

不同抗性中稻品种穿插“回”形布局对稻飞虱的防控研究

卓乐¹, 潘群肖¹, 龙超¹, 殷超¹, 刘玉午¹,
程周琦¹, 邱林^{2*}, 易镇邪^{1*}

(1. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128)

摘要: 为了探究基于栽培与耕作措施的稻飞虱防治新技术, 降低农业生产的植保成本投入。以 4 个稻飞虱抗性级别的中稻品种 (玮两优 7713 (3 级)、华两优 10 (5 级)、F 优 498 (9 级)、徽两优粤农丝苗 (9 级)) 为材料, 研究了不同抗性级别水稻品种穿插“回”形布局对稻飞虱的防治效果。穿插“回”形布局处理全生育期稻飞虱相对发生率约为 70%~97%, 与常规布局相比, 未施药处理下穿插“回”形布局处理水稻产量提高 2.10%~4.28%, 抗性级别越低增产幅度越大; 穿插“回”形布局条件下, 与施药处理对比, 未施药处理水稻减产 2.31%~6.11%, 抗性级别越低减产幅度越大, 可见穿插“回”形布局配合适当的药剂防治的防治效果更好。以不同稻飞虱抗性水稻品种实行穿插“回”形布局可在一定程度上减轻稻飞虱危害, 降低产量损失, 但具体效果与品种的抗性级别有关, 外围品种的抗性级别越高、中心品种的抗性级别越低, 就越能够体现穿插“回”形布局栽培模式的优势。

关键词: 稻飞虱; 中稻; 田间布局; 产量比较

中图分类号: Q968.1;S433 文献标识码: A

Study on the prevention and control of rice planthoppers interspersed a layout resembling 回(a Chinese character) of different resistant middle rice varieties

ZHUO Le¹, PAN Qun-Xiao¹, LONG Chao¹, YIN Chao¹, LIU Yu-Wu¹, CHENG Zhou-Qi¹, QIU Lin^{2*}, YI Zhen-Xie^{1*}(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to explore the new technology of rice planthopper control based on cultivation and tillage measures and reduce the input of plant protection cost in agricultural production. Four rice varieties with different resistance levels (Weiliangyou 7713 (Level 3), Hualiangyou 10 (Level 5), Fyou 498 (Level 9), Huiliangyou Yuenongsimiao (Level 9)) were used as materials to study the control effect of rice varieties with different resistance levels on rice planthopper by interspersing a layout resembling 回(a Chinese character) and low toxicity pesticide control. The

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1401100)

作者简介: 卓乐, 男, 1999 年生, 湖南慈利人, 硕士研究生, 研究方向为水稻抗逆栽培研究, E-mail: zhuole999@163.com

*共同通讯作者 Author for correspondence: 邱林, 男, 博士, 副教授, 主要从事水稻害虫灾变机制及可持续防控研究, E-mail: qiulin@hunau.edu.cn; 易镇邪, 男, 博士, 教授, 主要从事作物抗逆栽培与资源高效利用研究, E-mail: yizhenxie@126.com

收稿日期 Received: 2024-04-17; 接受日期 Accepted: 2024-07-02

relative incidence of rice planthoppers in the whole growth period of the interspersed a layout resembling 回(a Chinese character) was about 70%~97%. Compared with the conventional layout, the yield of rice was increased by 2.10%~4.28% under the condition of no pesticide application, and the lower the resistance level, the greater the yield increase. Under the condition of interspersed a layout resembling 回(a Chinese character), compared with spraying treatment, the yield of rice without spraying treatment decreased by 2.31%~6.11%. The lower the resistance level, the greater the yield reduction. It can be seen that the interspersed a layout resembling 回(a Chinese character) combined with appropriate pesticide control has better control effect. The interspersed interspersed of rice varieties with different resistance to rice planthoppers can reduce the harm of rice planthoppers and reduce the yield loss to a certain extent, but the specific effect is related to the resistance level of the varieties. The higher the resistance level of the peripheral varieties and the lower the resistance level of the central varieties, the more the advantages of the interspersed a layout resembling 回(a Chinese character) cultivation mode can be reflected.

