应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1359—1368

水稻品种与氮肥施用水平对田间褐飞虱发生的影响*

江 涛[1] 赵俊玲[1] 程建军[1] 徐 帅[1] 苏 文[1] 包善微[2] 刘 芳[1]**

(1. 扬州大学园艺与植物保护学院 扬州 225009;2. 江苏如皋农业技术推广中心 如皋 226500)

摘 要 于2010年在田间条件下研究了水稻品种和氮肥施用水平(250 kg /hm^{2}有效氮,125 kg /hm^{2}有效氮及不施氮肥的处理)对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)发生的影响。结果表明,8月10日—9月10日期间,南粳44、宁粳1号、丙123、淮稻9号4个水稻品种上褐飞虱虫量显著低于感虫对照TN1上虫量;9月20日—9月30日,南粳44上的褐飞虱虫量显著高于宁粳1号、丙123、淮稻9号上的虫量。8月20—10月10日期间,氮肥施用水平高的水稻上褐飞虱虫量最高,低氮处理水稻上的虫量次之,不施氮肥水稻上的虫量最少。水稻品种与氮肥施用水平的交互作用对褐飞虱发生的影响不明显。南粳44等4个粳稻品种植株内抗虫物质草酸、类黄酮的含量未显著高于感虫对照TN1,取食不同水稻品种的褐飞虱虫体游离氨基酸含量无显著差异,表明不同水稻品种间虫量不同与草酸、类黄酮的含量以及褐飞虱虫体游离氨基酸的含量不相关。高氮处理水稻植株上草酸、类黄酮含量最低,低氮处理的次之,不施氮肥的对照最高;在高氮处理植株上褐飞虱虫体中甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸5种游离氨基酸含量显著高于在未施氮肥植株上的褐飞虱。由此推测高氮植株中草酸、类黄酮含量低以及取食高氮植株褐飞虱虫体中甘氨酸等5种游离氨基酸的含量显著提高是导致高氮植株上褐飞虱虫量偏高的重要原因。

关键词 褐飞虱,水稻品种,氮肥施用水平,田间种群

Effects of rice varieties and nitrogen fertilizer application rates on the occurrence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* under field conditions

JIANG Tao[1] ZHAO Jun-Ling[1] CHENG Jian-Jun[1] XU Shuai[1] SU Wen[1]
BAO Shan-Wei[2] LIU Fang[1]**

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Agricultural Technology Extension Center of Rugao, Jiangsu 226500, China)

Abstract The effects of rice varieties and nitrogen fertilizer application rates on the occurrence of the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål), were studied under field conditions in 2010. The results indicate that the abundance of BPH on the rice varieties Nanjing 44, Ningjing 1hao, Bing 123 and Huaidao 9hao were significantly lower than that on TN1 during August 10 to September 10. The abundance of BPH on Nanjing 44 was significantly higher than on Ningjing 1hao, Bing 123 and Huaidao 9hao during September 20 to 30. The abundance of BPH on rice plants treated with 250 kg /hm^2 effective nitrogen was the highest, whereas that on rice crops with no nitrogen treatment was the lowest. The interaction between rice variety and nitrogen fertilizer application rate had little effect on the occurrence of BPH. The amounts of oxalic acid and flavonoids in Nanjing 44, Ningjing 1hao, Bing 123 and Huaidao 9hao were not significantly higher than those in TN1, and no significant difference in the amount of free amino acids in BPH feeding on these different rice varieties was found. Therefore, the relatively high abundance of BPH on TN1 was not related to oxalic acid or flavonoid levels in rice plants, or to the amount of free amino acids in the insects' bodies. The amount of oxalic acid and flavonoids in rice plants increased with nitrogen fertilizer application rate. The amounts of glycine, valine, isoleucine, leucine and lysine in BPH feeding on rice plants with high nitrogen application were significantly higher than those to feeding on plants to which no nitrogen fertilizer had been applied. These results suggest that the relatively high abundance

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803003)。

**通讯作者,E-mail: liufang@yzu.edu.cn

收稿日期:2011-08-10,**接受日期:**2011-08-25

of BPH on rice plants treated with high levels of nitrogen fertilizer was caused by the increased level of oxalic acid and flavonoids in such plants, and the relatively high amounts of free amino acids that the insects obtained from them.

Key words *Nilaparvata lugens*, rice variety, nitrogen fertilizer application rate, field population

稻褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 是我国乃至许多其他亚洲国家水稻上的重要害虫。培育和种植抗虫品种是防治该虫的一项有效措施(程遐年等,2003; 程家安等,2008)。抗性品种对褐飞虱的发育、存活及繁殖等有不利影响,最终表现为抗性品种上种群数量低(Heinrichs and Medrano,1985; 程家安和孙祥良,1992; 王荣富等,2000)。而江苏、浙江稻区主栽的粳稻品种对褐飞虱的抗性研究较少。

氮肥是影响植食性昆虫种群发展的一个重要因子。通常认为氮肥对植食者的取食选择性、食物消耗和利用、存活和生长发育、繁殖和种群数量等具有促进作用(Lu *et al.*, 2007)。但也有些研究显示,害虫发生与施氮水平二者之间无正相关关系,甚至出现负相关关系(Scriber and Slansky, 1981; Waring and Cobb,1992)。Lu 等(2004)于实验室条件下研究了氮肥对褐飞虱生态适合度的影响,结果表明,褐飞虱生态适合度参数(若虫存活、雌成虫体重、产卵量和寿命等)随着植株施氮水平的提高而提高。然而,田间条件下氮肥对褐飞虱发生的影响缺乏研究。本文在田间条件下研究了水稻品种与氮肥施用量对褐飞虱发生的影响,并通过测定稻株次生物质含量、虫体游离氨基酸含量,探讨水稻品种、氮肥施用量对褐飞虱发生的影响机制。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻品种为江苏、浙江稻区大面积推广的南粳 44、宁粳 1 号及淮稻 9 号、丙 123 这 4 个粳稻品种,以 TN1(籼稻)为感虫对照。氮肥为尿素。高氮处理为 250 kg /hm^2 有效氮,低氮处理为 125 kg /hm^2 有效氮,以不施氮肥的处理作对照。

褐飞虱虫源由中国水稻研究所提供,于室内用汕优 63 稻苗系统饲养。

1.2 水稻品种与氮肥施用量对田间褐飞虱数量的影响

试验于 2010 年 6—10 月开展,试验点设在江苏仪征市胥浦地区(32°17′N,119°10′E)。试验采取裂区设计,以高氮处理、低氮处理及不施氮肥的对照为主处理,以南粳 44 等 5 个不同的水稻品种为副处理。每处理 4 次重复,每重复内材料随机排列。3 个氮肥处理水平、5 个水稻品种、4 次重复合计 60 个小区,每个小区面积为 5.5 m ×6.5 m。每小区四周作田埂、并用塑料薄膜覆盖。试验田四周均有较大的排水沟,各小区也有各自的排灌水系统,以避免氮肥的泄漏和互窜。分别于移栽前、移栽后 10 d 和分蘖盛期各施用用量比例为 30%、30% 和 40%。从 7 月 10 日开始,每隔 10 d 调查 1 次各小区水稻上的褐飞虱虫量,直至水稻收割为止。采取平行线跳跃式方法取样,以规格统一的白瓷盆拍查。每次以 4 穴水稻为一个样点,每小区每次调查 10 个样点。虫量统一换算成百穴虫量。

