

# 水稻播种期对灰飞虱及其传播的条纹叶枯病发生流行的影响

朱金良<sup>1</sup>, 祝增荣<sup>2</sup>, 周 瀛<sup>2</sup>, 陆 强<sup>3</sup>, 孙祥良<sup>3</sup>, 陶献国<sup>4</sup>, 陈 跃<sup>1</sup>, 王华弟<sup>5</sup>, 程家安<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>浙江省嘉兴市农业经济局植物保护站, 浙江嘉兴 314050; <sup>2</sup>浙江大学昆虫科学研究所, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310029; <sup>3</sup>嘉兴市农业科学研究院, 浙江嘉兴 314016; <sup>4</sup>嘉兴市秀洲区粮油站, 浙江嘉兴 314031; <sup>5</sup>浙江省植物保护检疫局, 杭州 310020)

**摘要:** 【目的】了解水稻播种期对灰飞虱及其传播的条纹叶枯病发生流行的影响。【方法】2006~2007年2年田间设置4个播种期, 调查分析水稻灰飞虱种群动态和条纹叶枯病发病的程度。【结果】播种期是影响条纹叶枯病的重要因子。在浙江北部, 单季晚稻随着播种期的推迟, 病情递减; 秧田期株发病率与播种期的关系可以用 Weibull 方程来描述、与秧田期灰飞虱种群动态曲线下面积 (AUCPD, 即累计虫日) 或高峰期密度则呈 Logistic 关系; 本田稳定期发病率则可以以播种期、秧田期灰飞虱高峰期密度、秧田末期的株发病率来描述, 而本田期的 AUCPD 并不是描述该阶段的发病率的必要变量。【结论】在综合治理中, 适期播种是控制该病害流行的最有效方法之一, 在浙江北部单季粳稻移栽的适宜播种期为5月底~6月上旬。

**关键词:** 水稻; 播种期; 灰飞虱 (*Laodelphax striatellus*); 水稻条纹叶枯病; 流行

## Effect of Rice Sowing Date on Occurrence of the Small Brown Planthopper and Epidemics of the Planthopper-Transmitted Rice Stripe Virus Disease

ZHU Jin-liang<sup>1</sup>, ZHU Zeng-rong<sup>2</sup>, ZHOU Yin<sup>2</sup>, LU Qiang<sup>3</sup>, SUN Xiang-liang<sup>3</sup>, TAO Xian-guo<sup>4</sup>, CHEN Yue<sup>1</sup>, WANG Hua-di<sup>5</sup>, CHENG Jia-an<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Jiaying Plant Protection Station, Bureau of Agricultural Economy, Jiaying 314050, Zhejiang; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Rice Biology and Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029; <sup>3</sup>Jiaying Academy of Agricultural Sciences, Jiaying 314016, Zhejiang; <sup>4</sup>Food and Oil Station, Xiuzhou District, Jiaying 314031, Zhejiang; <sup>5</sup>Bureau of Plant Protection and Quarantine, Department of Agriculture, Zhejiang Province Government, Hangzhou 310020)

**Abstract:** 【Objective】 To understand the relationship between rice sowing date and the occurrence of the rice small brown planthopper (SBPH) *Laodelphax striatellus* Fallen and the epidemics of the planthopper-transmitted rice stripe viral (RSV) disease. 【Method】 Four sowing dates of rice were set up in 2006 and 2007. 【Result】 The results showed that the peak density of the planthopper and the RSV incidence in both nursery and transplanted field were decreased with the postponing of the sowing date in single crop of japonica rice in north Zhejiang Province. The relationship of seedling RSV incidence at the end of the nursery to the sowing date was well-described by a Weibull equation, while the incidence to the area under the curve of population dynamics (AUCPD, or planthopper-day accumulation) or the peak density of the planthopper in the nursery could be summarized by a Logistic equation. The RSV incidence in the transplanted fields could be characterized quantitatively by a multivariate regression equation including the variables of sowing date, peak density of the vector in and the RSV incidence at the end of the nursery. That the descriptive model excluded the AUCPD in transplanted field implies this variable is not necessary for forecasting of the disease epidemics in the field. 【Conclusion】 The 2-year experiments sufficiently indicated that the suitable sowing of rice could be used as one of the effective measures to control the vector population and therefore the planthopper-transmitted RSV in larger scale region. The optimal sowing date for the single-cropping transplanted Japonica rice is recommended as from late May to early June.

收稿日期: 2007-09-18; 接受日期: 2008-03-04

基金项目: 国家“863”项目(2007AA10Z220)、国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD17B06)、浙江省长江三角洲重大科技协作攻关计划(2004E60055)、浙江省重大科技攻关项目(2005C12033)、嘉兴市重点科研项目(2005AZ3002)

作者简介: 朱金良(1965-), 男, 浙江海盐人, 高级农艺师, 研究方向为农作物有害生物生态学与预测预报。E-mail: jxcbz331@126.com。通讯作者祝增荣(1963), 男, 浙江江山人, 教授, 博士, 研究方向为植物有害生物生态学和综合治理、昆虫分子生态学。E-mail: zrzh@zju.edu.cn

Key words: Rice; Sowing date; *Laodelphax striatellus*; Rice stripe viral disease; Epidemics