Key words: Rice planthopper; middle rice; variety layout in field; yield comparison

水稻是世界上最重要的粮食作物之一，中国水稻产量约占粮食总产量的 40%（杨翠红等，2022），为保障我国以及世界粮食安全作出了重大贡献（钟钰等，2024）。然而仅因稻飞虱危害，从 2010 年至 2020 年我国水稻五大产区年均产量损失就达 1.0×10^6 t，造成重大经济损失（车琳等，2022）。

湖南省是我国主要产粮区之一，中国农业信息网数据显示，2013 年至 2022 年湖南省水稻播种面积连续 10 年居全国首位，稻谷产量居全国前列。然而，湖南省水稻害虫发生情况不容乐观，其中稻飞虱是发生面积最广、防治面积最广、损失最大的虫害。白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 和褐飞虱 *Nilaparvatalugens* (Stål) 是危害湖南水稻生产的主要飞虱类型。随着耕作方式变革、全球气候变暖、农药诱导等原因，稻飞虱危害日益猖獗（李海生等，2022）。中国农业信息网数据显示，湖南省 2011 年至 2019 年稻飞虱防治面积从 1.167×10^8 hm² 次下降到了 0.751×10^8 hm² 次，虽然降幅较大，但是农药施用量仍然不少（杨巧云和方梦荧，2021）。稻飞虱等昆虫能适应不利的环境条件，提高对杀虫剂的耐受性，并产生持久的抗药性（Sharma *et al.*, 2018）。不规范使用杀虫剂已经使我国多个省份的白背飞虱对常用的农药品种，如吡虫啉、噻虫嗪、呋虫胺、噻嗪酮、毒死蜱等产生了中等甚至高抗性（张帅，2021；曾庆会等，2022）。长期使用杀虫剂防治稻飞虱不符合可持续发展要求，不仅增加防治成本，而且还破坏生态环境，不符合绿色防治的理念（栾红旭和王丹丹，2024）。因此，合理应用稻飞虱抗性品种，从栽培与耕作角度开展稻飞虱防治应成为水稻稻飞虱防治的重要方法。

有研究显示，利用农艺措施可以对稻飞虱危害进行有效防治。适当控制氮肥用量可在不影响水稻生长发育的同时，减轻稻飞虱的危害（王国荣等，2015；吴天琦等，2020）。适当的间歇灌溉管理方式也可以在一定程度上对稻飞虱的防治起到正反馈作用（李瑞民等，2017）。水稻移栽密度影响稻田小气候，湿热条件容易诱发稻飞虱，因此，调控田间水稻移栽密度、

采用宽窄行等措施可以有效调节田间小气候,进而抑制稻飞虱的发生(高福强和张绍权,2018;易军等,2023)。合理施肥、灌溉与密度调控可以调控稻飞虱的发生与危害,但具有人工成本高、难以大面积推广等缺点,同时还存在一个较难改变农户生产习惯的问题,因此,合理应用稻飞虱抗性品种才是防治稻飞虱发生的首选方法(蒯鹏和娄永根,2022)。

稻飞虱的取食一般可分为4个过程,即对寄主植物的定向、下唇的探索、口针刺探和口针刺吸。植物释放出的挥发性次生物质大多具有较高的化学活性,在昆虫对寄主植物的识别、定位、取食等行为中有着重要的调节和控制作用(杜家纬,2001)。植物自然释放的挥发物不仅在植食性昆虫成虫的寄主选择和产卵行为中起着重要作用(Petterson *et al.*, 1998)。有研究表明,新鲜的水稻植株及其乙醚提取物对褐飞虱具有强烈的吸引力,说明稻株中含有某些挥发性的化学活性物质在褐飞虱定位过程中起了很大的作用,褐飞虱通过触角的嗅觉来感受这些化学物质的刺激从而引起定位反应(林华峰等,2015)。水稻挥发性物质决定了褐飞虱对寄主植物的初步选择,而最终决定褐飞虱取食行为的水稻的非挥发性物质(丁识伯等,2012;李毅等,2018)。有研究指出,水稻品种合理布局可以在一定程度减轻三化螟的危害(唐盛明和曾花生,1995),另外不同抗性茶树品种布局不同受到茶蚜的危害也不同(汪艳霞,2024)。因此,通过类比猜想,在抗性级别较低的水稻品种周围种植抗性级别较高的水稻品种,可能会扰乱稻飞虱取食定位过程中对抗性较低水稻品种的嗅觉识别,给稻飞虱造成“环境欺骗”现象,降低对水稻的危害。

为了优化抗稻飞虱水稻种质资源利用方式,有效降低农户生产植保投入成本,本试验以衡阳地区中稻为对象,创造性地探究不同抗性级别水稻品种搭配栽培方法对稻飞虱危害的影响,明确最优穿插布局栽培方法,以期减轻水稻大田稻飞虱的发生与危害,为衡阳地区水稻绿色生产与高产栽培提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试水稻品种:2023年在市场上收集了常见的不同稻飞虱抗性级别的4个中稻品种,即‘玮两优7713(3级)’、‘华两优10(5级)’、‘F优498(9级)’、‘徽两优粤农丝苗(9级)’。国家水稻数据中心显示,2022年玮两优7713推广面积超过2.67万 hm^2 ,在推广中均反映该品种无稻飞虱暴发,抗稻飞虱;华两优10适宜在湖南省作一季稻种植,中抗稻飞虱,F优498与徽两优粤农丝苗均为高感稻飞虱,推广面积均在百万亩以上。供试虫源:自然感虫。供试肥料:奥特尔高氮高钾型复合肥(N:P₂O₅:K₂O=25:10:16)。供试农药:6%阿维·氯苯酰、30%茚虫威、10%三氟苯嘧啶、60%吡蚜·呋虫胺、39%敌稈·异噁唑、20%噁唑·氰氟、18.5%异丙·苄。