1.3 稻株草酸含量的测定

参照段立珍等(2007)的方法。使用 2 mL Fe^{3+} 标准液,1.2 mL 磺基水杨酸,1 cm 的玻璃比色皿,以蒸馏水为参比液,波长 510 nm,pH 值 2.1 ~2.7,选用 pH 值 2.0 的 HCl + KCl 缓冲液,按下列顺序加液: Fe^{3+} 2 mL →缓冲液 20 mL →磺基水杨酸 1.2 mL → $Na_2C_2O_4$ 依次为: 0、0.1、0.2、0.4、0.8 mL →用蒸馏水定容。显色 30 min 后,以蒸馏水为参比液,在 510 nm 波长处进行比色测定。根据测定结果,得出回归方程,绘制草酸含量的标准曲线。

分别于水稻的分蘖期(7 月 20 日)和灌浆期(9 月 10 日),在各小区随机取 2 穴水稻。将水稻植株在蒸馏水中洗涤 2 次,晾干。称取稻株 10 g,加入 10 mL 水,捣碎 2 ~3 min。分别称取 3 份匀浆 5 g,用 10 mL 水洗入 25 mL 容量瓶,置于 70 ~80℃水浴锅上加热 30 min,其间摇动数次,取出冷却,加水至刻度,摇匀过滤。滤液即为草酸的待测液,在 510 nm 波长处进行比色测定。根据标准曲线计算水稻植株草酸含量。每个处理设置 4 次重复。

1.4 稻株类黄酮含量的测定

参照张萍等(2007)和顾艳(2008)的方法。以

芦丁作为水稻总黄酮含量测定的标准品。精密称取芦丁 0.035 g,置于 100 mL 三角瓶中,先加 30 mL 30% 乙醇在水浴锅中加热使其溶解,再定容,制成浓度为 0.35 mg/mL 的标准溶液。精密量取标准溶液 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL 于 7 只 25 mL 容量瓶中,用 30% 乙醇补充至 12.5 mL,再分别加入 0.7 mL 5% 亚硝酸钠,摇匀放 6 min 后加入 0.7 mL 10% 硝酸铝溶液,摇匀放 6 min 后再加入 5 mL 4% 氢氧化钠溶液。再用 30% 乙醇定容至刻度。摇匀,放置 10 min 后离心 10 min,取上清液于波长 507 nm 处测定吸光值。以浓度为横坐标,吸光值为纵坐标,绘图,得回归方程,制作标准曲线。

分别于水稻的分蘖期(7 月 20 日)和灌浆期(9 月 10 日),在各小区随机取 2 穴水稻。准确称取待测水稻稻株 2.000 g,用 30 mL 体积分数为 60% 的乙醇回流提取,每次提取时间为 1.5 h,提取次数以抽提终点为准。提取终点的判断: 将抽提液滴加到预先滴有 0.30 mol / L 的 $AlCl_3$ 与 1 mol/L的 NaOH 混合溶液的显色板上,若不显色,则提取终止。合并上述各次提取液,浓缩,用体积分数为 60% 的乙醇定容至 50 mL,摇匀,于波长 507 nm 处测定吸光值,代入回归方程计算类黄酮含量。每个处理设置 4 次重复。

1.5　褐飞虱虫体氨基酸含量的测定

于 7 月 10 日(田间褐飞虱未见),在每小区用网罩(2 m × 2 m × 1.5 m)笼罩 900 ~ 100 穴水稻,一周后去除笼罩水稻上的白背飞虱和灰飞虱,然后在每个笼罩稻苗上接入 20 对室内繁育的褐飞虱成虫。待褐飞虱在田间繁殖一代后,将笼罩稻苗上的褐飞虱雌成虫盘拍法取回室内,供测试虫体的游离氨基酸用。

褐飞虱虫体氨基酸含量的测定参照丁锦华和都健(1990)的方法。采用日立 L-8900 型氨基酸自动分析仪测定。称取 50 mg 新鲜虫体,加 5 倍体积的 4% 磺基水杨酸,在 4 000 r·min^{-1}的 YQ-3 型匀浆机内匀浆,然后用 0.002 mol/L HCl 定容至一定体积。测定前,将样品在 10 000 r·min^{-1}的离心机上离心 20 min,析出沉淀,取上层清液供测。每个处理设置 4 次重复。

1.6 数据的处理

褐飞虱田间虫量经对数转换后用 DPS 统计软件进行方差分析,其它数据直接用 DPS 统计软件进行方差分析。对方差分析有差异的结果采用 Tukey 测验进行多重比较。处理结果均以"平均值 ± 标准误"表示。

2　结果与分析

2.1　水稻品种与氮肥施用量对田间褐飞虱虫量的影响

田间的褐飞虱于 7 月 20 日始见,至 10 月 10 日调查结束。方差分析结果显示,水稻品种、氮肥施用量对褐飞虱的发生有明显影响。总体而言,水稻品种与氮肥施用量的交互作用对褐飞虱发生的影响不明显(除了 8 月 30 日、9 月 30 日的调查数据外)(表1)。多重比较的结果显示,8月10

表 1　水稻品种与氮肥施用水平对褐飞虱田间虫量影响的方差分析

Table 1　Variance analysis of rice varieties and nitrogen fertilizer application rates on numbers of BPH

日期(月-日) Date (month-day)	品种 Rice varieties			施氮水平 Nitrogen fertilizer application rates			品种 × 施氮水平 Rice varieties × Nitrogen fertilizer application rates		
	自由度 *df*	*F* 值 *F* value	*P* 值 *P* value	自由度 *df*	*F* 值 *F* value	*P* 值 *P* value	自由度 *df*	*F* 值 *F* value	*P* 值 *P* value
7-20	4	0.57	0.6863	2	0.50	0.6106	8	1.05	0.4171
7-30	4	0.78	0.5464	2	1.02	0.3704	8	1.11	0.3731
8-10	4	16.54	0	2	1.44	0.2483	8	0.26	0.9764
8-20	4	33.47	0	2	11.14	0.0001	8	1.51	0.1843
8-30	4	50.52	0	2	5.98	0.0052	8	1.51	0.1828
9-10	4	20.27	0	2	3.71	0.0328	8	2.08	0.0595
9-20	3	5.80	0.0027	2	19.24	0	6	0.51	0.7954
9-30	3	107.11	0	2	136.57	0	6	22.80	0
10-10	3	1.01	0.3989	2	390.89	0	6	0.37	0.8902