## 0 引言

【研究意义】水稻条纹叶枯病 (rice stripe disease) 由水稻条纹病毒 (*rice stripe virus*, RSV) 引起<sup>[1]</sup>。在 1960 年代曾经在中国、日本、韩国等国家的广大水稻生产地区严重流行, 之后迅速下降, 在有的地方几乎销声匿迹<sup>[1,2]</sup>。但 1990 年以来, 水稻条纹叶枯病在江苏、辽宁、河南、上海、浙江等省市超大规模流行, 对水稻健康生产、国家粮食安全构成严重威胁<sup>[3]</sup>。该病在浙北嘉兴市呈上升之势<sup>[3-9]</sup>, 2007 年全市发病面积达  $1.76 \times 10^4 \text{ ha}^{-1}$ 。介体灰飞虱 (*Laodelphax striatellus*) 在水稻穗期吸食籽粒、排泄蜜露极易引起真菌侵染, 在春秋两季需要施用化学药剂控制灰飞虱的数量。农药施用量加大不利于稻谷生产过程中农民的身心健康, 污染水体环境, 威胁虾、蟹、蜜蜂、家蚕等的安全<sup>[3]</sup>。因此, 迫切需要开发作物系统本身的内禀控制能力。【前人研究进展】一般而言, 虫传植物病毒病的发生与流行受寄主植物的可供性 (host plant availability) 及其生育期、媒介昆虫的发生动态及其带毒率、病毒本身致害性的遗传变异等因素影响<sup>[1-3]</sup>。农作物作为病毒病的寄主植物, 其发病与否取决于介体昆虫、毒源、新受体作物 (receptor crop) 之间的配合程度 (matching intensity), 而品种差异性、播种移栽期<sup>[8,10,11]</sup>、土壤营养条件、其它有害生物的先期取食等均可能影响这种配合。【本研究切入点】在麦-稻周年连作地区, 在影响水稻条纹叶枯病的众多因子中, 水稻播种期 (对移栽稻而言还有相应的移栽期) 的迟早<sup>[3,4,8]</sup>, 直接关系到麦类作物后期的灰飞虱种群去向或种群转移率: 播种期越早, 承接的灰飞虱密度越高, 反之亦然; 在灰飞虱带毒率达到一定程度的条件下, 种群密度直接影响水稻条纹叶枯病的发病率。对此“水稻播种移栽期迟早与条纹叶枯病发生密切相关”的假说, 文献中一般只见简单的描述推断, 比如笔者在 2005 年田间普查中发现, 不同播种期水稻的发病程度存在着明显差异; 或者只有理论性的模型模拟分析<sup>[11]</sup>, 但一直未见有田间实证研究的报道。【拟解决的关键问题】为此, 2006~2007 年笔者在浙江北部水稻条纹叶枯病日益严重的浙江省嘉兴市进行了不同播种移栽期对单季粳稻水稻条纹叶枯病发病程度的影响试验, 以期通过试验探索减轻水稻条纹叶枯病的单季稻合适的播种移栽期。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点

浙江省嘉兴市南湖区, 2006 年在新丰镇杨庄村, 2007 年在新篁镇茜柳村, 均为移栽单季晚稻, 品种为粳稻“秀水 09”。

### 1.2 试验处理

播种前未作药剂浸 (拌) 种处理, 按照处理要求时间依次分期播种, 待 30 d 秧龄时依次分期移栽。2006 年与 2007 年均分 4 期播种, 播种时间分别为 5 月 16 日、5 月 23 日、5 月 30 日、6 月 6 日, 每期间隔 7 d。相互比邻、面积各为  $1\ 340 \text{ m}^2$  的 3 块长方形田块作为 3 个重复, 每田块内平均分成 4 小区, 每小区面积  $330 \text{ m}^2$  作为不同移栽期的 4 种处理, 移栽期分别为 6 月 16 日、6 月 23 日、6 月 30 日和 7 月 6 日形成 4 个处理 3 次重复的随机区组设计。秧田期、大田前期正常肥水管理, 但未用杀虫、病毒钝化剂、杀菌剂, 让其自然发病; 8 月初开始所有小区在相同时间采用相同方法防治病虫害。

### 1.3 调查方法

秧苗移栽前调查病株率; 大田期在移栽后至病情稳定期, 各处理小区用五点式取样法选定 5 点, 每点 40 丛, 计每小区 200 丛, 每隔 3~5 d 调查 1 次, 调查内容为病丛率与病株率, 观察各处理区发病动态变化。

### 1.4 产量测定

在水稻成熟时, 每小区中间收割 200 丛, 测量 200 丛稻所占面积, 脱粒后称鲜重, 每小区取其中的 1.5 kg 在  $65^\circ\text{C}$  烘箱中烘干, 计算含水量, 将产量换算成干重。

### 1.5 数据分析

由于发病率数据均小于 30%, 故采用平方根转换, 以 DPS<sup>[12]</sup> 中的方差分析模块进行分析, 处理因子显著时进行最小差异显著性 (LSD) 比较。根据灰飞虱种群动态图, 计算各播种期整个秧田期、移栽田前期至条纹叶枯病稳定期 (7 月 15 日为止) 的灰飞虱种群动态曲线下面积 (the area under the curve of the population dynamics, AUCPD, 即累计虫日 planthopper-day accumulation)<sup>[13]</sup>, 并用 DPS 软件中的回归分析模块求秧田末期发病率 ( $I_{murs}$ ) 对 AUCPD 的 Logistic 方程、逐步回归分析本田期条纹叶枯病发病率 ( $I_{field}$ ) 对秧田期 AUCPD 和  $I_{murs}$ 、本田前期 AUCPD 的回归方程。测产数据以 ANOVA 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 秧田期灰飞虱种群动态

2006年5月15日播种的秧田上,播种后第1次(5月20日)调查即有灰飞虱迁入,随后灰飞虱数量直线上升,到6月10日左右达到高峰。随着播种期的推迟,灰飞虱迁入自然推迟,而且虫口密度高峰期也相应推迟,高峰期密度显著下降(图1-A)。2006年4个播种期的AUCPD依次分别为3432.5、2056.0、