1.2 试验设计

于 2023 年 4 月-2023 年 8 月在湖南省衡阳市衡阳县西渡镇梅花村富农合作社开展中稻大田试验，生理生化实验在湖南农业大学作物生理与分子生物学教育部重点实验室进行。中稻大田试验采用肥力水平一致的相邻 4 块大田，每块大田面积均为 1 120 m² (20 m×56 m)，共设置 8 个 20 m×28 m 的大区，其中包括 4 个“回”形大区，“回”形大区内的矩形区域面积为 280 m² (14 m×20 m)，小矩形外面积也为 280 m²。试验田四周设保护行。“回”形大区的水稻品种安排为：小矩形区域种植抗性较差品种（高感品种 F 优 498 和徽两优粤农丝苗），小矩形外种植抗性较高的水稻品种（抗虫品种玮两优 7713、中抗品种华两优 10）。大田试验布局设计如图 1 所示，具体品种安排见表 2。

表 1 供试水稻品种及抗性级别

Table 1 Tested rice varieties and resistance levels

编号 No.	品种 Variety	抗稻飞虱级别 Level of resistance to rice planthopper
1	玮两优 7713 Weiliangyou7713	3 级 Level 3
2	华两优 10 Hualiangyou10	5 级 Level 5
3	F 优 498 Fyou498	9 级 Level 9
4	徽两优粤农丝苗 Huiliangyou yuenong simiao	9 级 Level 9

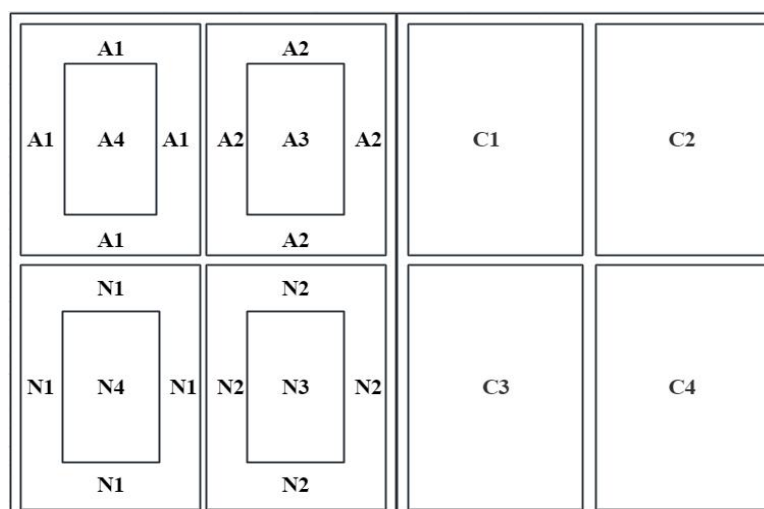


图 1 大田试验布局示意图

Fig. 1 Layout of field experiment

表 2 供试品种分布

Table 2 Distribution of tested varieties

大区编号 Region No.	品种 Variety	大区编号 Region No.	品种 Variety	大区编号 Region No.	品种 Variety
A1	玮两优 7713 Weiliangyou7713	N1	玮两优 7713 Weiliangyou7713	C1	玮两优 7713 Weiliangyou7713
A2	华两优 10 Hualiangyou10	N2	华两优 10 Hualiangyou10	C2	华两优 10Hualiangyou10

A3	F 优 498 Fyou498 徽两优粤农丝苗	N3	F 优 498 Fyou498 徽两优粤农丝苗	C3	F 优 498 Fyou498 徽两优粤农丝苗
A4	Huiliangyou yuenong simiao	N4	Huiliangyou yuenong simiao	C4	Huiliangyou yuenong simiao

2023 年 4 月 20 日播种,秧苗由工厂集中育秧,移栽方式为机插秧株行距 16 cm×23 cm。2023 年 5 月 14 日移栽,在移栽前两天将基肥均匀撒入大田,基肥、分蘖肥、穗肥均使用奥特尔高氮高钾型复合肥(其中 N:P₂O₅:K₂O=25:10:16),按照整个生育时期施用全氮 180 kg/hm² 的要求,基肥占比 50%,分蘖肥占比 20%,穗肥占比 30%。田间水分管理以满足水稻正常生长为宜,自然感虫。