日—9 月 10 日期间，南粳 44、宁粳 1 号、丙 123、淮稻 9 号 4 个水稻品种上褐飞虱虫量显著低于 TN1 上虫量；9 月 20 日—9 月 30 日，南粳 44 上的褐飞虱虫量显著高于宁粳 1 号、丙 123、淮稻 9 号上的虫量（图 1）。7 月 20 日—8 月 10 日期间，氮肥对褐飞虱的发生无明显的影响，此后，田间褐飞虱的发生程度表现为随着氮肥施用水平的提高而提高的趋势（图 2）。

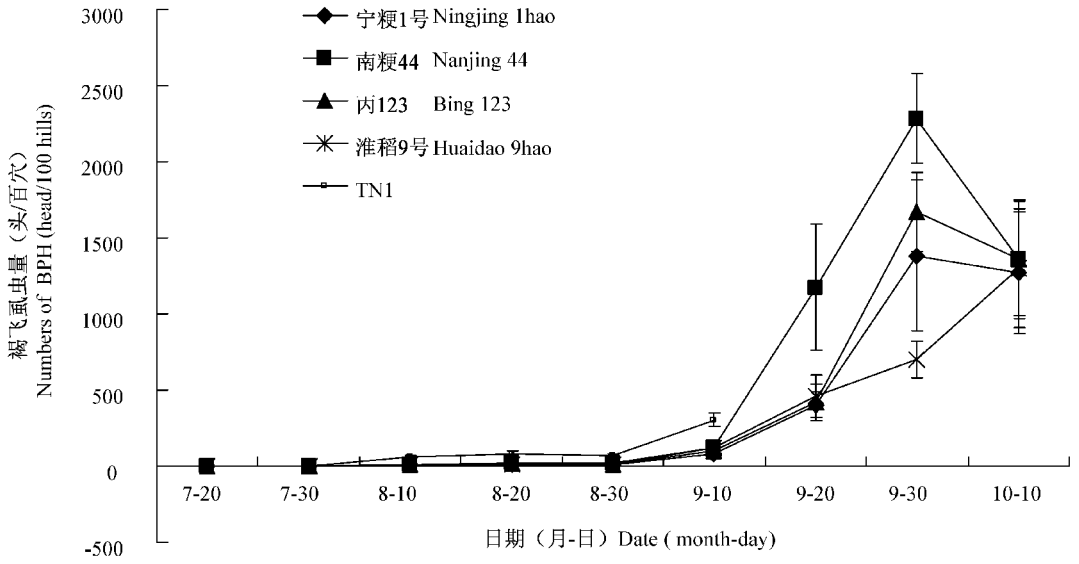

图 1 不同品种水稻上褐飞虱的虫量（头/百穴）

Fig. 1 Numbers of BPH on different rice varieties (head /100 hills)

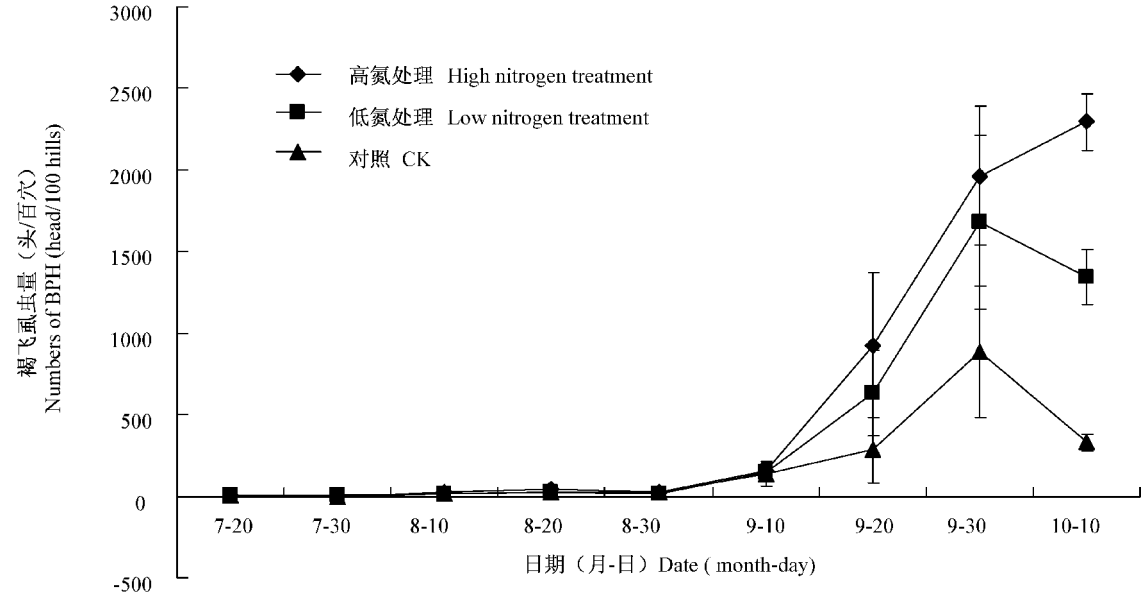

图 2 不同氮肥施用水平对褐飞虱虫量的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen fertilizer application rates on numbers of BPH

高氮处理为 250 kg /hm^2 **有效氮；低氮处理为** 125kg /hm^2 **有效氮；对照**（CK）**为不施氮肥。下图同。**

The high and low nitrogen application treatments mean 250 and 125 kg effective N per hectare, respectively; Control (CK) means no nitrogen application. The same below.

2.2 水稻品种与氮肥施用量对水稻植株草酸含量的影响

不同水稻品种中草酸含量不同(图 3)。分蘖期,宁粳 1 号中草酸含量(49.72 ± 6.01) μg/g 与 TN1(54.99 ± 10.93) μg/g 无显著差异,而南粳 44、丙 123、淮稻 9 号 3 个品种中草酸的含量显著高于感虫对照 TN1(图 3: A);灌浆期,仅淮稻 9 号中草酸的含量(88.40 ± 9.29) μg/g 显著低于 TN1(94.54 ± 10.40) μg/g(图 3: B)。

在分蘖期,高氮肥处理稻株草酸含量(59.67 ± 10.80) μg/g 显著低于低肥处理植株(67.96 ± 14.68) μg/g 和不施肥对照(66.96 ± 15.39) μg/g,而后两者之间无显著差异(图 4: A);在灌浆期,不同氮肥处理水平间草酸含量差异显著,高氮水平处理的草酸含量最低,低氮处理的次之,不施氮肥的对照草酸含量最高(图 4: B)。