1025.0、431.0 虫日,表现随播种移栽期的推迟而显著下降。值得注意的是:第1、2两移栽期的成虫比例(91.20%、85.43%)大大高于后两移栽期的(65.58%、75.47%),即前者绝大部分为迁入成虫。该年的成虫带毒率为2.43%,推算得到各播种期成虫高峰期的带毒有效虫源密度分别为4.76、3.01、1.07、0.53(头/m<sup>2</sup>)。2007年虽只调查了高峰期(6月15日)的虫量,播种期为5月15日和22日的灰飞虱密度显著高于播种期为5月29日和6月5日的(图1-B)。

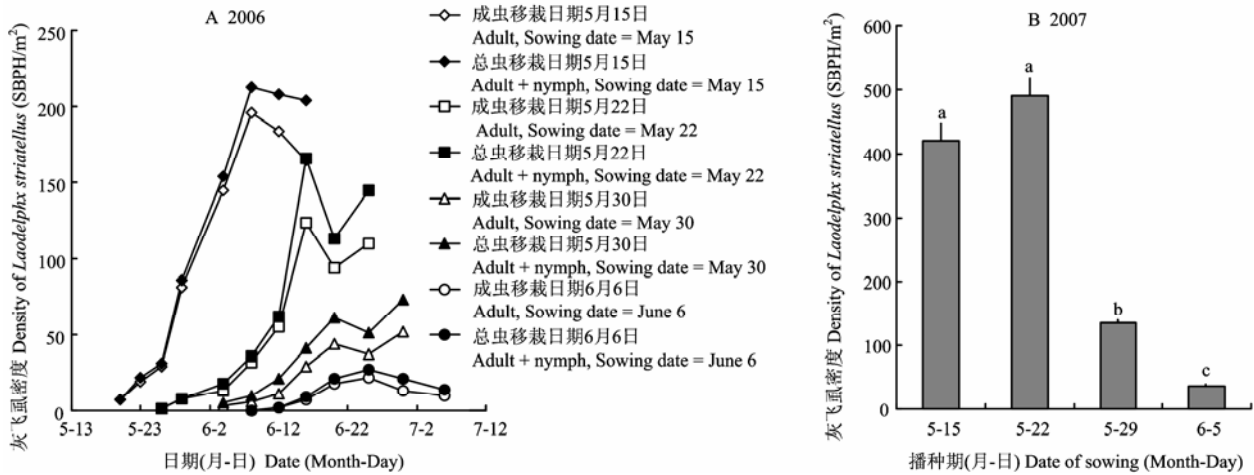


图1 秧田灰飞虱种群动态(A, 2006年)和高峰期密度(B, 2007年)

Fig. 1 Population dynamics of the small brown planthopper in rice seedling nursery (A) 2006, (B) Peak density of the planthopper sampled on June 15, 2007

### 2.2 秧田末期发病率

秧田期各播种期间发病程度差异较为明显,2006年,5月15日与5月22日播种的病株率最高,分别是3.26%和2.25%,前者显著高于后者,亦显著高于5月29日播种的0.24%,而6月5日播种的水稻在秧田期内未发病;2007年结果与2006年相似(表1),说明水稻条纹叶枯病在秧田期表现为播种期越早,发病越重。

秧田末期秧苗株发病率( $I_{nurs}$ )与秧田期灰飞虱的种群动态曲线下面积或种群高峰密度可以以Logistic方程来描述:

$$2006: I_{nurs} = 3.3116 / [1 + \exp(6.3519 - 0.003489A_{nurs})], F = 5600.3, P = 0.0094 \quad (1)$$

$$I_{nurs} = 4.5275 / [1 + \exp(4.1711 - 0.025070D_{nurs})], F = 367.2125, P = 0.0369 \quad (2)$$

$$2007: I_{nurs} = 7.0514 / [1 + \exp(4.0887 - 0.010615D_{nurs})], F = 294.0, P = 0.0412 \quad (3)$$

式中, $I_{nurs}$ 为秧田末期发病株率, $A_{nurs}$ 为2006年秧田期间灰飞虱种群动态曲线下面积, $D_{nurs}$ 为2006、2007

表1 各播种期秧田末期病株率(%) (2006、2007年)

Table 1 Rice stripe disease incidence (infected tillers, %) at the end of seedling stage in nursery

播种期(月-日) Sowing date (Month-Day)	2006	2007
5-15	3.26 ± 0.37 a A	4.20 ± 0.52 a A
5-22	2.25 ± 0.22 b B	5.30 ± 0.17 a A
5-29	0.24 ± 0.23 c C	0.37 ± 0.02 b B
6-5	0.00 ± 0.00 d D	0.33 ± 0.09 b B
F	434.11	118.41
P	0.0001	0.0001

同一年中,同一列有相同的字母表示差异不显著(小写字母: $P < 0.05$ ;大写字母: $P < 0.01$ ,LSD)。下同  
Means in a column within same year followed by same letters are not different significantly (small case,  $P < 0.05$ ; large case,  $P < 0.01$ , LSD). The same as blow

年秧田期灰飞虱高峰期密度。

将 2006、2007 年两年的数据合并，作一元非线性回归分析，得到（图 2）：

$$I_{nurs} = 4.7234 / [1 + \exp(6.6395 - 0.037441 D_{nurs})], F(2, 7) = 65.863; r = 0.9815, P = 0.0003 \quad (4)$$

式（4）能够反映发病率随媒介灰飞虱高峰密度大小的变化，低密度下秧苗的发病率很低，之后迅速上升；密度 200 只/m<sup>2</sup> 为该 Logistic 曲线的拐点，之后随密度增加，发病率增加不明显。

