

吡蚜酮对水稻褐飞虱取食行为的影响

何月平¹ 陈利^{1,2} 陈建明^{1,*} 陈列忠¹ 张珏锋¹

(¹浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所, 浙江 杭州 310021; ²杭州师范大学 生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036; * 通讯联系人, E-mail: chenjm63@yahoo.com.cn)

Effects of Pymetrozine on the Feeding Behaviour of Rice Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)

HE Yue ping¹, CHEN Li^{1,2}, CHEN Jian ming^{1,*}, CHEN Lie zhong¹, ZHANG Jue feng¹

(¹ Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; ² College of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China; * Corresponding author, E-mail: chenjm63@yahoo.com.cn)

HE Yueping, CHEN Li, CHEN Jianming, et al. Effects of pymetrozine on the feeding behaviour of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Chin J Rice Sci, 2010, 24(6): 635-640.

Abstract: Pymetrozine is one of the recommended alternatives for controlling rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Initial feeding choice experiments with winged female adults showed that after 24 h, there were no significant differences between the numbers of planthoppers alighting on untreated rice plants and those treated with 0.1 g/L pymetrozine (1.5 ± 0.9 adults and 1.6 ± 1.2 adults, respectively). Electrical penetration graph (EPG) data indicated that after the treatment of 0.1 g/L pymetrozine, no significant difference occurred on the frequency of stylet probing, the frequency of penetration into phloem, the duration in the extracellular region of phloem, and the duration of xylem ingestion, while the duration of non probing period increased, and the phloem ingestion behaviour was significantly interrupted compared with the treatment of water. The total duration of phloem ingestion of *N. lugens* adults in 4 h was only 1.2 ± 0.5 min on the plants treated with pymetrozine, whereas 65.1 ± 11.3 min on the untreated plants. Feeding recovery data suggested that the inhibition of pymetrozine on the phloem ingestion of *N. lugens* could be recovered, but took long time. The total duration of phloem ingestion of *N. lugens* was only about 10 min when the insects were first released to the rice seedlings treated by 0.1 g/L pymetrozine for 24 h, and then survived insects were transferred to the untreated rice seedlings for 120 h. It is revealed that pymetrozine had no deterrent or antifeeding effects on *N. lugens*, and did not block the stylet probing and the xylem ingestion of *N. lugens*. However, it significantly inhibited the phloem ingestion of *N. lugens*, and the recovery of *N. lugens* from the inhibitive effects was slow. Thus, pymetrozine has a high and persistent efficacy against *N. lugens*.

Key words: pymetrozine; *Nilaparvata lugens*; feeding behaviour; electrical penetration graph

何月平, 陈利, 陈建明, 等. 吡蚜酮对水稻褐飞虱取食行为的影响. 中国水稻科学, 2010, 24(6): 635-640.

摘要: 吡蚜酮是防治褐飞虱的推荐替代杀虫剂之一。取食选择性试验表明, 0.1 g/L 吡蚜酮处理和清水处理 24 h 稻株上的平均落虫数分别为 (1.6 ± 1.2) 头/株和 (1.5 ± 0.9) 头/株。刺探电位技术监测发现, 与清水对照相比, 0.1 g/L 吡蚜酮浸苗处理下褐飞虱的口针刺探频次、韧皮部刺入频次、在韧皮部外部活动的持续时间以及木质部取食行为的持续时间没有显著差异, 而褐飞虱的非刺探持续时间显著增加, 褐飞虱在韧皮部内摄取汁液被极显著干扰, 吡蚜酮处理后 4 h 内褐飞虱成虫在韧皮部取食的总持续时间只有 (1.2 ± 0.5) min, 而在对照上的总持续时间为 (65.1 ± 11.3) min。取食恢复试验表明吡蚜酮对褐飞虱韧皮部取食的抑制作用可逆, 但是取食抑制的恢复非常缓慢。经吡蚜酮 0.1 g/L 处理 24 h 再转移至清水处理苗上 120 h 后, 韧皮部取食的总持续时间也仅约为 10 min。研究表明, 吡蚜酮对褐飞虱没有驱避性和拒食性, 不阻碍褐飞虱口针刺探和木质部取食, 但对韧皮部取食具有明显的抑制作用, 且这种抑制作用恢复非常缓慢。因此, 吡蚜酮防治褐飞虱的持效期较长。

关键词: 吡蚜酮; 褐飞虱; 取食行为; 刺探电位图

中图分类号: S435.112+3; S482.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2010)06-0635-06

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是我国水稻上的一种重要迁飞性害虫^[1]。近年来, 褐飞虱在我国频繁暴发, 严重威胁着水稻的优质高产。虽然褐飞虱的暴发涉及到水稻品种、耕作制度、气候和自身生物学特性等多种因素, 但其对主要杀虫剂产生抗药性是一个极其重要的因素。褐飞虱现已对常规的有机磷类、氨基甲酸酯类、昆虫生长调节剂类以及新

烟碱类杀虫剂产生了不同程度的抗性^[2-4]。新型药剂吡蚜酮为目前防治褐飞虱的重点推广替代杀

收稿日期: 2010-02-25; 修改稿收到日期: 2010-05-05。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30771411, 31000859); 国家科技支撑计划资助项目 (2006-BAD08A04-03); 浙江省自然科学基金资助项目 (Y307125)。