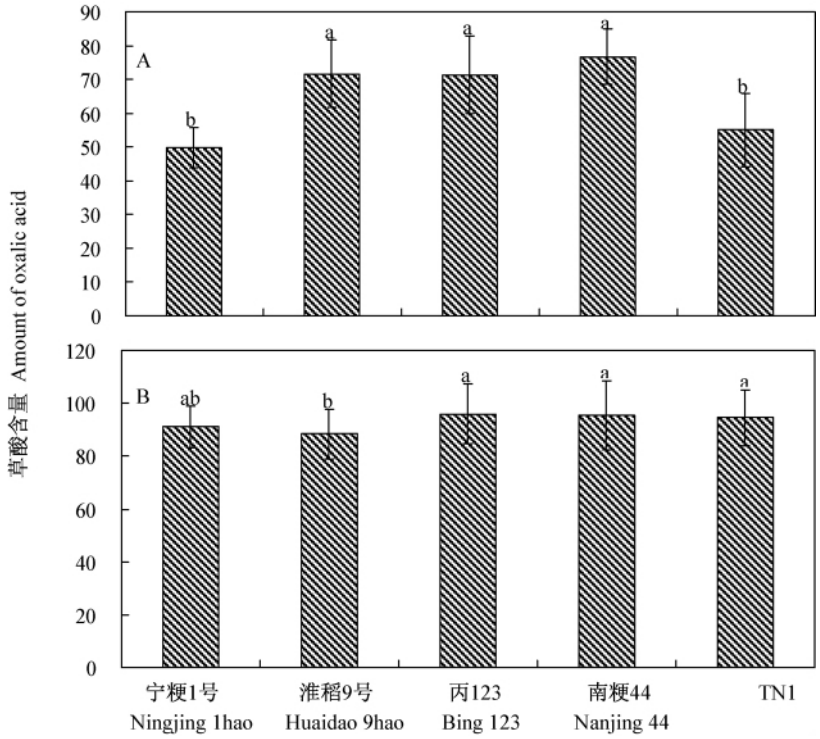

图 3　不同水稻品种中草酸的含量

Fig. 3　Amount of oxalic acid in different rice varieties

A: 分蘖期 Tillering stage; B: 灌浆期 Grain-filling stage

不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同。

Bars with different letters indicated significant difference among treatments ($P < 0.05$). The same below.

2.3　水稻品种与氮肥施用量对水稻植株类黄酮含量的影响

分蘖期和灌浆期南粳 44、丙 123、淮稻 9 号、宁粳 1 号 4 个品种中类黄酮含量显著低于 TN1(图 5: A,B)。在分蘖期和灌浆期,高氮水平植株上的类黄酮含量最低,低氮处理的次之,不施氮肥稻株类黄酮含量最高(图 6: A,B)。

2.4　水稻品种与氮肥施用量对褐飞虱虫体游离氨基酸含量的影响

在不同水稻品种上取食的褐飞虱虫体中天门冬氨酸等 17 种游离氨基酸含量无显著差异(表 2)。在高氮植株上取食的褐飞虱虫体中甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸 5 种游离氨基酸含量显著高于在未施氮肥植株上取食的褐飞虱;而取食高氮植株的褐飞虱虫体游离氨基酸与不施氮肥的对照无显著差异(表 3)。

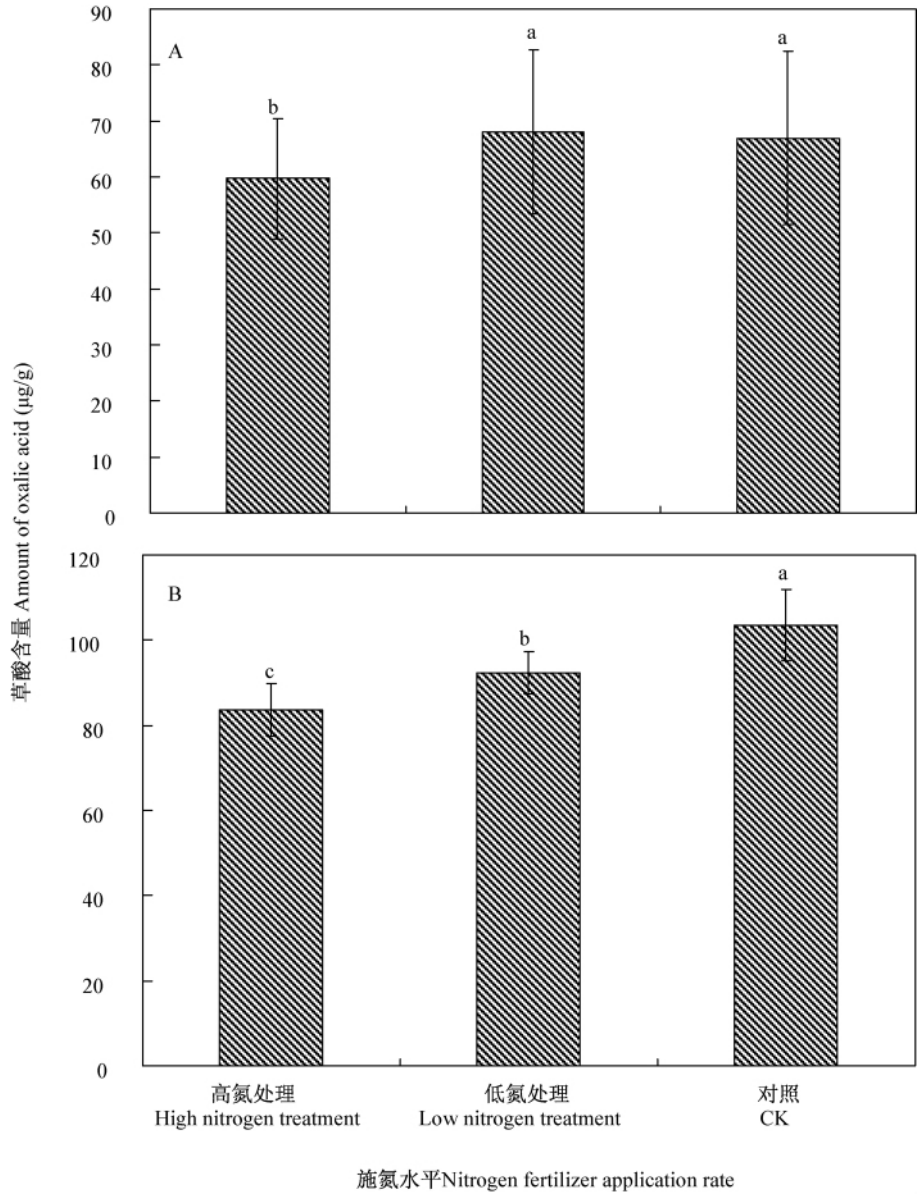

图 4 施氮水平对稻株草酸含量的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen fertilizer application rates on the amount of oxalic acid in rice plants