### 2.2 水稻本田病情稳定期发病率

在病情稳定期（7 月中旬）调查，各播种期与病害的发生有着密切的关系（表 2），且年度间、重复间高度一致，播种期显著影响病丛率%（2006 年： $F(3, 11) = 63.0, P = 0.0001$ ；2007 年： $F(3, 11) = 256.6, P = 0.0001$ ）。2006 年的 4 个播种期中，按照早迟顺序平均病丛率依次为 18.5%、10.0%、5.67%、1.5%，平均病株率依次为 4.07%、2.69%、1.89%、0.42%，随着播种期的推迟，病情递减。2007 年的 4 个播种期中，前 2 个播种期病情重，病丛率分别为 16.2%、16.67%，病株率分别为 5.18%、7.31%，而后 2 个播种期的病丛率分别为 2.7%、1.5%，病株率分别为 1.9%、0.7%，进一步证实了播种期与发病程度间的密切关系：即播种期越早，发病越重，反之发病越轻。

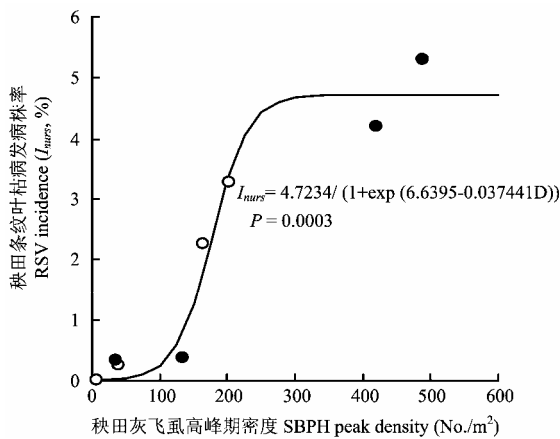


图 2 秧田期病株率% ( $I_{nurs}$ ) 对秧田期灰飞虱高峰期密度的回归（空心圆为 2006 年数据；实心圆为 2007 年数据）

Fig. 2 Logistic regression of rice stripe disease incidence (%) ( $I_{nurs}$ ) at the end of the seedling stage against the peak density of the disease vector small brown planthopper in the nursery

表 2 2006、2007 年各播种期大田稳定期发病比较

Table 2 Comparison of the RSV incidence in rice in the fields transplanted in different dates

年度 Year	播种期 Sowing date (Month-Day)	病丛率 Infected hill (%)		病株率 Infected tiller (%)	
		平均±标准差 Mean±Se		平均±标准差 Mean±Se	
2006	5-15	18.50±1.53aA		4.07±0.50aA	
	5-22	10.00±0.50bB		2.69±0.34abAB	
	5-29	5.67±0.60cC		1.89±0.44bB	
	6-5	1.50±0.50dD		0.42±0.15cC	
2007	5-15	16.17±0.44aA		5.18±0.61aA	
	5-22	16.67±0.73aA		7.31±1.04aA	
	5-29	2.67±0.33bB		1.90±0.51bB	
	6-5	1.50±0.29cB		0.70±0.04cB	

### 2.3 水稻本田期发病动态

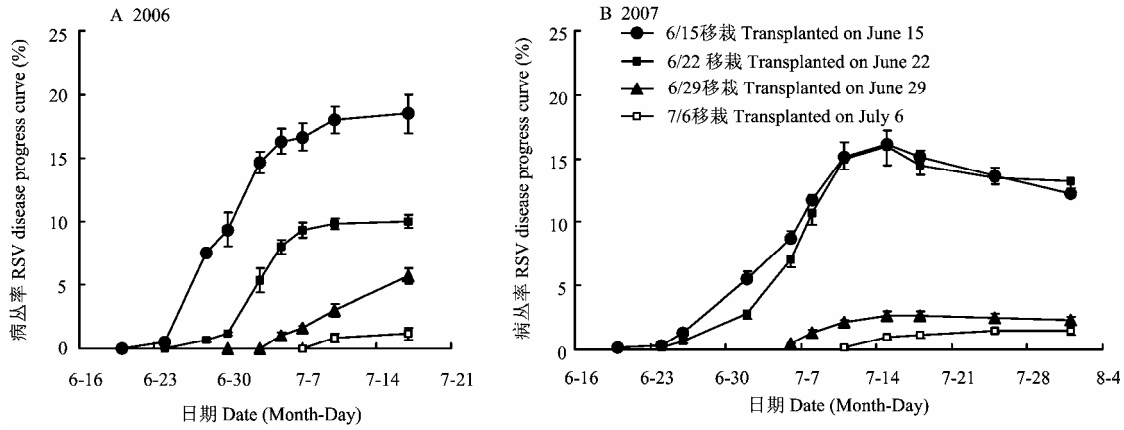
本田期条纹叶枯病的发展经历始病期、剧增期、稳定期、下降期 4 个阶段。从图 3 可看出：始病期随着播种期的不同而不同，播种越早，发病越早，一般在移栽后 2~7 d 开始出现病害症状。剧增期是病情急速发展的时期，各播种期之间较为一致，2006 年在 6 月 25 日~7 月 10 日，历时 15 d；2007 年在 6 月 28 日~7 月 12 日，历时 14 d。病害稳定期第 1、2 个两播种期之间的差异不大，2006 年、2007 年均于 7 月 10 日左右，第 3、4 两播种期则在 7 月 15 日左右，反应了这时初次侵染显症动态结束，此后病情开始缓慢下降，或维持相当长的时间（图 3-B）。

