

优化水稻群体种植模式与稻瘟病控制研究

房 辉^{1,2}, 周江鸿^{1,3}, 王云月¹, 周惠萍¹, 何霞红¹, 孙 雁¹, 杨黎华¹, 朱有勇¹

(¹ 云南农业大学/生物多样性应用技术国家工程研究中心/教育部重点实验室, 昆明 650201; ² 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223;

³ 中国科学院北京植物研究所, 北京 100093)

摘要:【目的】探索水稻遗传多样性控制稻瘟病的最佳种植模式, 探讨水稻品种群体结构对稻瘟病控制效果的影响。【方法】选择遗传背景差异较大的两个水稻品种——汕优 63 与黄壳糯, 采用混合间栽法, 研究不同种群结构的混合间栽种植模式对稻瘟病的控制效果。【结果】不同种群结构对黄壳糯稻瘟病的控制效果不同, 相对防治效果随杂交稻群体所占比例的增加而增大, 种群结构为 1 : 15.01 时对叶瘟的相对防治效果达到 100%, 种群结构为 1 : 12.40 时对穗颈瘟的相对防治效果达到 100%。混合间栽的不同群体结构的复合产量都比净栽有所增加, 土地当量比均大于 1。【结论】黄壳糯与汕优 63 的群体比例为 1 : 12.40 ~ 18.88 是最优化的群体结构, 不但对稻瘟病的控制效果好, 而且产量高、经济效益好, 是值得大面积推广的混合间栽种植模式。

关键词: 水稻; 遗传多样性; 种群结构; 种植模式; 稻瘟病控制

Optimizing Cultivation Patterns for Rice Blast Control

FANG Hui^{1,2}, ZHOU Jiang-hong¹, WANG Yun-yue¹, ZHOU Hui-ping¹, HE Xia-hong¹, SUN Yan¹, YANG Li-hua¹,
ZHU You-yong¹

(¹ National Center for Agricultural Biodiversity /The Key Laboratory of Agricultural Biodiversity for Plant Disease Management of the Educational Ministry, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201; ² Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223; ³ Botanical Institute of Beijing, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Abstract: 【Objective】To grope the optimizing cultivation patterns of rice genetic diversity and the effects of rice population structure for rice blast control. 【Method】Two rice varieties different of genetic backgrounds --a hybrid and a glutinous rice variety were chosen to study the efficacy of optimizing cultivation patterns for mixture planting blast control. 【Result】After two years of plot experiments, the results showed that different population structure of mixture planting had different rice blast controll efficacy for Huangkenuo. The controll efficacy increased with the increasing of the ratio of hybrid variety in the mixture. When the population structure was 1 : 15.01 the controll efficacy of leaf blast reached 100% and that of panicle blast reached to 100% at the ratio of 1 : 12.40. The compound yields of all the mixture plots were more than that of monoculture, and land equivalent ratio (LER) of mixture plots was more than 1. 【Conclusion】The optimizing population structure ratio was 1 : 12.40-18.88, not only because they had better efficacy for rice blast control, but also they had higher yields and better economic benefits.

Key words: Rice; Genetic diversity; Population structure; Cultivation patterns; Blast control

0 引言

【研究意义】近年来, 大面积种植单一作物及化肥农药的大量使用, 导致农田生态环境日益脆弱, 并由此引发环境污染、农药残留超标等一系列的问题。

在水稻生产中, 随着水稻优质高产品种的大面积推广和高肥密植技术的应用, 加之受全球气候变暖影响, 稻瘟病危害有增无减且产生了新的特点, 病原菌菌系分化及消长加速, 病害流行周期越来越短, 致使稻瘟病优势小种的出现和增殖与品种淘汰呈加速上升趋势。

收稿日期: 2005-10-23; 接受日期: 2007-01-15

基金项目: 国家“973”计划资助项目(2006CB100200)

作者简介: 房辉(1970-), 男, 云南昭通人, 讲师, 硕士, 研究方向为菌根及生态学。Tel: 0871-5149746; E-mail: fanghui@xtbg.ac.cn。通讯作者朱有勇(1955-), 男, 云南个旧人, 教授, 博士, 研究方向为生物多样性与植物病害控制。Tel: 0871-5227872; Fax: 0871-5227945; E-mail: ypp1@public.km.yn.cn