虫剂品种之一^[5]。在吡蚜酮大面积在我国稻田推广的同时,详细研究吡蚜酮对稻飞虱的作用方式和机理显得非常重要。

吡蚜酮是瑞士汽巴嘉基公司(现为先正达公司)于1988年研发的新型吡啶甲亚胺类杀虫剂。由于它作用方式独特、高效低毒、对环境及生态安全,非常适用于对刺吸式口器害虫的抗性治理和综合防治^[6-7]。吡蚜酮对害虫具有全新的作用方式,研究表明蚜虫(*Aphis fabae* Scopoli、*Myzus persicae* Sulzer、*Aphis gossypii* Glover)被吡蚜酮处理后,其进食立即被阻断,并在几天后因饥饿而死亡,但没有神经毒性的典型症状^[6]。国外毒理学研究^[8-10]推论吡蚜酮可能通过影响控制摄取汁液的神经调控来干扰害虫取食过程。但是吡蚜酮对昆虫取食抑制的具体作用靶标目前尚未明确,而且吡蚜酮对稻飞虱的作用方式研究甚少。

昆虫电子取食监测仪为研究刺吸式昆虫(如飞虱、叶蝉、蚜虫等)在植物组织内部的取食行为提供了一种非常精确、直观的方法^[11-13]。通过记录刺吸式昆虫口针刺探和取食过程中产生的刺探电位波形特征,来观察昆虫在植物组织内部的刺探和取食行为过程,这种技术也称刺探电位图(electronic penetration graph,EPG)。McLean等^[14]首次报道了电子取食监测系统技术及在豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum* Harris)取食行为研究中的应用。这种技术在稻飞虱取食行为中的应用研究始于20世纪80年代。许多学者^[15-20]利用电子取食监测仪研究了褐飞虱在水稻不同抗虫品种上的取食行为。目前诸多研究已明确了EPG波形与褐飞虱刺吸行为的对应关系^[21-22],波形所表示的生物学意义也越来越清楚,这都为EPG技术用于研究褐飞虱的取食行为提供了有力的保障。本研究主要采用昆虫电子取食监测仪就吡蚜酮对褐飞虱取食行为的影响进行评价,以探究吡蚜酮对褐飞虱取食抑制的作用机理。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

以室内连续饲养的褐飞虱敏感品系(由浙江省化工研究院提供)为供试虫源,用水稻品种TN1饲养。室内饲养条件为温度(26±1)和光周期16 h光照/8 h黑暗。

1.2 供试药剂

25%吡蚜酮可湿性粉剂,江苏安邦电化有限公司生产。

1.3 吡蚜酮对褐飞虱取食选择性的影响

对称放置经0.1 g/L吡蚜酮浸渍30 s处理和清水处理的稻苗各两小盆(直径为7 cm,每盆有1株3~4叶龄的稻株),放入同一塑料盆(直径为28 cm)中,并罩上纱笼罩,在塑料盆内灌水至水稻培养杯上沿,使昆虫能自由选择寄主植株。在塑料盆中间接至20头羽化3 d后的雌成虫,重复5次,接虫24 h后记载各处理稻株上的雌成虫数。

1.4 吡蚜酮对褐飞虱刺吸行为的影响

采用四通道面板控制的直流电型(DC-EPG型)昆虫电子取食监测仪(Wageningen Agricultural University)进行取食观察。将1株3~4叶龄的水稻苗在0.01 g/L的吡蚜酮药液中浸渍30 s,取出晾干,并用脱脂棉包住根部,24 h后供电子记录。先用乙醚短时间(15 s)麻醉褐飞虱长翅型雌成虫(预先饥饿但饲水2 h),迅速用导电银胶将一根细金线(直径为20 μm,长为8~10 cm)的一端与褐飞虱中胸背板黏连,另一端相连至昆虫电极。将植物电极插入经药剂处理或清水处理稻苗的盆土中,接通电流,使悬挂的试虫接触稻株叶鞘,并控制其活动范围尽可能在叶鞘上部,开始记录。每个处理设14~15次重复,每次记录重复用不同的昆虫个体和稻株,每个重复连续记录4 h。所有记录均在室内进行,温度为(26±1),相对湿度为(70±5)%。采用随机附带的ACQ和ANA软件分别用于昆虫取食行为的记录和数据的分析统计。参照Seo等^[22]对所有记录的波形特征进行识别和分析(图1)。褐飞虱取食时出现了7种典型波形,包括np、N1、N2、N3、N4 a、N4 b和N5,分别对应非刺探、开始刺探、口针朝维管束移动的途中、口针在临近韧皮部外面移动、口针在韧皮部内部的一种活动、口针在韧皮部内稳定摄取汁液和口针在木质部摄取汁液。虽然Seo等^[22]将褐飞虱在韧皮部内的行为对应的波形划分为N4 a和N4 b,但是目前尚未阐明N4 a波形对应的褐飞虱在韧皮部内活动究竟有何生物学意义,所以参照Kimmins^[17]和Hao等^[21]研究,将N4 a波和N4 b波统计为N4波,作为褐飞虱在韧皮部内摄食活动的波形。