从图 3 可以明显看出水稻播种期与条纹叶枯病发病间的关系：条纹叶枯病病情随着播种期推迟而减轻，前两个播种期之间差异不明显，发病均较重，明显重于后两个播种期。2006 年各播种移栽期水稻上条纹叶枯病达到稳定期的丛发病率的 50% 的时间分别是 6 月 30 日、7 月 3 日、7 月 10 日、7 月 10 日；2007 年则分别为 7 月 6 日、7 月 6 日、7 月 8 日、7 月 14 日，总体而言随着播种移栽期的延迟而推迟。本田期水稻条纹叶枯病丛发病率 ( $I_{field}$ ) 与水稻播种期 ( $S$ , 5 月 1 日后的天数) 之间的关系可以用 Weibull 函数来表示：

$$I_{field} = 17.3334 * (1 - \exp(-((S+7.3395)/29.4974)^{(-7.8111)})) \quad (5)$$

$$F(3, 23) = 71.5721, r = 0.9564, P = 0.0001$$

病毒潜育期：2006 年，5 月 15 日播种的秧田灰飞虱突增期在 6 月 2 日，至 6 月 30 日病毒病显症突增期，达到 28 d；5 月 22 日播种的秧田灰飞虱突增期为 6 月



图中各点为 3 个重复的平均值，各点上下的线段为标准误  
Dots in the figure are the averages of three replicates, bars around the symbols are the standard errors

图 3 大田期各播种期水稻条纹叶枯病发病动态（病丛率%）

Fig. 3 RSV progress curves in rice transplanted in different dates

12 日，显症高峰突增在 7 月 3 日，达到 21 d；5 月 29 日播种的分别为 6 月 15 日和 7 月 10 日，间隔 25 d；6 月 5 日播种的则分别为 6 月 18 日和 7 月 10 日，间隔 22 d，可见随着播种期推迟，潜伏期逐渐缩短。这应该与播种期推迟后相应的气温升高有关<sup>[2]</sup>。

2.4 大田稳定期发病率与秧田期媒介密度、秧田期发病率以及本田初期媒介密度的逐步回归分析

先对以下方程的符号作一说明： $I_{field}$ —本田期条纹叶枯病稳定时的丛病率； $S$ —播种期（5 月 1 日后的天数）； $A_{nurs}$ —秧田期灰飞虱种群动态曲线下面积 AUCPD； $I_{nurs}$ —秧田末期条纹叶枯病的株病率； $A_{field}$ —本田期灰飞虱种群动态曲线下面积 AUCPD； $D_{nurs}$ —秧田期灰飞虱高峰期种群密度。

对 2006 年试验数据作多项式回归，得到：

$$I_{field} = 31.221358 - 0.836401 S - 0.113684 D_{nurs} + 6.407682 I_{nurs} + 0.002808 A_{field} \quad (6)$$

偏相关系数： $r(I_{field}, S) = -0.7769, t=3.2644, P=0.0115$ ； $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.6168, t=2.0735, P=0.0718$ ； $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.6084, t=2.0284, P=0.0771$ ； $r(I_{field}, A_{field}) = 0.2248, t=0.6105, P=0.5585$ 。复相关系数  $r=0.9818, F(4, 7) = 4.6722, P=0.0001$ ，调整后相关系数  $r_a=0.9712$ ，调整决定系数  $r^2=0.9433$ 。

而其逐步回归方程则为：

$$I_{field} = 32.676532 - 0.872762 S - 0.125540 D_{nurs} + 7.255288 I_{nurs} \quad (7)$$

偏相关系数： $r(I_{field}, S) = -0.7903, t=3.6482,$

$P=0.0053$ ； $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.6697, t=2.5505, P=0.0312$ ； $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.6856, t=2.6634, P=0.0259$ 。复相关系数  $r=0.9808, F(3, 8) = 6.74617, P=0.0001$ ，调整后相关系数  $r_a=0.9735$ ，调整决定系数  $r^2=0.9477$ 。

可见在本田期  $A_{field}$  没有被选入的情况下，上述 3 个自变量的偏相关系数、复相关系数以及调整后的相关系数的显著水平均上升，说明回归方程的描述和预测能力反而提高了。

对 2007 年试验数据作多项式回归，得到：

$$I_{field} = 15.587254 - 0.431861 S - 0.013564 D_{nurs} + 3.133022 I_{nurs} - 0.003224 A_{field} \quad (8)$$

偏相关系数： $r(I_{field}, S) = -0.7898, t=3.4072, P=0.0093$ ； $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.4004, t=1.1560, P=0.2810$ ； $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.8247, t=3.8582, P=0.0048$ ； $r(I_{field}, A_{field}) = -0.2045, t=0.5528, P=0.5955$ 。复相关系数  $r=0.9955, F(4, 7) = 19.2128, P=0.0001$ ，调整后相关系数  $r_a=0.9929$ ，调整决定系数  $r^2=0.9858$ 。

其逐步回归分析则为：

$$I_{field} = 13.75446084 - 0.3808448414 S - 0.011416049454 D_{nurs} + 2.9881405779 I_{nurs} \quad (9)$$

偏相关系数： $r(I_{field}, S) = -0.8512, t=4.5872, P=0.0013$ ； $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.3564, t=1.0790, P=0.3087$ ； $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.8211, t=4.0685, P=0.0028$ 。复相关系数  $r=0.9953, F(3, 8) = 28.0410, P=0.0001$ ，调整后相关系数  $r_a=0.9935$ ，调整决定系数  $r^2=0.9871$ 。

可见，如同 2006 年的逐步回归方程剔除的自变量

$A_{field}$  因子一样, 2007 年方程中入选的 3 个自变量的偏相关系数、复相关系数以及调整后的相关系数的显著水平也均上升。

既然 2006、2007 两年的方程中入选的自变量均一致, 下一步将 2006~2007 年两年的数据合并分析, 得到包含 4 个因子的回归方程如下:

$$I_{field} = 15.045572 S - 0.404805 D_{nurs} - 0.017606 I_{nurs} + 3.264654 I_{nurs} + 0.002715 A_{field} \quad (10)$$