A: **分蘖期** Tillering stage; B: **灌浆期** Grain-filling stage

3 讨论

本研究中，在 8 月 10 日后即田间褐飞虱始见 20 d 后，不同水稻品种上褐飞虱虫量有明显差异。TN1 上褐飞虱的虫量显著高于丙 123、南粳 44、淮稻 9 号、宁粳 1 号 4 个水稻品种，而丙 123 等 4 个品种上的褐飞虱虫量差异不大，表明丙 123 等的感虫性均低于 TN1。因整个试验期间未用药防治稻飞虱，且 TN1 稻株上白背飞虱的发生量显著高于其它 4 个品种，9 月 10 日后 TN1 植株因褐飞虱和白背飞虱的危害而“冒穿”。9 月 20 日—9 月 30 日，南粳 44 上的褐飞虱虫量显著高于丙 123 等 3 个品种，表明南粳 44 生长后期对褐飞虱的抗性不强，生产上应重视南粳 44 上后期褐飞虱的防治工作。盛仙俏等(2010)报道丙 04 - 103、丙 04 - 08、丙 04 - 123、丙 04 - 132、丙 05 - 129、丙 05 - 227 等系列品种对褐飞虱有明显田间的抗性。本文研究中丙 123 的褐飞虱虫量相对较低，两者的结论基本一致。

草酸含量高低与水稻对褐飞虱的抗性有关，

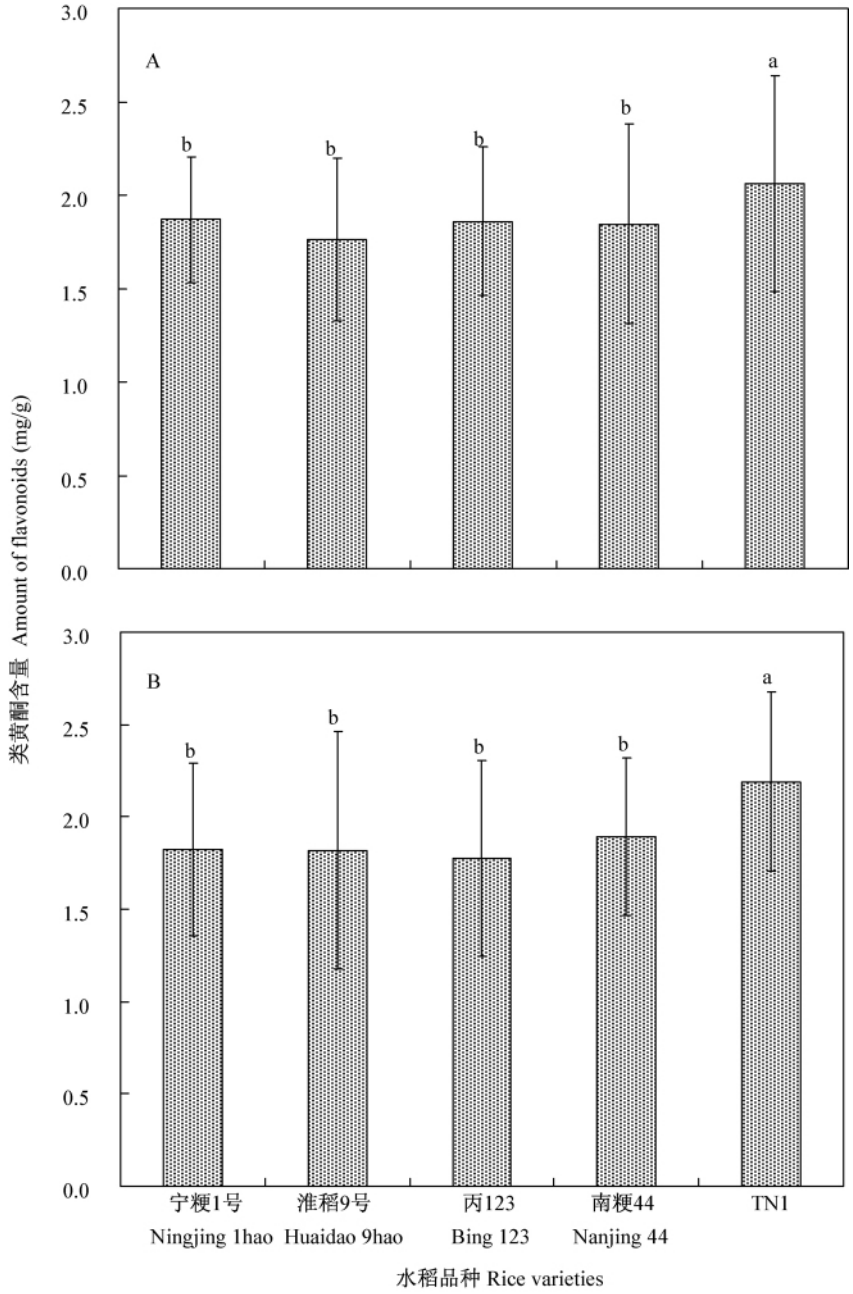

图 5　不同水稻品种中类黄酮的含量

Fig. 5　Amount of flavonoids in different rice varieties

A: **分蘖期** Tillering stage; B: **灌浆期** Grain-filling stage

抗虫品种体内草酸含量高于感虫品种(Yoshihara *et al.* , 1980) 。**本研究中,在分蘖期,尽管** TN1 **植株中草酸的含量显著低于淮稻** 9 **号、丙** 123 **及南粳** 44 **这** 3 **个品种,但此时** TN1 **上褐飞虱的虫量与淮稻** 9 **号等并无显著差异; 在灌浆期,**TN1 **植株中草酸含量与宁粳** 1 **号、丙** 123 **及南粳** 44 **无显著差异,且显著高于淮稻** 9 **号中的草酸含量,而** TN1 **上褐飞虱虫量却明显高于淮稻** 9 **号等** 4 **个品种,表明不同品种间褐飞虱发生程度不同的原因并非草酸含量不同所致。水稻中的类黄酮对褐飞虱的取食有抑制作用**(Grayer *et al.* , 1994; Stevenson *et al.* , 1996) 。**在分蘖期和灌浆期,**TN1 **植株中类黄酮含量显著高于淮稻** 9 **号等** 4 **个品种,表明** TN1 **上褐飞虱虫量较高的原因并非其含有较少的抗虫**