1.5 吡蚜酮对褐飞虱取食抑制的恢复性试验

为了研究吡蚜酮对褐飞虱取食抑制是否可逆,我们设置了9个处理(含对照):P1d 0d、P1d 1d、P1d 3d、P1d 5d(即先将试虫接至0.1 g/L吡蚜酮浸渍过的稻苗上,24 h后再将存活试虫接至清水处理苗上,分别于0 h、24 h、72 h、120 h后进行EPG

记录) ;P3d 0d、P3d 3d(即先将试虫接至 0.1 g/L 吡蚜酮浸渍过的稻苗上 ,72 h 后再将存活试虫接至清水处理苗上 ,分别于 0、72 h 后进行 EPG 记录) ; P5d 0d、P5d 3d(即先将试虫接至 0.1 g/L 吡蚜酮浸渍过的稻苗上 ,120 h 后再将存活试虫接至清水处理苗上 ,分别于 0、72 h 进行 EPG 记录)。以试虫接至清水处理苗上 24 h 后作为对照(CK)。在进行 EPG 监测前预先将试虫饲水饥饿 2 h。每个处理设 4~6 次重复 ,每个重复连续记录 4 h。所有记录均在持续光照的室内进行 ,温度为(26 ± 1) ,相对湿度为(70 ± 5)%。

1.6 数据统计分析

采用 SAS 软件^[23]的 PROC MEANS 程序计算均值和标准误(SE) ,并采用 PROC GLM 程序检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 吡蚜酮对褐飞虱取食选择性的影响

在自由取食选择性试验中 ,24 h 后褐飞虱在 0.1 g/L 吡蚜酮处理和清水处理稻株上的平均落虫数分别为(1.6 ± 1.2)头/株和(1.5 ± 0.9)头/株 ,差异不显著($F=0.05$, $P>0.05$)。实验结果表明吡蚜酮处理对褐飞虱取食选择性没有显著影响。

2.2 吡蚜酮对褐飞虱刺吸行为的影响

通过 EPG 记录得到的各种褐飞虱取食波形的形状和特征与 Seo 等^[22]所描述的取食波形非常吻合(图 1)。对照处理所记录的 14 个重复中 ,100% 的重复在 4 h 内出现了长时间的 N4 取食波 ,且 4 h 内 N4 取食波的总持续时间为(99.2 ± 13.9) min (占 41.33%) ,说明用 EPG 连续监测褐飞虱刺吸行