偏相关系数:  $r(I_{field}, S) = -0.7132$ ,  $t=4.4347$ ,  $P=0.0003$ ;  $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.4879$ ,  $t=2.4363$ ,  $P=0.0243$ ;  $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.7363$ ,  $t=4.7425$ ,  $P=0.0001$ ;  $r(I_{field}, A_{field}) = 0.1764$ ,  $t=0.7813$ ,  $P=0.4438$ 。复相关系数  $r=0.9824$ ,  $F(4, 19) = 13.1065$ ,  $P=0.0001$ , 调整后相关系数  $r_a=0.9786$ , 调整决定系数  $r^2=0.9577$ 。

进行逐步回归分析得到:

$$I_{field} = 16.733407 - 0.451974 S - 0.02056 D_{nurs} + 3.484801 I_{nurs} \quad (11)$$

偏相关系数:  $r(I_{field}, S) = -0.8305$ ,  $t=6.6667$ ,  $P=0.0001$ ;  $r(I_{field}, D_{nurs}) = -0.6021$ ,  $t=3.3724$ ,  $P=0.0029$ ;  $r(I_{field}, I_{nurs}) = 0.7816$ ,  $t=5.6032$ ,  $P=0.0001$ 。复相关系数  $r=0.9818$ ,  $F(3, 20) = 17.8017$ ,  $P=0.0001$ , 调整后相关系数  $r_a=0.9790$ , 调整决定系数  $r^2=0.9585$ 。

可见新方程(式 11)剔除了原有回归方程(式 10)中偏相关系数不显著的  $A_{field}$  因子后, 被选入的 3 个因子的偏相关系数、 $F$  值等均上升。因此, 可以根据播种期  $S$  (5 月 1 日以后的天数)、调查监测获得秧田期灰飞虱高峰期密度  $D_{nurs}$ 、秧田末期的水稻条纹叶枯病株发病率  $I_{nurs}$  较好地描述水稻本田期条纹叶枯病的丛发病率; 而本田期前期的媒介灰飞虱密度计算得到的 AUCPD 并不是描述本田期水稻条纹叶枯病发病率的必要因子。

## 2.5 产量测定

实测产量统计分析表面, 2006 年各播期的最终产量无显著差异 ( $P>0.05$ ); 而 2007 年相应前 3 个播期之间、后 3 个播期之间的最终实测产量之间差异均没有达到极显著水平 ( $P>0.01$ ), 虽然最早播种的产量显著高于最迟者(表 4)。

## 3 讨论

笔者以田间试验数据证实了“水稻播种移栽期迟早与条纹叶枯病发生密切相关”的假说。水稻播种期对条纹叶枯病发病有重大影响, 在自然发病情况下, 播种期早秧田期与大田期的病情重, 播种期迟病情轻,

表 4 各播种期实测产量 (2006、2007)

Table 4 Actual yield in harvest (2006 and 2007)

播种期 (月-日)	2006	2007
Sowing date (Month-Day)		
5-15	8229±634 a	7801±399 aA
5-22	9484±1165 a	6881±298 abAB
5-29	9072±760 a	7170±271 aAB
6-5	8359±134 a	5813±201 bB
$F(3,11)$	0.639	6.72
$P$	0.617	0.024

产量单位 Grain yield unit: kg·ha<sup>-1</sup>

推测与灰飞虱传毒特性和迁移扩散时期有关, 初生秧苗的敏感生育期与一代灰飞虱成虫扩散高峰相遇时, 发病更重。在浙江北部的嘉兴市, 越冬代产生的第一代灰飞虱成虫扩散高峰一般在 5 月中下旬<sup>[9]</sup>; 此时间段正值水稻播种期, 秧田或直播稻田吸引了大量附近麦田、黑麦草、空闲田禾本科杂草上羽化的灰飞虱带毒成虫; 而此时稻田面积小, 导致大量灰飞虱成虫集中迁移到秧苗上取食传毒; 而处于 2 叶 1 心期至 4 叶 1 心期的秧苗对条纹叶枯病病毒最为敏感<sup>[2,9]</sup>, 容易造成集中感染, 构成水稻全生育期过程中的初次侵染, 经过一定时间的潜伏期, 在秧苗后期至本田期表现出症状。而从 6 月上旬开始, 灰飞虱进入低龄若虫期或卵期, 迁移能力不强, 且随着气温升高, 灰飞虱数量渐少, 若此时播种, 传毒机率大为降低, 水稻病害就会减轻。可见, 播种期不同, 稻田承受的灰飞虱及其携带病毒的总量就不同, 致使秧苗期和本田期的条纹叶枯病发病率呈现显著差异。

历史上曾有提前播种避开越冬后带毒灰飞虱扩散高峰, 减轻水稻感染病毒病的事例。在日本, 4 月初播种的水稻条纹叶枯病发病较轻, 5 月播种的水稻受害最重, 之后播种的水稻又较轻<sup>[1]</sup>。实际上这是处于传毒盛期的成虫和高龄若虫活动高峰与水稻敏感生育期的重叠、配合程度的差异所致, 那些播种比较早的水稻, 当一代灰飞虱成虫从麦类作物上随着麦子的收割而向外迁移时, 水稻植株的生育期已经达到 5 叶以上, 感染敏感性下降。这与本试验一起完整证实了广义上的“寄主植物的可供性对灰飞虱种群及其传播的水稻条纹叶枯病有显著影响”的假说, 其实质为灰飞虱对寄主植物资源利用的机会多寡问题, 即扩散高峰期与受虫田水稻敏感生育期的吻合程度。