各区稻飞虱防治方法:A1~A4 大区施用防治稻飞虱的农药(三氟苯嘧啶,于移栽后第 25 天第 1 次施用,第 60 天施用第 2 次),N1~N4 大区不施用三氟苯嘧啶,C1~C4 为单一品种成片种植,全生育期不施用三氟苯嘧啶;各区其他病虫害防治方法一致,移栽后第 7 天和第 40 天进行防治:使用 6%阿维·氯苯酰 SC 50ml/亩、30%茚虫威 WG 10g/亩防治二化螟 *Chilo suppressalis*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*,使用 39%敌稗·异噁松、20%噁唑·氰氟、18.5%异丙·苄防治稻田杂草。

1.3 测定项目与方法

稻飞虱发生数量:观察到田间有飞虱活动即开始记录,采用盘拍法,选用 33 cm×45 cm 的白瓷盘每隔 7 d 调查一次稻飞虱种群数量。采用平行跳跃法调查 A、N、C 区稻飞虱数量,各区内每品种调查 15 点,每点 3 蔸,各区共计调查 180 蔸。调查时,将白瓷盘底部轻轻靠在稻丛基部,上端与稻株呈 45°左右夹角,快速拍打稻株基部 2~3 下,统计白瓷盘内稻飞虱数量,最后统计各区稻飞虱总数。各调查数据换算成百丛虫量。

实际产量:各区每个品种避开边 3 行取 3 个点共 240 蔸水稻(每个点视为 1 次重复),脱粒后晒干称重,使用 TDS-1G 谷物水分仪测定含水率,按标准含水率 13.5%换算实际产量。

减产率与增产率:计算穿插“回”形布局不打药处理相对于穿插“回”形布局打药处理的减产率,减产率=[(A 区实际产量-N 区实际产量)/A 区实际产量]×100%,计算穿插“回”形布局不打药处理相对于单一品种成片种植不打药处理的增产率=[(N 区实际产量-C 区实际产量)/N 区实际产量]×100%。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 软件进行整理,使用 Origin 2023 软件进行图形绘制,使用 SPSS 25.0 软件进行单变量方差分析,采用最小显著差异法(Least significant difference method, LSD)进行显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 穿插“回”形布局对各品种产量的影响

由穿插“回”形布局与单一品种成片种植产量对比（表3）可见，穿插“回”形布局未施药处理的各个品种的产量均低于穿插“回”形布局施药处理，但水稻品种抗性级别越高，其减产率越低，其中‘玮两优 7713’的减产率为 2.31%，而其他品种减产率在 3.51%~6.11%，差异显著。‘F 优 498’与‘徽两优粤农丝苗’均是 9 级高感品种，通过穿插“回”形布局处理后，减产率在 5.56%~6.11%之间。

穿插“回”形布局不打药处理的各个品种的产量都高于单一品种成片种植未施药处理，且水稻品种抗性级别越低，其增产率越高，其中，‘玮两优 7713’增产率为 2.10%，‘F 优 498’与‘徽两优粤农丝苗’增产率分别为 3.87%和 4.28%。综合分析发现，穿插“回”形布局模式可在一定程度上控制稻飞虱危害，但其相对单一品种连片种植的增产率与中心区域和外围区域的品种的抗性级别有关，本试验中，‘玮两优 7713’与‘徽两优粤农丝苗’搭配种植，‘华两优 10’与‘F 优 498’搭配种植，‘徽两优粤农丝苗’的增产率为 4.28%，高于‘F 优 498’的增产率（3.87%），表明穿插“回”形布局模式下的外围品种的抗性级别越高、中心品种的抗性级别越低，就越能够体现穿插“回”形布局模式的优势。

表 3 穿插“回”形布局与单一品种成片种植产量对比

Table 3 Interspersed 'back' shape layout comparison of yield between non-spraying treatment and spraying treatment

品种 Variety	处理 Treatment	产量 (t/hm ²) Yield	减产率 (%) Yield reduction rate	增产率 (%) Yield increase rate
玮两优 7713 Weiliangyou 7713	N	7.61±0.018 b		
	A	7.79±0.008 a	2.31 ± 0.026 c	2.10 ± 0.198 c
	C	7.45±0.016 c		
华两优 10 Hualiangyou 10	N	7.14±0.020 b		
	A	7.40±0.008 a	3.51 ± 0.169 b	2.80 ± 0.049 b
	C	6.94±0.016 c		
F 优 498 Fyou 498	N	6.46±0.003 b		
	A	6.84±0.014 a	5.56 ± 0.516 a	3.87 ± 0.360 a
	C	6.21±0.008 c		
徽两优粤农丝苗 Huiliangyou yuenong simiao	N	5.84±0.008 b		
	A	6.22±0.014 a	6.11 ± 0.119 a	4.28 ± 0.006 a
	C	5.59±0.008 c		

注：表中数据为平均值±标准差，同一品种同列数值后无相同字母者表示经 Duncan's 多重比较检验差异显著（ $P<0.05$ ）。表中 N 表示穿插“回”形布局未施药处理，A 表示穿插“回”形布局施药处理，C 处理表示单一品种成片种植未施药处理。Note: Data in the table were mean ± standard deviation. If there was no same letter after the same column value of the same variety, the difference was significant by Duncan's multiple comparison test ($P<0.05$). In the table, N represented the interspersed with a layout resembling 回 (a Chinese character) non-spraying, A represented the interspersed with a layout resembling 回 (a Chinese character) spraying, and C treatment represented A single variety of planting in pieces non-spraying.