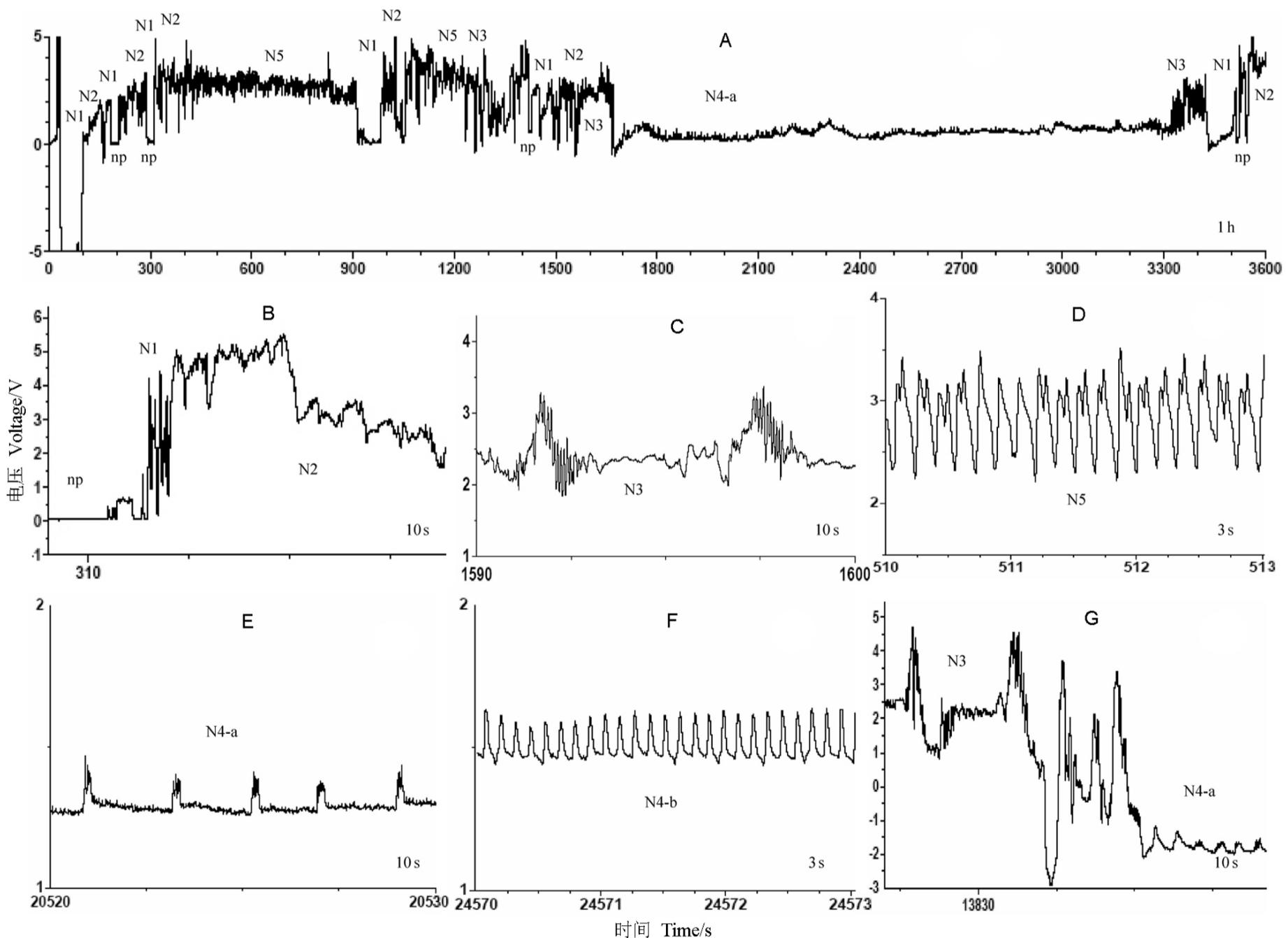


图 1 褐飞虱取食水稻的典型 EPG 波形

Fig.1 . Typical EPG waveforms identified from *N. lugens* feeding on rice plants .

EPG 波形对应的褐飞虱刺吸行为 :np - 非刺探 ;N1 - 开始刺探 ;N2 - 口针朝维管束移动的途中 ;N3 - 口针在临近韧皮部外面移动 ;N4 (N4 a 和 N4 b) - 口针在韧皮部内摄取汁液 ;N5 - 口针在木质部摄取汁液。

np , Non penetration of stylets ; N1 , Penetration initiation ; N2 , Stylet movement ; N3 , An extracellular activity near the phloem region ; N4 (N4 a and N4 b) , Phloem sap ingestion ; N5 , Xylem sap ingestion .

为(如口针刺探时间、韧皮部和木质部取食时间等)4 h 是可行的。

采用 EPG 记录 0.1 g/L 吡蚜酮和清水(对照)浸苗处理对褐飞虱刺吸的行为影响(图 2), 结果发现: 1) 经 0.1 g/L 吡蚜酮处理后, 非刺探(np)波形的总持续时间增加(吡蚜酮处理: $168.1 \text{ min} \pm 24.0 \text{ min}$, 对照: $37.1 \text{ min} \pm 6.8 \text{ min}$; $F = 25.90$, $P < 0.0001$), 而出现次数没有显著差异($F = 0.14$, $P > 0.05$); 2) 开始刺探(N1)波形的平均持续时间很短, 均不超过 0.1 min 经 0.1 g/L 吡蚜酮处理后, N1 波出现次数没有明显增加(吡蚜酮处理: $19.2 \text{ min} \pm 2.7 \text{ min}$, 对照: $17.7 \text{ min} \pm 4.3 \text{ min}$; $F = 0.09$, $P > 0.05$); 3) 经 0.1 g/L 吡蚜酮处理后, N2 和 N3 波形(分别表示口针朝维管束移动的途中和口针在临近韧皮部外面移动)的总持续时间、平均持续时间和出现次数均无显著差异($P > 0.05$); 4) 经 0.1 g/L 吡蚜酮处理后, N4 波形(表示口针在韧皮部内摄取汁液活动)的总持续时间、平均持续时间和出现次数显著减少, 在 15 个 EPG 记录重复中, 66.7% (10/15) 的处理试虫不存在 N4 波, 吡蚜酮浸苗处理的总持续时间只有 $1.2 \text{ min} \pm 0.5 \text{ min}$, 而对照的 N4 波总持续时间为 $65.1 \text{ min} \pm 11.3 \text{ min}$ ($F = 53.42$, $P < 0.0001$), 吡蚜酮的 N4 波出现次数为 1.0 ± 0.5 , 而对照的出现次数为 8.5 ± 1.8 ($F = 16.78$, $P < 0.0003$); 5) N5 波形表示口针在木质部摄取汁液活动, 经 0.1 g/L 吡蚜酮处理后, N5 波的总持续时间、平均持续时间和出现次数没有明显变化(总持续时间: 吡蚜酮浸苗处理为 $37.4 \text{ min} \pm 4.2 \text{ min}$, 对照为 $34.1 \text{ min} \pm 11.6 \text{ min}$; $F = 0.10$, $P > 0.05$)。

EPG 记录数据表明, 0.1 g/L 吡蚜酮浸苗处理对褐飞虱的口针刺探频次、韧皮部刺入频次以及在韧皮部外部(包括在薄壁组织和木质部)的活动持续时间没有显著影响, 而吡蚜酮处理导致褐飞虱的非刺探持续时间显著增加, 极大地抑制了褐飞虱在韧皮部内摄取汁液的活动, 长时间的韧皮部稳定摄食波形(N4 b)几乎没有出现, 大多数褐飞虱不进入韧皮部内摄取汁液, 仅少部分飞虱短暂性地刺入韧皮部, 平均持续时间不超过 $(0.5 \pm 0.2) \text{ min}$ 。