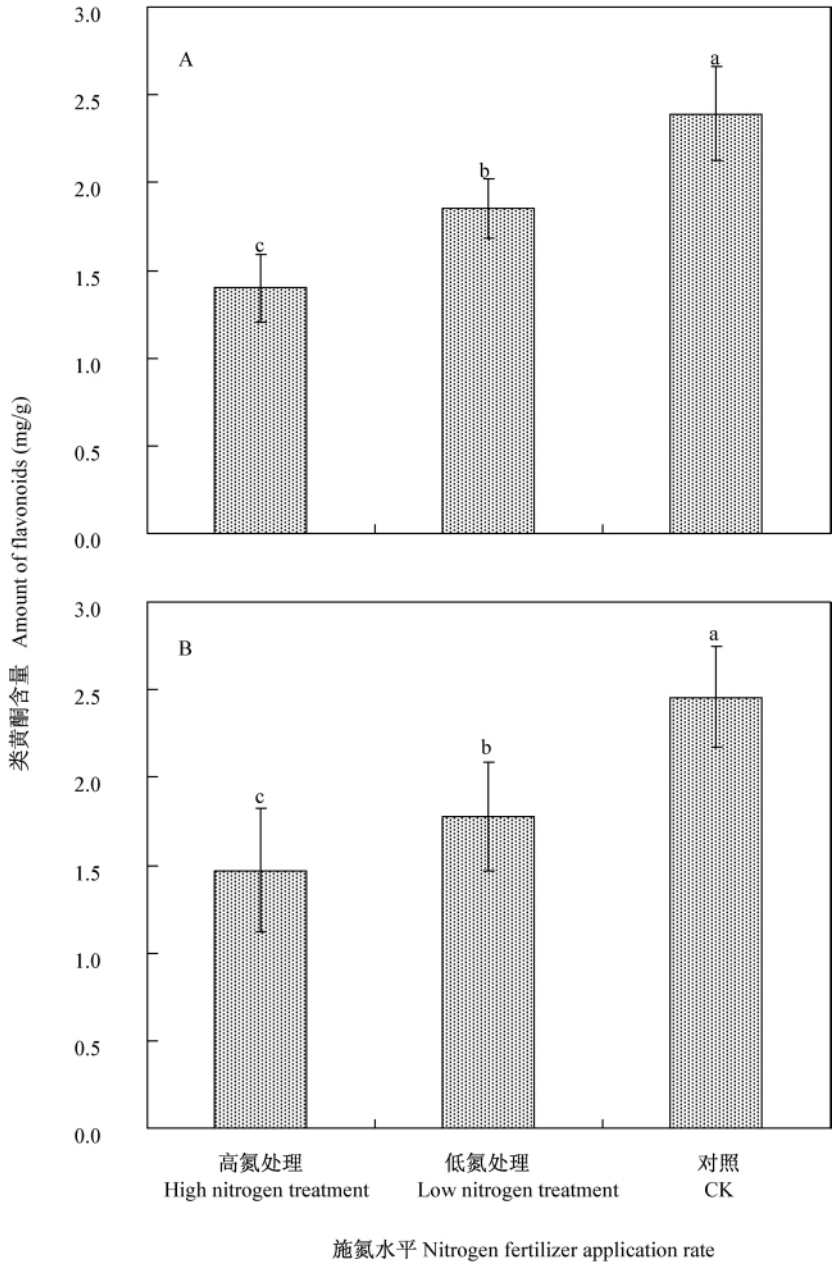

图 6 施氮水平稻株对类黄酮含量的影响

Fig. 6 Effects of nitrogen fertilizer application rates on the amount of flavonoids in rice plants

A: **分蘖期** Tillering stage; B: **灌浆期** Grain-filling stage

物质类黄酮。取食不同水稻品种的褐飞虱虫体氨基酸含量无显著差异，表明不同水稻品种均能满足褐飞虱氮素的营养需求。由此分析，TN1 植株上虫量偏高的原因可能与叶色、植株表面的蜡质及植株的结构等因素有关，这一结果尚待更多的研究来证实。

本文的研究发现，田间褐飞虱的发生量与氮肥施用量有显著相关性，表现为高氮水平处理植株上虫量显著高于低氮水平，不施氮肥的对照上褐飞虱虫量最低。一些实验室条件下的研究表明，褐飞虱雌成虫显著偏爱在含氮量高的稻株上取食和产卵（Lu *et al.*，2005），在高含氮量植株上取食速率加快（Cheng，1971）、若虫存活率高（Lu *et al.*，2004）、种群暴发的频率高（李汝铎等，1996）。

本文用田间试验证实了高氮肥有利于褐飞虱

表 2　水稻品种对褐飞虱虫体游离氨基酸含量的影响(mg/100g)

Table 2　Effects of different rice varieties on free amino acids content of BPH body

氨基酸种类 Amino acids	取食不同品种水稻的褐飞虱虫体游离氨基酸含量(mg/100g) Amino acids content of BPH body in different varieties rice(mg/100g)				
	宁粳 1 号 Ningjing 1hao	南粳 44 Nanjing 44	丙 123 Bing 123	淮稻 9 号 Huaidao 9hao	TN1
天门冬氨酸 Asp	0. 014 ± 0. 005 a	0. 011 ± 0. 003 a	0. 011 ± 0. 003 a	0. 011 ± 0. 004 a	0. 011 ± 0. 003 a
苏 氨 酸 Thr	0. 072 ± 0. 013 a	0. 065 ± 0. 010 a	0. 080 ± 0. 013 a	0. 063 ± 0. 016 a	0. 065 ± 0. 009 a
丝 氨 酸 Ser	0. 034 ± 0. 008 a	0. 029 ± 0. 005 a	0. 034 ± 0. 006 a	0. 031 ± 0. 009 a	0. 037 ± 0. 008 a
谷 氨 酸 Glu	0. 174 ± 0. 024 a	0. 140 ± 0. 016 a	0. 147 ± 0. 029 a	0. 152 ± 0. 033 a	0. 148 ± 0. 014 a
甘 氨 酸 Gly	0. 029 ± 0. 004 a	0. 033 ± 0. 005 a	0. 038 ± 0. 004 a	0. 029 ± 0. 007 a	0. 034 ± 0. 003 a
丙 氨 酸 Ala	0. 236 ± 0. 037 a	0. 221 ± 0. 034 a	0. 230 ± 0. 041 a	0. 233 ± 0. 057 a	0. 268 ± 0. 038 a
半胱氨酸 Cys	0. 021 ± 0. 003 a	0. 020 ± 0. 003 a	0. 019 ± 0. 002 a	0. 016 ± 0. 004 a	0. 017 ± 0. 003 a
缬 氨 酸 Val	0. 072 ± 0. 007 a	0. 074 ± 0. 006 a	0. 079 ± 0. 005 a	0. 065 ± 0. 015 a	0. 073 ± 0. 005 a
蛋 氨 酸 Met	0. 022 ± 0. 003 a	0. 022 ± 0. 002 a	0. 025 ± 0. 003 a	0. 021 ± 0. 005 a	0. 024 ± 0. 003 a
异 亮 氨 酸 Ile	0. 022 ± 0. 005 a	0. 021 ± 0. 004 a	0. 023 ± 0. 003 a	0. 020 ± 0. 006 a	0. 024 ± 0. 003 a
亮 氨 酸 Leu	0. 036 ± 0. 008 a	0. 032 ± 0. 006 a	0. 036 ± 0. 006 a	0. 032 ± 0. 009 a	0. 036 ± 0. 005 a
酪 氨 酸 Tyr	0. 018 ± 0. 006 a	0. 028 ± 0. 005 a	0. 028 ± 0. 010 a	0. 025 ± 0. 009 a	0. 033 ± 0. 007 a
苯 丙 氨 酸 Phe	0. 059 ± 0. 012 a	0. 046 ± 0. 008 a	0. 052 ± 0. 009 a	0. 047 ± 0. 010 a	0. 052 ± 0. 009 a
赖 氨 酸 Lys	0. 066 ± 0. 011 a	0. 064 ± 0. 010 a	0. 073 ± 0. 010 a	0. 062 ± 0. 017 a	0. 068 ± 0. 007 a
组 氨 酸 His	0. 033 ± 0. 007 a	0. 030 ± 0. 008 a	0. 029 ± 0. 012 a	0. 034 ± 0. 009 a	0. 036 ± 0. 009 a
精 氨 酸 Arg	0. 115 ± 0. 020 a	0. 095 ± 0. 019 a	0. 108 ± 0. 022 a	0. 100 ± 0. 027 a	0. 106 ± 0. 012 a
脯 氨 酸 Pro	0. 006 ± 0. 010 a	0. 003 ± 0. 006 a	0. 022 ± 0. 022 a	0. 011 ± 0. 020 a	0 ± 0. 000 a

