玻璃器皿中保存。培养液制备：4 L 培养液的每种大量元素及微量元素储备液的毫升数分别取 5 mL，每天用酸或碱调试使 pH 保持在 5.0 左右，5 d 更换一次营养液。2 周后(46 日龄)，将每穴的水稻苗分单株培养，2 周后(60 日龄)主茎长到 6 叶期，选生长一致的水稻(每株水稻 1 主茎 2 分蘖)作为试验材料。

1.1.2 供试虫源 试验中所用褐飞虱来自于中国水稻研究所(杭州)，接虫试验前，褐飞虱在养虫圃中繁殖 2 个世代。

1.2 实验设计

1.2.1 接虫安排 每株分别接上 2 个褐飞虱密度(3~4 龄若虫)：15 和 30 头/株。接虫后 24 h，检查一次每个处理褐飞虱数量，如有死亡，补足至所设计的密度。对照不接虫。