2.3 吡蚜酮对褐飞虱取食抑制恢复性的影响

在取食抑制恢复试验中, 处理后的存活褐飞虱雌成虫采用 EPG 在未经药剂处理的水稻苗上监测 4 h。所有取食抑制恢复处理与对照相比, 木质部取食波形(N5 波形)的持续时间没有明显差异($F = 0.47$, $P > 0.05$); 而处理间韧皮部取食波形(N4波

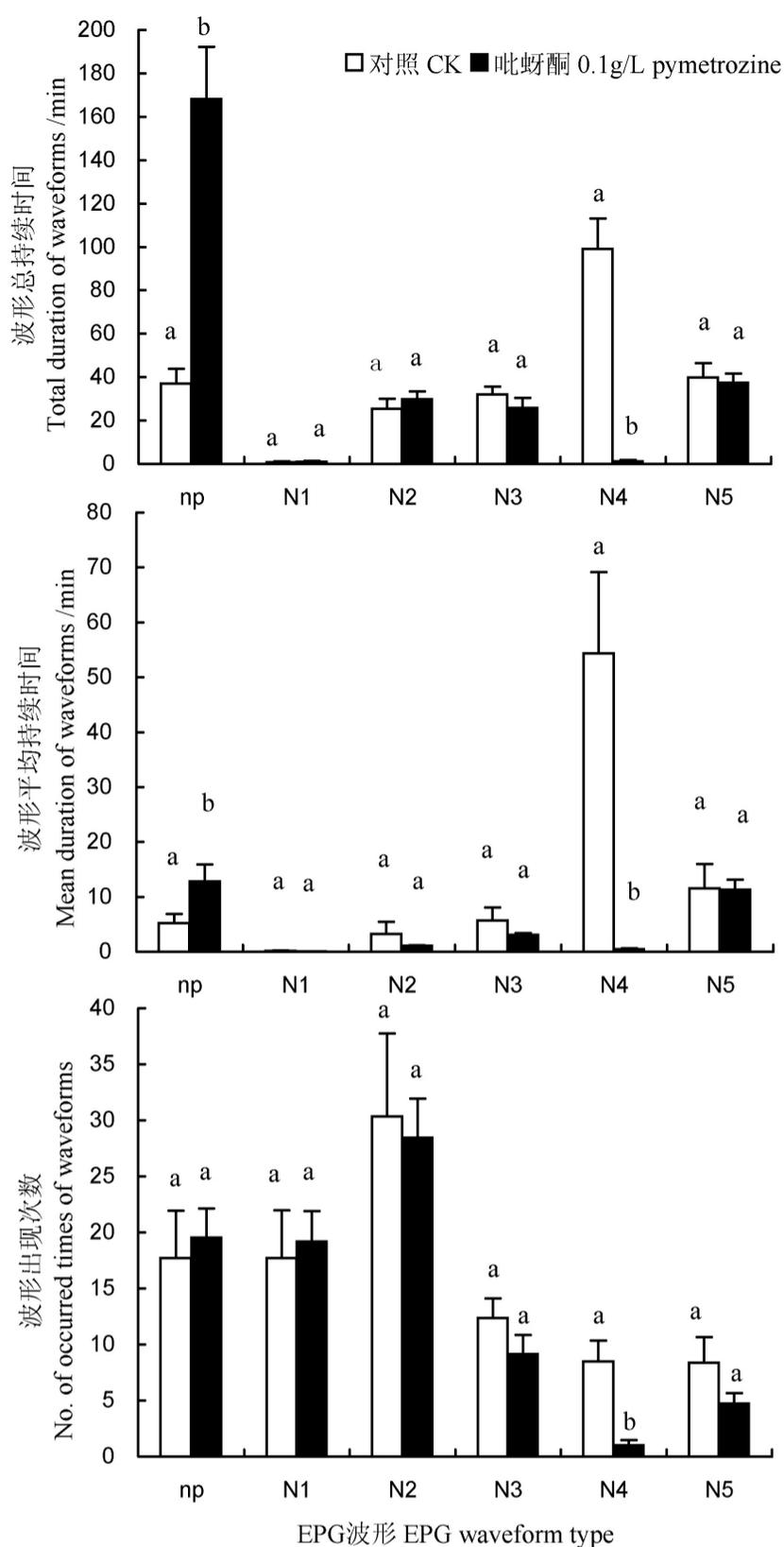


图 2 EPG 记录褐飞虱成虫在吡蚜酮(0.1 g/L)处理稻苗上的取食行为(记录时间 4 h)

Fig. 2 Feeding behaviour of *N. lugens* adults on the rice seedlings treated with pymetrozine (0.1 g/L) recorded by EPG (In 4 h recording period).

同一波形参数的两个处理标有相同字母者表示差异不显著($P > 0.05$)。

Bars with the same letter above within a parameter show no significant difference ($P > 0.05$).