注: 同行不同字母表示在 0. 05 水平上差异显著。下表同。

Data with different letters in the same row indicated significant difference at 0. 05 level. The same below.

表 3　氮肥施用水平对褐飞虱虫体游离氨基酸含量的影响

Table 3　Effects of different nitrogen fertilizer application rates on free amino acids content of BPH body

游离氨基酸种类 Free amino acids	取食不同施氮水平稻株褐飞虱虫体游离氨基酸含量(mg/100 g) Free amino acids content of BPH body feeding on rice plants treated with different nitrogen fertilizer application rates(mg/100 g)		
	高氮处理 High nitrogen application rate treatment	低氮处理 Low nitrogen application rate treatment	对照 CK
天门冬氨酸 Asp	0. 010 ± 0. 003 a	0. 011 ± 0. 003 a	0. 014 ± 0. 005 a
苏 氨 酸 Thr	0. 073 ± 0. 010 a	0. 065 ± 0. 016 a	0. 070 ± 0. 011 a
丝 氨 酸 Ser	0. 038 ± 0. 006 a	0. 030 ± 0. 009 a	0. 031 ± 0. 005 a
谷 氨 酸 Glu	0. 147 ± 0. 026 a	0. 149 ± 0. 028 a	0. 161 ± 0. 018 a
甘 氨 酸 Gly	0. 037 ± 0. 003 a	0. 032 ± 0. 004 ab	0. 028 ± 0. 006 b
丙 氨 酸 Ala	0. 250 ± 0. 038 a	0. 224 ± 0. 057 a	0. 239 ± 0. 025 a
半胱氨酸 Cys	0. 020 ± 0. 003 a	0. 019 ± 0. 004 a	0. 017 ± 0. 002 a
缬 氨 酸 Val	0. 079 ± 0. 005 a	0. 074 ± 0. 006 ab	0. 065 ± 0. 011 b
蛋 氨 酸 Met	0. 024 ± 0. 003 a	0. 021 ± 0. 004 a	0. 023 ± 0. 003 a
异亮氨酸 Ile	0. 025 ± 0. 004 a	0. 023 ± 0. 004 ab	0. 018 ± 0. 004 b
亮 氨 酸 Leu	0. 039 ± 0. 006 a	0. 036 ± 0. 006 ab	0. 028 ± 0. 007 b
酪 氨 酸 Tyr	0. 026 ± 0. 007 a	0. 028 ± 0. 010 a	0. 025 ± 0. 007 a
苯丙氨酸 Phe	0. 056 ± 0. 009 a	0. 045 ± 0. 011 a	0. 052 ± 0. 009 a
赖 氨 酸 Lys	0. 077 ± 0. 010 a	0. 067 ± 0. 009 ab	0. 054 ± 0. 011 b
组 氨 酸 His	0. 034 ± 0. 009 a	0. 031 ± 0. 010 a	0. 032 ± 0. 007 a
精 氨 酸 Arg	0. 115 ± 0. 017 a	0. 098 ± 0. 026 a	0. 101 ± 0. 015 a
脯 氨 酸 Pro	0. 009 ± 0. 011 a	0. 014 ± 0. 021 a	0. 003 ± 0. 008 a

的发生。本研究还发现稻株中草酸、类黄酮含量的含量与施氮水平呈明显的负相关，即施氮水平越高，植株中草酸、类黄酮的含量越低，这可能是高施氮水平水稻植株上褐飞虱虫量较高的原因之一。取食高氮处理植株的褐飞虱虫体中甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸 5 种游离氨基酸的含量显著高于不施氮肥的对照。缬氨酸为褐飞虱取食刺激剂，赖氨酸、异亮氨酸为褐飞虱生长发育必需的氨基酸，甘氨酸、亮氨酸对褐飞虱的生长发育虽未表现为必需，但缺乏后会明显抑制褐飞虱的生长发育(傅强，1999)。由此可认为取食高氮植株褐飞虱虫体中缬氨酸等 5 种游离氨基酸提高可能是导致高氮处理植株上褐飞虱虫量偏高的另一个重要原因。

参考文献(References)

Cheng CH, 1971. Effect of nitrogen application on the susceptibility in rice to brown planthopper attack. *J. Taiwan Agric. Res.*, 20(3):21—30.

程家安，孙祥良，1992. 水稻品种对褐飞虱种群增长的影响. 植物保护学报，1992，19(2):145—151.

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.

程遐年，吴进才，马飞，2003. 褐飞虱研究与防治. 北京：中国农业出版社. 131—140.

丁锦华，都健，1990. 褐飞虱对游离氯基酸的利用. 昆虫知识，27(2):65—67.

段立珍，汪建飞，赵建荣，2007. 比色法测定菠菜中草酸含量的条件研究. 安徽农业科学，35(3):632—633.

傅强，1999. 褐飞虱全纯人工饲料继代饲养技术及营养生理学研究. 博士学位论文. 杭州：浙江大学.

Grayer RJ, Harborne JB, Kimmins EM, Stevenson FC, Wijayagunasekera HNP, 1994. Phenolics in rice phloem sap as sucking deterrents to the brown plant hopper *Nilaparvata lugens*. *Acta Horticulturae*, 381:691—694.