2.2 穿插“回”形布局对各区稻飞虱数量的影响

由各处理不同时期稻飞虱百丛虫数可见（图 2），各品种整个生育期稻飞虱数量均不低，其中在 6 月下旬和 7 月下旬达到两个最高峰。7 月 14 日相比 7 月 7 日，田间的百丛虫数骤

升，其原因是此时正值早稻收割时期，早稻稻飞虱大量迁飞到本试验田块的中稻上所致，并在随后的时间里表现逐渐增长趋势，导致本试验的中稻灌浆中期出现了稻飞虱数量最大值。同时可见，中稻成熟期稻飞虱数量大幅度减少，原因可能是成熟期水稻茎秆营养物质大量向籽粒转运，而附近的晚稻进入分蘖盛期，由此引起稻飞虱再次迁飞。结合不同处理区域稻飞虱发生总数（表 4）可见，从 6 月 4 日到 8 月 20 日，各处理区域稻飞虱百丛虫总数均是穿插“回”形布局打药处理最低，单一品种成片种植未施药处理最高，穿插“回”形布局未施药处理的虫量低于单一品种成片种植未施药处理，但高于穿插“回”形布局施药处理。各处理下不同抗性级别水稻品种稻飞虱发生数量也有较大差异，其中以徽两优粤农丝苗上稻飞虱数量最多，玮两优 7713 上稻飞虱数量最少，全生育期稻飞虱数量基本表现为：徽两优粤农丝苗 > F 优 498 > 华两优 10 > 玮两优 7713。