“寄主植物的可供性对介体昆虫及其传播的病毒病有显著影响”可以在病虫害控制实际中巧妙地发挥作用。适期播种移栽是控制病害流行的最有效方法之

一,即使在相当一段时间内不能大范围实现土地休耕的情况下,提早或推迟作物种植也可以减少其承载的介体昆虫数量并减轻其传播的病毒病害。在烟粉虱及其传播的多种病毒病防治方面已有一些成功的例子,包括印度的茄子和烟草、墨西哥的秋葵和棉花、埃及的番茄和菜豆、美国加州的香瓜<sup>[14]</sup>;在参薯(water yam, *Dioscorea alata* L.)的炭疽病和病毒病防治中也采用了适期播种的手段<sup>[15]</sup>;多年的试验表明,延期播种可以减少大豆叶甲(*Cerotoma trifurcate* (Forster))种群,但对该叶甲传播的菜豆荚斑驳病毒(bean pod mottle virus, BPMV)<sup>[15]</sup>的控制作用年度之间并不一致;在尼日利亚,大豆播种延迟至6月1日后,大豆灰斑病(frogeye leaf spot)有增加的趋势,大豆产量降低<sup>[16]</sup>。

目前防治水稻条纹叶枯病的重要措施包括使用杀虫剂控制介体灰飞虱密度及其传毒过程、抗病品种的选育与推广。在目前尚未大面积推广抗病品种的前提下,化学防治就成了主要的控制措施。但大多数杀虫剂防治灰飞虱的效果并不好,从环境友好的角度需要充分重视和利用其它农业措施。借鉴上述作物-病虫害系统的经验,调整适合的水稻播种期可以有效地控制水稻条纹叶枯病的发生。是否采用播期调控法,还应综合考虑当地的地理位置、光温资源、水稻品种的特性、灰飞虱成虫扩散传毒高峰期密度<sup>[17]</sup>和带毒率,并结合各种病虫害发生造成的潜在危害以及防治成本-经济效益等因素才能确定。浙江省嘉兴市目前以单季粳稻为主要种植品种,在水稻生长、发育、产量、品质等不受较大影响前提下,播种期推至5月底~6月上旬较为适宜,可以比较好地避开灰飞虱成虫传毒高峰期。长江三角洲的多项田间试验[浙江嘉兴<sup>[18]</sup>、苏南常州<sup>[19]</sup>、上海奉贤区<sup>[20]</sup>]大多表明,对于移栽的单季粳稻而言,适宜播种期的范围为5月中旬至6月中旬,既可防止早播早栽引起群体过大,也能顺利避开9月中下旬抽穗期间的低温危害;5月下旬播种的水稻产量最高、米质最好<sup>[20]</sup>;也有研究表明5月15日播种的水稻产量最高<sup>[21]</sup>,但播种期在5月15~30日产量差异并不显著。本文测产数据证明,5月15~5月29日播种的产量无显著差异,其中一年与6月上旬播种的也无显著差异,进一步确认“播种期在5月底~6月上旬较为适宜”,不仅可以避开第一代灰飞虱扩散传毒,减轻条纹叶枯病的发生,而且仍在该地区历年适宜播种期的范围内<sup>[22]</sup>。

由于上述确定适宜播种期的复杂性,下一步笔者

将应用本试验建立起来的本田期水稻条纹叶枯病发病率与前期可获得的自变量间的逐步回归方程,预测该病实际发生程度,并验证其有效性;结合播种移栽期对水稻的其它重要病虫害如螟虫、稻纵卷叶螟、褐飞虱发生和为害、对水稻产量组成及最终产量等影响的试验结果,分析确定试验所设定的四个播种移栽期的综合效益;同时,结合具有不同光温要求、发育速率、潜在产量等遗传特性、对不同病虫害有不同反应能力的水稻品种的实验数据,采用如同本文组建的播种移栽期、灰飞虱密度及其带毒率、传毒率与条纹叶枯病发病率相互关系的模型,通过水稻生长发育模型的综合模拟分析,确定各类型水稻品种的最适播种移栽期,达到粮食生产效益最优化。

## 4 结 论

田间试验数据支持“水稻播种移栽期迟早与条纹叶枯病发生密切相关”的假说。在综合治理中,适期播种是控制病害流行的最有效方法之一。就防制水稻条纹叶枯病而言,浙江北部单季粳移栽稻的适宜播种期为5月底~6月上旬。

## References

- [1] Hibino H. Biology and epidemiology of rice viruses. *Annual Review Phytopathology*, 1996, 34: 249-274.
- [2] 金登迪, 阮义理, 许如银. 水稻条纹叶枯病的潜育期及介体灰飞虱传毒特性的研究. *浙江农业科学*, 1985, (5): 227-228.  
Jin D D, Ruan Y L, Xu R Y. The latent period of the rice stripe disease and transmission characteristics of its vector the small brown planthopper *Laodelphax striatellus*. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 1985, (5): 227-228. (in Chinese)
- [3] 祝增荣, 李红叶, 程家安, 王华弟. 灰飞虱: 死灰复燃还是烟飞灰灭? 成卓敏. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 356-363.  
Zhu Z R, Li H Y, Cheng J A, Wang H D. The small brown planthopper *Laodelphax striatellus*: To be latent or to be eruptive? In: Cheng Z M. *Prevention and Control of Agricultural Biodisasters*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2005: 356-363. (in Chinese)
- [4] 朱金良, 孙祥良, 王华弟, 曹奎荣, 钟雪明. 水稻条纹叶枯病与水稻产量损失关系研究. *中国稻米*, 2007, (4): 60-61.  
Zhu J L, Sun X L, Wang H D, Cao K R, Zhong X M. Relationship of rice stripe disease and rice grain yield loss. *China Rice*, 2007, (4): 60-61. (in Chinese)