形)持续时间差异显著($F = 3.50$, $P < 0.05$)(图 3)。4 h 监测时间内, CK 的 N4 波形总持续时间为 $(76.8 \pm 24.2) \text{ min}$ 。0.1 g/L 吡蚜酮处理 24 h 后, 所有 5 次记录均没有出现 N4 波形, 转移至清水处理苗上 24 h 后, 依然没有出现 N4 波形, 转移至清水处理苗上 72 h 和 120 h 后, 又恢复了韧皮部取食, 总持续时间为 $(1.8 \pm 1.8) \text{ min}$ 和 $(11.1 \pm 11.1) \text{ min}$; 经

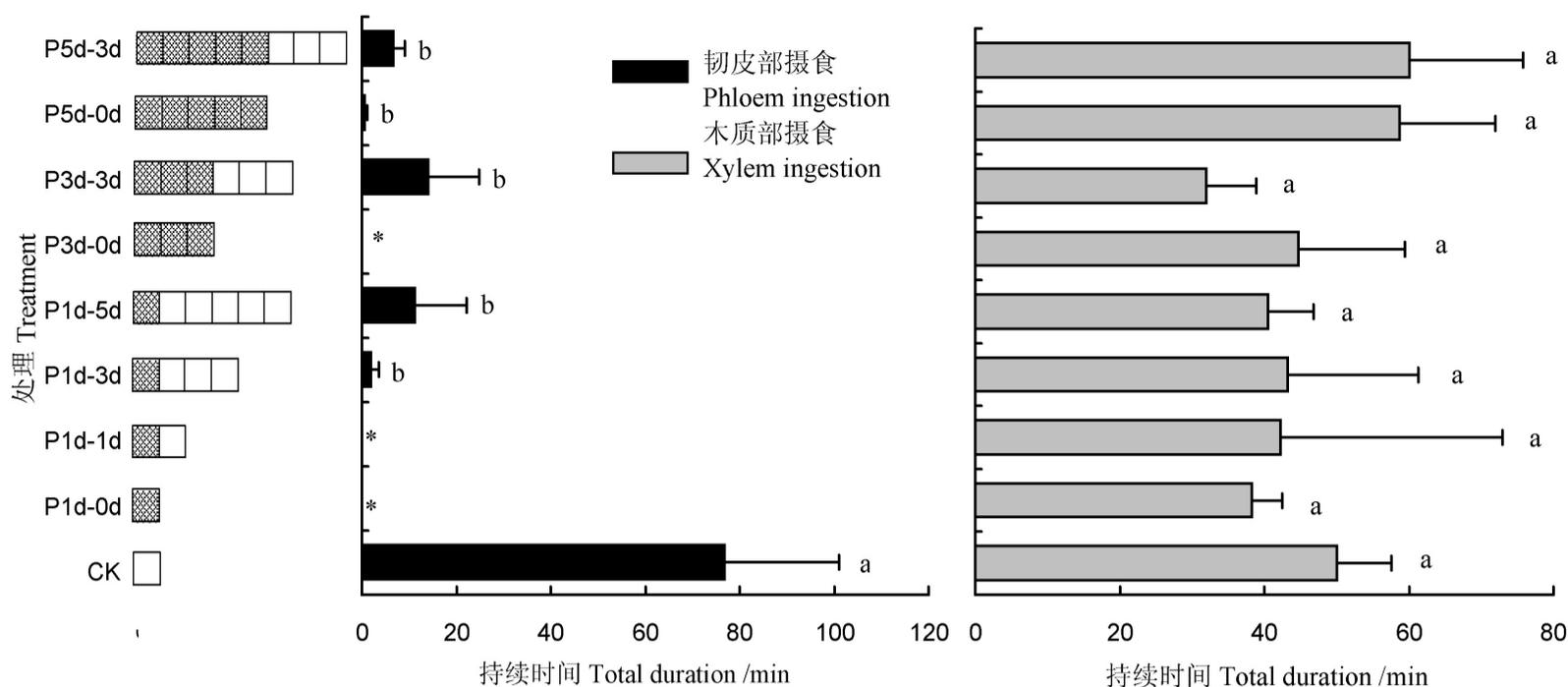


图3 EPG监测0.1 g/L吡蚜酮处理后褐飞虱取食抑制的恢复情况(记录时间4 h)

Fig. 3 Recovery of feeding behaviour of *N. lugens* after pymetrozine (0.1 g/L) treatment recorded by EPG (In 4 h recording period).

P1d 0d, P1d 1d, P1d 3d, P1d 5d 处理:先将试虫接至用0.1 g/L吡蚜酮浸过的稻苗上,24 h后再将存活试虫接至清水处理苗上,分别于0、24、72、120 h后进行EPG记录;P3d 0d, P3d 3d:先将试虫接至用0.1 g/L吡蚜酮浸过的稻苗上,72 h后再将存活试虫接至清水处理苗上,分别于0、72 h后进行记录;P5d 0d, P5d 3d:先将试虫接至用0.1 g/L吡蚜酮浸过的稻苗上,120 h后再将存活试虫接至清水处理苗上,分别于0、72 h后进行记录;以试虫接至清水处理苗上24 h后进行EPG记录作为对照(CK)。图中标准差标记边标有相同字母者表示差异不显著($P > 0.05$)。*表示未检测到。

P1d 0d, P1d 1d, P1d 3d and P1d 5d treatments: the insects were first released to the rice seedlings treated with 100 mg/L pymetrozine for 24 h, and then survived insects were transferred to the untreated rice seedlings for 0, 24, 72, and 120 h, respectively; P3d 0d and P3d 3d treatments: the insects were first released to the rice seedlings treated with 100 mg/L pymetrozine for 3 d, and then survived insects were transferred to the untreated rice seedlings for 0 h and 72 h, respectively; P5d 0d and P5d 3d treatments: the insects were first released to the rice seedlings treated with 100 mg/L pymetrozine for 120 h, and then survived insects were transferred to the untreated rice seedlings for 0 and 72 h, respectively. CK: The insects were released to the rice seedlings treated with water for 24 h. Bars with the same letter beside within a parameter show no significant difference ($P > 0.05$). * The values were not detected.