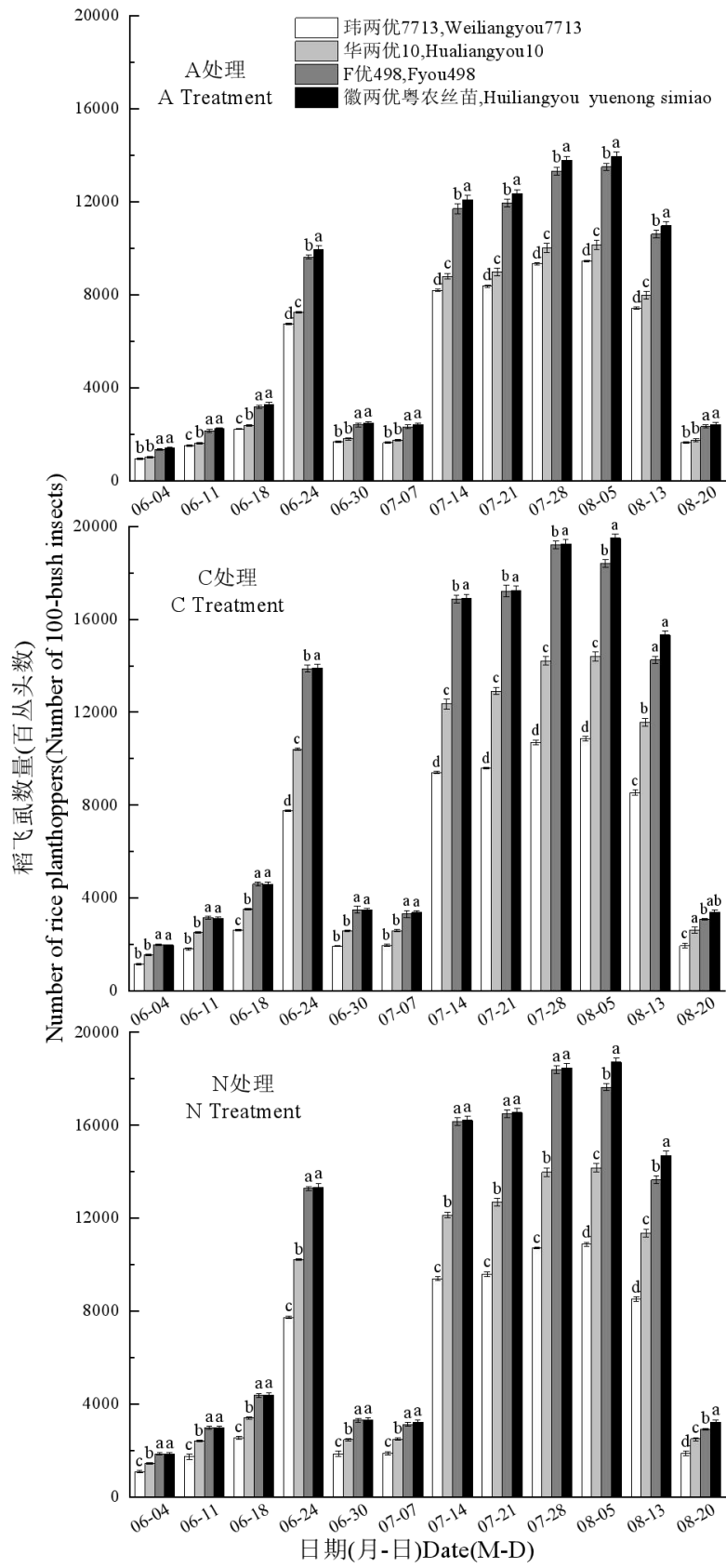


图2 各处理不同时期稻飞虱发生情况

Fig. 2 Occurrence of rice planthopper in different periods of each treatment

表 4 不同处理区域稻飞虱发生总数

Table 4 Total number of rice planthoppers in different treatment areas

区域 Area	06-04	06-11	06-18	06-24	06-30	07-07	07-14	07-21	07-28	08-05	08-13	08-20
A 区 Area A	4 685	7 494	11 054	33 544	8 338	8 097	40 787	41 623	46 452	47 061	36 971	8 116
C 区 Area C	6 684	10 618	15 372	45 949	11 499	11 270	55 530	56 977	63 363	63 188	49 690	11 048
N 区 Area N	6 239	10 081	14 721	44 567	10 936	10 719	53 916	55 332	61 564	61 409	48 236	10 504

3 结论与讨论

3.1 讨论

不同抗性水稻品种的次生物质对稻飞虱吸引力不同,水稻次生物质的种类决定水稻抗感与否(肖英方, 2001; 卢伟等, 2007),且褐飞虱若虫能够通过侵染水稻植株影响其次生物质的产生进而影响水稻抗性(Li *et al.*, 2023)。植食性昆虫的取食性取决于对植物次生物质的适应性,次生物质是植物长期进化过程中适应生态环境的结果(刘玉坤等, 2011)。张文辉等(2001)发现感性品种 TN1 和抗性品种 RH 上的褐飞虱数量存在差异,感性品种 TN1 上褐飞虱数量多,而抗性品种上褐飞虱少,表明了感性品种合成的挥发性物质能吸引褐飞虱取食水稻,但抗性品种合成的挥发性物质会抵御褐飞虱,进而保护水稻。从中稻全生育期稻飞虱监测情况来看,本试验“回”形布局外围水稻品种抗性级别较高,其稻飞虱数量少于内部危害水稻的稻飞虱数量,且在一定程度上对内部品种产量提高产生了促进作用,这与前人的稻飞虱取食定位研究结果相符(杨朗等, 2007; 杨朗等, 2011)。

植物光谱、挥发物质、形态结构、空间分布、距离远近等会对昆虫定向行为产生影响(张凯, 2016)。本试验中穿插“回”形布局未施药区域稻飞虱发生总数与单一成片种植未施药区域稻飞虱发生总数并没有相差太大,而“回”形布局外围种植抗性级别较高水稻品种的区域宽度在 3~4 m 之间,小于内部抗性级别较低的水稻品种,因此可能会导致外围水稻挥发性物质的“环境欺骗”作用相对减弱,致于穿插“回”形布局未施药区域稻飞虱发生相对较多,但有关外围抗性级别较高水稻品种的宽度对“回”形布局控制稻飞虱危害的效果的影响及其影响机制还有待进一步研究。

根据本试验中稻全生育期稻飞虱监测情况和中稻产量情况,穿插“回”形布局不打药处理稻飞虱总数量为 6 239~61 594 头,相对于单一品种成片种植未施药处理发生率为 93.34%~97.18%,而“回”形布局施药处理稻飞虱总数量为 4 685~46 452 头,其相对发生率仅为 70.09%~74.48%。在未施药情况下,“回”形布局栽培模式可以明显降低水稻减产率,而且“回”形布局栽培模式与药剂(三氟苯嘧啶)防治配合处理(A 区)的稻飞虱发生数量最少,水稻增产率最高,可见综合防治措施对稻飞虱具有更好的防效,即稻飞虱综合绿色防治有更好的增产防虫效果。

3.2 结论

综合分析发现,不同稻飞虱抗性水稻品种的穿插“回”形布局模式(即将抗性较差品种包围在抗性级别较高的水稻品种中间)可在一定程度上控制稻飞虱危害,降低产量损失,但具体效果与品种的抗性级别有关,外围品种的抗性级别越高、中心品种的抗性级别越低,就越能够体现穿插“回”形布局栽培模式的优势。同时,穿插“回”形布局配合适当的药剂防治的防治效果更好。