- [5] 孙祥良, 王华弟, 朱金良, 曹奎荣, 赵建平, 戴德江. 灰飞虱携带水稻条纹叶枯病毒检测研究. 中国植保导刊, 2007, (7): 7-9.  
Sun X L, Wang H D, Zhu J L, Cao K R, Zhao J P, Dai D J. Detection of rice stripe virus in the small brown planthopper. *China Plant Protection*, 2007, (7): 7-9. (in Chinese)
- [6] 张国鸣, 王华弟, 戴德江. 浙江省水稻条纹叶枯病发生发展态势与防控对策措施. 中国植保导刊, 2006, 26(7): 21-23.  
Zhang D M, Wang H D, Dai D J. Preliminary report on trends and management tactics of rice stripe disease in Zhejiang. *China Plant Protection*, 2006, 26(7): 21-23. (in Chinese)
- [7] 王华弟. 粮食作物病虫害测报与防治. 北京: 中国科学技术出版社, 2006: 81-89.  
Wang H D. *Forecast and Control of Insect and Disease Pests in Grain Crops*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006: 81-89. (in Chinese)
- [8] 程兆榜, 杨荣明, 周益军. 江苏稻区水稻条纹叶枯病发生新规律. 江苏农业科学, 2002,(1): 39-41.  
Cheng Z B, Yang R M, Zhou Y J. Some new rules of the rice stripe disease in rice production regions in Jiangsu. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2002, (1): 39-41. (in Chinese)
- [9] 王华弟, 陈剑平, 祝增荣, 孙祥良, 沈卫新. 浙江北部水稻条纹叶枯病的发病流行规律. 植物保护学报, 2008, 35(5): 487-492.  
Wang H D, Chen J P, Zhu Z R, Sun X L, Shen W X. Epidemics of the rice stripe viral disease in Northern Zhejiang, China. *Acta Phytologica Sinica*, 2008, 35(5): 487-492. (in Chinese)
- [10] Krell R K, Pedigo L P, Rice M E, Westgate M E, Hill J H. Using planting date to manage bean pod mottle virus in soybean. *Crop Protection*, 2005, 24(10): 909-914
- [11] Holt J, Chancellor T C B. Modelling the spatio-temporal deployment of resistant varieties to reduce the incidence of rice tungro disease in a dynamic cropping system. *Plant Pathology*, 1999, 48: 453-461.
- [12] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京: 科学出版社, 2007: 1100.  
Tang Q Y, Feng M G. *DPS-Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining*. Beijing: Science Press, 2007: 1100. (in Chinese)
- [13] Nutter Jr F W. Quantifying the temporal dynamics of plant virus epidemics: a review. *Crop Protection* 1997, 16(7): 603-618.
- [14] Hilje L, Costa H S, Stansly P A. Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Protection*, 2001, 20: 801-812.
- [15] Egesi C N, Onyeka T J, Asiedu R. Severity of anthracnose and virus diseases of water yam (*Dioscorea alata* L.) in Nigeria I: Effects of yam genotype and date of planting. *Crop Protection*, 2007, 26: 1259-1265.
- [16] Akem C N, Dashiell K E. Effect of planting date on severity of frogeye leaf spot and grain yield of soybeans. *Crop Protection*, 1994, 13(8): 607-610.
- [17] 温怀楠. 浙北地区单季晚粳稻优质高产栽培技术. 上海农业科技, 2003, (3): 23-24.  
Wen H N. Cultivation techniques for high quality and yield rice of single-cropping season japonica rice in Northern Zhejiang province. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2003, (3): 23-24. (in Chinese)
- [18] 高泰东, 张存奎. 水稻播栽期影响条纹叶枯病发生的条件分析. 中国植保导刊, 2005, 25(3): 13-14.  
Gao T D, Zhang C. Conditional analysis of effect of sowing and transplanting date on occurrence of rice stripe virus disease. *China Plant Protection*, 25 (3): 13-14. (in Chinese)
- [19] 陈金龙, 陆凤珍, 周纪平, 庞雄, 卢雪忠, 徐义祥. 不同播期同期移栽对常优 1 号粳稻生长发育的影响. 江苏农业科学, 2003, (5): 29-30.  
Chen J L, Lu F J, Zhou J P, Peng X, Lu X Z, Xu Y X. Effect of sowing and transplanting date on development and growth of a Japonica hybrid rice variety, Changyou 1. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2003, (5): 29-30. (in Chinese)
- [20] 沈永飞. 水稻不同播期对产量和品质的影响. 上海农业科技, 2003, (6): 35.  
Shen Y F. Effect of sowing date on grain yield and quality of rice. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2003, (6): 35. (in Chinese)
- [21] 温怀楠, 毛国娟. 不同播栽期秀水 63 的生育特性表现. 浙江农业科学, 1998, (6): 262-263, 264.  
Wen H N, Mao G J. Development and reproduction performance of a Japonica Xiushui 63 as affected by sowing and transplanting date. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 1998, (6): 262-263, 264. (in Chinese)
- [22] 毛国娟, 赵伟明, 温怀楠, 陈进红. 麦茬单季稻高产群体特征及栽培技术. 浙江农业学报, 2001, 13(4): 184-189.  
Mao G J, Zhao W M, Wen H N, Chen J H. Population structure and cultivation techniques of high yielding single crop rice in barley (or wheat)-rice system. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 13(4): 184-189. (in Chinese)