0.1 g/L吡蚜酮处理72 h后,立即用EPG监测没有出现N4波形,在对照苗上72 h后,恢复韧皮部取食,总持续时间为 (14.0 ± 10.7) min;经0.1 g/L吡蚜酮处理120 h后,部分记录有非常短暂的N4波形出现(总持续时间为 $0.6 \text{ min} \pm 0.6 \text{ min}$),转移至清水处理苗上72 h后,N4波形的总持续时间为 (6.7 ± 2.4) min。说明吡蚜酮对褐飞虱韧皮部取食抑制的持续期较长,而且取食抑制恢复缓慢。

3 讨论

室内研究发现,吡蚜酮处理后褐飞虱没有神经毒杀症状,但呈饥饿状,几天后缓慢死亡。吡蚜酮不干扰褐飞虱对水稻植株的取食选择。EPG监测数据证明了吡蚜酮具有抑制褐飞虱取食的作用,经吡蚜酮浸苗处理后,褐飞虱在韧皮部的摄食行为几乎被阻断。这与蚜虫上的研究结果^[6,8,10]类似。吡蚜酮对靶标害虫的取食抑制的具体机制目前尚不清楚,本研究结果可以有助于更深入地探究吡蚜酮的毒理抑制。EPG记录发现吡蚜酮不干扰褐飞虱在木质部的主动取食行为,至少说明吡蚜酮不堵塞口针通道,不影响支配口针伸缩的肌肉活动和口器主

动抽吸活动。目前国外研究表明,吡蚜酮可能影响昆虫取食行为的神经调控,但其具体作用靶标尚不明。在模式昆虫蝗虫(*Locusta migratoria*)中除了发现吡蚜酮也具有阻碍蝗虫取食的特性^[10]之外,还发现了另一种独特的症状(被施药的蝗虫后足抬起并伸展至最大幅度,可能机制是吡蚜酮作用于蝗虫的弦音器)^[9]。通过蝗虫的内在神经元的研究发现吡蚜酮对蝗虫后胸神经节、食道下神经节和前肠嗦囊神经节均具有显著刺激作用。这些刺激作用能被血清素(5-羟色胺,5-HT)显著增强,且易被生物胺受体拮抗剂抵消^[10]。但是,目前吡蚜酮对蝗虫的具体作用靶标尚未明确,因为神经节包含了很多不同的神经元和能接受到大量输入信号。蚜虫神经受体的药理学研究尚处于发展阶段,通过昆虫取食监测试验发现血清素亦能抑制口针穿透进食,并显著提高吡蚜酮的活性,推测吡蚜酮可能影响蝗虫和蚜虫摄取食物的反馈调控,与血清素的信号传递相关^[10]。结合本研究结果和目前国外研究现状,我们推测吡蚜酮对褐飞虱的作用机理很可能跟韧皮部被动取食行为的调控机制有关。这个推论将会缩小我们对吡蚜酮作用靶标研究的关注面。

吡蚜酮对褐飞虱具有很长的持效期,田间试验表明吡蚜酮对褐飞虱的持效期至少能达到15 d^[24-26]。室内毒力测定发现褐飞虱3龄若虫经吡蚜酮浸苗处理10 d后,仍还有试虫存活(数据待发表)。在本研究取食恢复实验中发现吡蚜酮对韧皮部取食抑制具有长期效果,如吡蚜酮处理5 d后褐飞虱韧皮部取食波形持续时间还不足1 min(图3),依然没有出现长时间的韧皮部稳定摄食波形。另外,推测吡蚜酮处理后褐飞虱死亡缓慢还可能与木质部取食行为有关。褐飞虱是一种依赖在水稻韧皮部摄食汁液来维持生长发育的刺吸式害虫^[27],但是取食韧皮部昆虫还普遍存在一种现象:通过在木质部取食来储存和维持体内水分^[28]。本研究EPG监测发现经吡蚜酮处理后褐飞虱的韧皮部取食行为几乎被阻断,但其在木质部的摄食行为不受影响(图2),推测褐飞虱在吡蚜酮处理苗上通过在木质部取食摄取水分来延缓死亡。通过取食恢复试验,发现吡蚜酮对褐飞虱韧皮部取食的抑制作用可逆,但是取食抑制的恢复非常缓慢,这也可能是吡蚜酮对褐飞虱具有很长的持效期的原因之一。

综上所述,吡蚜酮对褐飞虱作用效果缓慢,但具有较长的持效期。究其原因可能由多种因素导致:1)没有神经毒杀作用导致饥饿而死亡;2)吡蚜酮对褐飞虱的韧皮部取食抑制具有长期效果,推测可能与吡蚜酮在水稻植株内具有很长的残留期有关,这有待进一步试验验证;3)吡蚜酮不影响褐飞虱在水稻木质部取食,褐飞虱通过摄取木质部中的水分来延长存活时间;4)吡蚜酮对褐飞虱韧皮部取食抑制的恢复缓慢。