顾艳，2008. 农药对水稻抗虫物质及籽粒生长的影响. 硕士学位论文. 扬州：扬州大学.

Heinrichs EA, Medrano FG, 1985. Influence of nitrogen fertilizer on the population development of brown planthopper. *IRRN*, 10(6):20.

李汝铎，丁锦华，胡国文，苏德明，1996. 褐飞虱及其种群管理. 上海：复旦大学出版社. 146—151.

Lu ZX, Heong KL, Yu XP, Hu C, 2004. Effects of plant nitrogen on ecological fitness of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in rice. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 7(1):97—104.

Lu ZX, Heong KL, Yu XP, Hu C, 2005. Effect s of nitrogen nutrient on the behavior of feeding and oviposition of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on IR64. *J. Zhejiang Univ.: Agric. and Life Sci.*, 31(1):62—70.

Lu ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C, 2007. Effect of nitrogen fertilizer on herbivores and its stimulation to major insect pests in rice. *Rice Sci.*, 14(1):56—66.

Scriber JM, Slansky FJ, 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 26:183—211.

盛仙俏，张发成，徐红星，郑许松，陈桂华，吕仲贤，2010. 水稻品种(组合)对褐飞虱抗性的田间表现. 中国水稻科学，24(5):535—538.

Stevenson PC, Kimmins FM, Grayer RJ, Raveendranath S, 1996. Schaftosides from rice phloem as feeding inhibitors and resistance factors to brown planthoppers (*Nilaparvata lugens*). *Entomol. Exp. Appl.*, 80(1):246—249.

王荣富，张成林，邹运鼎，吕亮，程遐年，2000. 水稻品种抗性对褐飞虱和白背飞虱种群动态的影响. 应用生态学报，11(6):861—865.

Waring GL, Cobb NS, 1992. The impact of plant stress on herbivore population dynamics // Bernays EA (ed.). Pant-Insect Interaction, Vol 4. CRC Press, Boca Raton. 167—226.

Yoshihara T, Sogawa K, Pathak MD, Juliano BO, Sakamura S, 1980. Oxalic acid as a sucking inhibitor of the brown planthopper in rice (Delphacidae, Homoptera). *Entomol. Exp. Appl.*, 27(2):149—155.

张萍，王玉珠，李红宁，谭萍，2007. 荞麦中生物类黄酮的提取方法研究. 食品研究与开发，28(02):45—47.

前，药剂防治仍是褐飞虱应急防控的主要手段之一，防治用药选准与否，直接关系到防控的成败。在吡虫啉防效下降以及锐劲特已在我国禁用后，了解当前生产上推荐化学药剂对褐飞虱的作用特性更为迫切。

为筛选防治褐飞虱的替代药剂，王彦华等(2008a)于2005—2006年采用稻茎浸渍法测定了6类20余种杀虫剂对广西南宁、桂林，湖南常德和江苏南京褐飞虱种群的室内毒力，发现噻嗪酮、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、异丙威、猛杀威、丁硫克百威等药剂可作为替代高毒药剂的候选品种。目前，噻虫嗪、烯啶虫胺、氯噻啉、乙虫腈等均是生产上防治褐飞虱的推荐药剂，为进一步高效合理选用这些药剂，本文室内比较它们对褐飞虱的作用特性。通过选用烯啶虫胺等药剂的常用制剂，以喷雾法和浸苗法处理比较药剂对褐飞虱的作用活性和作用速度，以及药剂对不同龄期褐飞虱作用活性，以明确不同药剂作用活性和特性的差异。研究结果对于提升褐飞虱高效安全化学防控水平具有一定指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验药剂

25%噻虫嗪水分散粒剂(先正达公司)；10%烯啶虫胺可溶性液剂(南通江山农药化工股份有限公司)；1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂(上海悦联化工有限公司)；10%氯噻啉WP(南通江山农药化工股份有限公司)和10%乙虫腈悬浮剂(拜耳公司)。

1.2 试验对象

褐飞虱若虫，2007年采集南京地区田间褐飞虱，以稻苗为饲料室内饲养5代后龄期一致的若虫用于试验，所用水稻品种为武育粳3号，饲养温度为25～28℃。

1.3 试验方法

分别采用浸苗法和喷雾法测定了药剂对褐飞虱的作用活性和作用速度，用浸苗法了比较了药剂对不同龄期若虫的活性。2种方法的测定过程分述如下：

浸苗法：将各药剂配成系列浓度，培养7 d左右的武育粳3号稻苗浸入药液2 s后取出，每杯内放5株小苗，晾干后置于一次性塑料杯中，杯底垫有已喷洒清水的吸水纸以保湿，再在其中接入龄期一致的试虫，各接入10头龄期和大小一致的褐飞虱若虫，每浓度处理重复4次(杯)，以清水处理作空白对照。

喷雾法：培养7 d左右的武育粳3号稻苗放入一次性杯中，每杯内放5株小苗，杯底垫有已喷洒清水的吸水纸以保湿，接入10头大小一致的褐飞虱3龄若虫，将各药剂配成系列浓度，用小型手动喷雾器对杯内有虫苗进行喷雾，每杯喷2 mL药液，每浓度处理重复4次(杯)，以清水处理作空白对照。

实验在(28±1)℃条件下进行。试验后24 h开始调查死亡虫量，此后每24 h调查一次，共查5次，最后统计各浓度处理的总死亡虫数以及单位时间内死亡虫数，应用DPS软件计算毒力回归方程、LC_{50}、LC_{95}和平均死亡时间。

1.4 数据处理与分析

根据观察记录的不同浓度处理以及空白对照组褐飞虱120 h内死亡数，应用DPS软件计算毒力回归方程、LC_{50}和LC_{95}。根据各药剂高剂量下褐飞虱每日死亡数，获得每头死亡虫的死亡时间，应用DPS软件计算害虫的的平均死亡时间，并采用Tukey's法进行差异显著性统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对褐飞虱若虫作用活性的比较

浸苗法下烯啶虫胺、噻虫嗪等5种药剂对褐飞虱3龄若虫的作用活性(表1)结果表明，5种药剂中烯啶虫胺对褐飞虱的作用活性最高，对3龄若虫的LC_{50}仅为0.41 mg/L，显著高于其它4种药剂的作用活性，其次分别为噻虫嗪、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙虫腈和氯噻啉，氯噻啉对褐飞虱3龄若虫的LC_{50}为59.47 mg/L，显著低于其它4种药剂的作用活性。喷雾法测定时，仍以烯啶虫胺对褐飞虱3龄若虫的活性最高，除与甲氨基阿维菌素苯甲酸盐活性无显著差异外，显著高于其它3种药剂，其次则分别为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、噻虫嗪、乙虫腈和氯噻啉，这当中，噻虫嗪的活性又显著高于乙虫腈和氯噻啉，后两者之间无显著差异(表1)。