参考文献(References)

- Che L, Jiang QH, Wang Y, *et al.* Comparative analysis of occurrence and control of pests in five rice producing regions in China [J]. *Plant Protection*, 2022, 48 (3): 233-241. [车琳, 蒋沁宏, 王也, 等. 我国水稻五大产区虫害发生及防控情况差异的比较分析 [J]. 植物保护, 2022, 48 (3): 233-241]
- Ding SB, Zeng Z, Yan FM, *et al.* The development and life table parameters of *Nilaparvata lugens* (Stål) feeding on nine rice varieties [J]. *Journal of Plant Protection*, 2012, 39 (4): 334-340. [丁诒伯, 曾铮, 闫凤鸣, 等. 褐飞虱在九个水稻品种上的生长发育和生命表参数 [J]. 植物保护学报, 2012, 39 (4): 334-340]
- Du JW. Plant-insect chemical communication and its behavior control [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2001, 3: 193-200. [杜家纬. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 3: 193-200]
- Gao FQ, Zhang SY. Research and popularization of wide and narrow row spacing cultivation techniques for rice [J]. *China Rice*, 2018, 24 (4): 22-23, 26. [高福强, 张绍权. 水稻宽窄行栽培技术的研究与推广应用 [J]. 中国稻米, 2018, 24 (4): 22-23, 26]
- Kuai P, Lou YG. Research advances in biology, ecology and management of rice planthoppers [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2022, 48 (6): 692-700. [蒯鹏, 娄永根. 稻飞虱生物学、生态学及其防控技术研究进展 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2022, 48 (6): 692-700]
- Li HS, Zhao XJ, Zheng X, *et al.* Changes of rice pests and diseases and green prevention and control technical measures [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2022, 4: 201-203. [李海生, 赵雪君, 郑翔, 等. 水稻病虫害发生变化情况及绿色防控技术措施 [J]. 农业开发与装备, 2022, 4: 201-203]
- Li RM, Fu YQ, Pan JF, *et al.* Effects of water-saving and high-yield cultivation on yield, pests and diseases incidence, lodging resistance of direct-seeding rice [J]. *China Rice*, 2017, 23 (4): 160-164. [李瑞民, 傅友强, 潘俊峰, 等. 节水高产栽培对直播稻产量、病虫害发生和抗倒性的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23 (4): 160-164]
- Li S, Qi LX, Tan XY, *et al.* Small brown planthopper nymph infestation regulates plant defenses by affecting secondary metabolite biosynthesis in rice [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24: 4764.
- Li Y, Zhang JJ, DU B, *et al.* Research progress of chemical interactions between rice and *Nilaparvata lugens* [J]. *Plant Physiology Journal*, 2018, 54 (4): 528-538. [李毅, 张嘉娇, 杜波, 等. 水稻与褐飞虱化学关系的研究进展 [J]. 植物生理学报, 2018, 54 (4): 528-538]
- Lin HF, Su WH, Zhou BG, *et al.* Study on Rice Planthopper [M]. Beijing: Science Press, 2015: 60-61. [林华峰, 苏卫华, 周本国, 等. 稻飞虱研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 60-61]
- Liu YK, Wang WX, Fu Q, *et al.* Effects of host plants on activities of detoxification and protective enzymes in three rice planthoppers [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2011, 25 (6): 659-666. [刘玉坤, 王渭霞, 傅强, 等. 寄主植物对3种稻飞虱解毒酶和保护酶活性的影响 [J]. 中国水稻科学, 2011, 25 (6): 659-666]
- Lu W, Hou ML, Wen JH, *et al.* Effects of plant volatiles on herbivorous insects [J]. *Plant Protection*, 2007, 3: 7-11. [卢伟, 侯茂林, 文吉辉, 等. 植物挥发性次生物质对植食性昆虫的影响 [J]. 植物保护, 2007, 3: 7-11]
- Luan HX, Wang DD. Research on green development of agriculture in China [J]. *Ecological Economy*, 2024, 40 (2): 230-231. [栾红旭, 王丹丹. 我国农业绿色发展研究 [J]. 生态经济, 2024, 40 (2): 230-231]
- Pettersson J, Karunarathne S, Ahmed E, *et al.* The cowpea aphid, shape *Aphis craccivora*, host plant odours and pheromones [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1998, 88 (2): 177-184.
- Sanada-Morimura S, Fujii T, Chien HV, *et al.* Selection for imidacloprid resistance and mode of inheritance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Pest Manag Sciences*, 2019, 75 (8): 2271-2277.
- Tang SM, Zeng HS. Effects of the planting system and varieties distribution on population dynamics of *tryporyza incertulas*(Walker) [J].