参考文献:

- [1] 程遐年,吴进才,马飞.褐飞虱研究与防治.北京:中国农业出版社,2003.
- [2] Hirai K. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1993, 28(3): 339-346.
- [3] Endo S, Tsurumachi M. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white backed planthopper collected from southeast Asia. *Jap J Pestic Sci*, 2001, 26(1): 82-86.
- [4] Wang Y H, Gao C F, Zhu Y C, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *J Econ Entomol*, 2008, 101(2): 515-522.
- [5] 李永平,王强,龚玉琴.甲胺磷等5种高毒农药替代品种及其使用技术.中国植保导刊,2009,29(7): 45-47.
- [6] Flückiger C R, Kristinsson H, Senn R, et al. CGA 215 944//Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference on Pests and Diseases: Vol. 1. Croydon: BCPC Publications, 1992: 43-50.
- [7] Senn R, Sechser B, Flückiger C R. Use of pymetrozine in IPM vegetable programs//Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference on Pests and Diseases: Vol. 3. Farham, Surrey: British Crop Protection Council, Farham, Surrey: British crop protection Council, 1994: 1187-1192.
- [8] Harrewijn P, Kayser H. Pymetrozine, a fast acting and selective inhibitor of aphid feeding: *In situ* studies with electronic monitoring of feeding behaviour. *Pestic Sci*, 1997, 49(2): 130-140.
- [9] Ausborn J, Wolf H, Mader W, et al. The insecticide pymetrozine selectively affects chordotonal mechanoreceptors. *J Exp Biol*, 2005, 208(23): 4451-4466.
- [10] Kaufmann L, Schürmann F, Yiallourous M, et al. The serotonergic system is involved in feeding inhibition by pymetrozine: Studies on a locust (*Locusta migratoria*) and an aphid (*Myzus persicae*). *Comp Biochem Physiol*, 2004, 138(4): 469-483.
- [11] 雷宏,徐汝梅. EPG——一种研究植食性刺吸式昆虫刺探行为的有效方法.昆虫知识,1996,33(2): 116-120.
- [12] 陈建明,俞晓平,程家安,等.定量研究刺吸式昆虫取食行为的有效方法——电子取食监测仪的原理和应用技术.浙江农业学报,2002,14(4): 237-243.
- [13] 陈建明,俞晓平,程家安.电子取食监测仪在植物抗虫性研究中的应用.昆虫知识,2005,42(5): 485-490.
- [14] McLean D L, Kinsey M D. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. *Nature*, 1964, 202(4939): 1358-1359.
- [15] Velusamy R, Heinrichs E A. Electronic monitoring of feeding behaviour of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on resistant and susceptible rice cultivars. *Environ Entomol*, 1986, 15(3): 678-682.
- [16] Khan Z R, Saxena R C. Probing behavior of three biotypes of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on different resistant and susceptible rice varieties. *J Econ Entomol*, 1988, 81(5): 1338-1345.
- [17] Kimmins F M. Electrical penetration graphs from *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol Exp Appl*, 1989, 50(1): 69-79.
- [18] L sel P M, Goodman L J. Effects on the feeding behavior of *Nilaparvata lugens* (Stål) of sublethal concentrations of the foliarly applied nitromethylene heterocycle 2 nitromethylene 1, 3 thiazinan 3 yl carbamaldehyde. *Physiol Entomol*, 1993, 18(1): 67-74.
- [19] Hattori M. Probing behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) on a non host barnyard grass, and resistant and susceptible varieties of rice. *Appl Entomol Zool*, 2001, 36(1): 83-89.
- [20] Hattori M. Electronic monitoring of feeding and oviposition behaviour of rice planthopper and its application in plant resistance study. *Chin J Rice Sci*, 2003, 17(Sup): 31-36.
- [21] Hao P, Liu C, Wang Y, et al. Herbivore induced callose deposition on the sieve plates of rice: An important mechanism for host resistance. *Plant Physiol*, 2008, 146(4): 1810-1820.
- [22] Seo B Y, Kwon Y H, Jung J K, et al. Electrical penetration graphic waveforms in relation to the actual positions of the stylet tips of *Nilaparvata lugens* in rice tissue. *J Asia Pacific Entomol*, 2009, 12(2): 89-95.
- [23] SAS/STST User's Guide. Cary, N C: SAS Institute Inc, 1990.
- [24] 顾正远,肖英方,张存政.新型杀虫剂吡蚜酮(Pymetrozine)对褐飞虱、萝卜蚜的生物活性及作用方式研究.华东昆虫学报,2000,9(1): 49-52.
- [25] 郑和平.25%吡蚜酮WP对水稻后期褐飞虱的控害保产效果.河北农业科学,2008,12(4): 42-43.
- [26] 盛仙俏,廖璇刚,陈桂华.吡蚜酮可湿性粉剂等药剂对褐飞虱的防控效果.浙江农业科学,2009(1): 144-145.
- [27] Novotny V, Wilson M. Why are there no small species among xylem sucking insects? *Ecol Evol*, 1997, 11(4): 419-437.
- [28] Powell G, Hardie J. Xylem ingestion by winged aphids. *Entomol Exp Appl*, 2002, 104(1): 103-108.