- Chinese Journal of Applied Entomology*, 1995, 6: 321-323. [唐盛明, 曾花生. 水稻种植制度与品种布局对三化螟种群动态的影响 [J]. 昆虫知识, 1995, 6: 321-323]
- Wang GR, Han YP, Shen Q, *et al.* Effects of modified fertilizer application on rice pests, diseases and yields [J]. *China Rice*, 2015, 21 (6): 94-97. [王国荣, 韩尧平, 沈蕾, 等. 施肥调节对水稻病虫害发生和产量的影响 [J]. 中国稻米, 2015, 21 (6): 94-97]
- Wang YX. Genetic Diversity and Wing Differentiation of Tea Aphid(*Toxoptera aurantii* Boyer) [D]. Guiyang: Guizhou University, 2024. [汪艳霞. 茶蚜遗传多样性及翅型分化研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2024]
- Wu TQ, Li BT, Liu L, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer operation on occurrence of major diseases and insects in double cropping rice and its yield in Jiangxi Province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2020, 42 (6): 1087-1098. [吴天琦, 李保同, 刘浪, 等. 氮肥运筹对江西省双季稻主要病虫害发生及产量的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2020, 42 (6): 1087-1098]
- Xiao YF, Zhang CZ, Gu ZY. Resistance mechanism of rice varieties to white-backed planthopper [J]. *Journal of Plant Protection*, 2001, 3: 198-202. [肖英方, 张存政, 顾正远. 水稻品种对白背飞虱的抗性机理 [J]. 植物保护学报, 2001, 3: 198-202]
- Yang CH, Lin K, Gao X, *et al.* Analysis on development and risks of China's food production during 14th five-year plan period [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37 (8): 1088-1098. [杨翠红, 林康, 高翔, 等. “十四五”时期我国粮食生产的发展态势及风险分析 [J]. 中国科学院院刊, 2022, 37 (8): 1088-1098]
- Yang L, Liang WG, Huang FK, *et al.* Activity of different components of methanol extracts from IR36 on *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2007, 3: 296-300. [杨朗, 梁广文, 黄凤宽, 等. 水稻抗性品种 IR36 甲醇提取物不同极性组分对褐飞虱的活性 [J]. 植物保护学报, 2007, 3: 296-300]
- Yang L, Sun RK, Jiang JJ, *et al.* Relationship between resistance of rice to *Nilaparvata lugens* (Stål) and the contents of volatiles [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2011, 37 (4): 403-406. [杨朗, 孙荣科, 姜建军, 等. 水稻对褐飞虱的抗性与其挥发性次生物质总量的关系 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37 (4): 403-406]
- Yang QY, Fang MY. Excessive use of chemical fertilizers and pesticides and prevention and control of agricultural non-point source pollution [J]. *The Farmers Consultant*, 2021, 24: 66-67. [杨巧云, 方梦荧. 化肥农药过量使用与农业面源污染防治 [J]. 农家参谋, 2021, 24: 66-67]
- Yi J, Fu HJ, Li XY, *et al.* Effects of tillage practice and fertilizer and pesticide reductions on diseases, pests, weeds, and yield of rice [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2023, 29 (1): 42-51. [易军, 符慧娟, 李星月, 等. 耕作与肥药减量方式对水稻田间病虫害及产量的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2023, 29 (1): 42-51]
- Zeng QH, Zhou C, Yang XB, *et al.* Expression of SfABCD1 in the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in response to insecticide stress [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65 (1): 21-30. [曾庆会, 周操, 杨熙彬, 等. 白背飞虱 SfABCD1 对杀虫剂胁迫的响应表达 [J]. 昆虫学报, 2022, 65 (1): 21-30]
- Zhang K. Effect of Host Diversity on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B and *Bactericera Cockerli* (Hemiptera: Psyllidae) [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry Technology University, 2016. [张凯. 寄主多样性对 B 型烟粉虱和马铃薯木虱影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016]
- Zhang S. National resistance monitoring report in agricultural pests in 2020 and recommendations on chemical control [J]. *China Plant Protection*, 2021, 41 (2): 71-78. [张帅. 2020 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议 [J]. 中国植保导刊, 2021, 41 (2): 71-78]
- Zhang WH, Liu GJ. The genetics and breeding of varietal resistance to insect pests of rice and its application [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2001, 3: 53-57. [张文辉, 刘光杰. 水稻抗性遗传与育种研究应用 [J]. 中国农学通报, 2001, 3: 53-57]
- Zhong Y, Ba XZ, Chen MS. The theoretical construction and governance approach of national food security in the new era [J]. *Chinese Rural Economy*, 2024, 2: 2-19. [钟钰, 巴雪真, 陈萌山. 新时代国家粮食安全的理论构建与治理进路 [J]. 中国农村经济, 2024, 2: 2-19]