势^[1]。而生物多样性的应用无疑是解决这些问题的有效途径之一。而确定合理的种植模式是利用生物多样性控制稻瘟病的关键技术之一。【前人研究进展】目前,利用水稻遗传多样性控制稻瘟病已成为国内外的研究热点^[2~13]。毛建辉等^[10]报道品种混栽对稻瘟病的抑制及稳产、增收效果显著,抗病增产效应与混栽群体的光合强度和根系活力提高有关。朱有勇^[2]等研究表明作物的遗传多样性有利于病原菌的稳定性选择,尤其是大面积应用品种遗传多样性能有效地控制作物病害;杂交稻与糯稻多样性混合间栽能够将感病优质稻的稻瘟病发病率平均控制在 5% 以下,与净栽优质稻相比,对稻瘟病的防效达 81.1%~98.6%,减少农药用量 60% 以上,抗倒伏率达 100%,每公顷增产优质稻 630~1 040 kg。至 2005 年,云南、四川、湖南等省利用遗传多样性混合间栽控制稻瘟病的推广应用面积已超过 1510 122 公顷,产生了显著的经济、社会和生态效益。【本研究的切入点】有关利用遗传多样性控制稻瘟病的研究多集中在控病增产效果上^[2~8, 11],对于在何种种植模式下的控病增产效果最好的研究报道较为鲜见。【拟解决的关键问题】本文在前期研究的基础上,旨在研究不同群体结构下稻瘟病的发生及产量变化情况,筛选出最优化的种植模式供大面积推广使用,并为遗传多样性控制稻瘟病技术的应用推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

选用一个矮秆杂交稻品种汕优 63 和一个高秆优质稻品种黄壳糯,经品种抗性基因指纹分析(RGA),优质稻品种与杂交稻品种之间的抗性基因指纹差异较大,相似系数仅为 0.41^[14]。经温室人工接种 29 个稻瘟病菌株进行抗性测定,病原菌对优质稻的毒力频率为 86.21%,对杂交稻的毒力频率仅为 13.79%^[7]。

1.2 试验处理与小区设置

本试验历时 2 年,安排在云南省个旧市大屯镇杨家寨村,该地气候温润多雨,适于稻瘟病发生。小区面积为 13.5 m²,周围种植 5 行汕优 63 作为保护行。设置 10 个处理,10 次重复,共 100 个试验小区,小区设置依次为:净栽黄壳糯(行比以 1:0 表示)、黄壳糯:汕优 63 混栽的行比分别为 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:8、1:10 和净栽汕优 63(行比以 0:1 表示),小区按顺序排列,小区之间不留空行。

1.3 种植规格及田间管理

净栽杂交稻按常规方式种植,采用“双龙出海”的模式,即大行 30 cm,小行 15 cm,株距 15 cm。间栽处理以汕优 63 为主栽品种,黄壳糯为间栽品种。杂交稻单苗栽插,株、行距均为 15 cm;黄壳糯丛栽,每丛 4~5 苗,丛距为 30 cm,与杂交稻之间的距离为 15 cm。净栽黄壳糯也采用类似“双龙出海”的模式,即大行 30 cm,小行 15 cm,丛距 30 cm。稻种使用 0.1% 多菌灵拌种消毒,实行拱架式薄膜育秧,秧苗在 5 月初移栽到大田。试验田不使用任何杀菌剂,虫害及肥水管理按常规高产措施进行。

1.4 调查记载方法

于 7 月下旬当叶瘟开始出现时,调查发病情况。每 3 天调查 1 次,混栽小区黄壳糯及汕优 63 各调查 5 丛,净栽小区调查 5 丛,分别记录叶瘟和穗颈瘟的发病率及严重度;稻瘟病的调查记录均按中华人民共和国国家标准^[15]中的稻瘟病调查和测报法规的标准进行。为了防止把调查者身上的稻瘟病菌孢子人为传播到健康植株上,每次调查时都从净栽杂交稻一端的小区开始,依次调查至净栽糯稻一端。在进入下一重复调查之前,在田埂上拍打身上的衣物,并喷洒 75% 的酒精消毒。

1.5 统计方法

以杂交稻和糯稻分蘖数的比例代表种群结构,即种群结构=单位面积上糯稻的分蘖数/单位面积上杂交稻的分蘖数。

试验小区产量按理论测产方法测定,即单位面积理论产量(简称理论产量)=每丛有效穗数×单位面积丛数×每穗粒数×千粒重/1 000×1 000。

小区经济效益=0.8×谷物产量×米价,其中 0.8 为折算系数。

土地当量比(land equivalent ratio, LER):同一农田中两种或两种以上作物间混作时的收益与各个作物单作时的收益之比率,是衡量间混作比单作增产程度的一项指标^[16],即判断间作套种是否优于单种土地利用程度的可比性指标。

$$LER = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{Y_i'} = Y_1/Y_1' + Y_2/Y_2' + \dots + Y_i/Y_i'$$

式中, Y_i 为种植方式中各作物单位面积产量; Y_i' 为各作物相同条件下单作单产; i 为种植方式中的各种作物; n 为种植方式中作物的种类或数量。若 LER 大于 1,即表示间作比单作效率高。本文中,LER=(间栽杂交稻产量/净栽杂交稻产量)+(间栽糯稻产量/净栽

糯稻产量)。

2 结果与分析

2.1 不同种群结构对稻瘟病的控制效果

2.1.1 对优质稻黄壳糯稻瘟病的控制效果 混合间栽的不同群体结构对稻瘟病有不同程度的控制效果,呈现出随着主栽杂交稻品种群体比例的增加,优质稻黄壳糯的叶瘟和穗颈瘟的发病率和病情指数均逐渐下降的趋势(图1、2)。

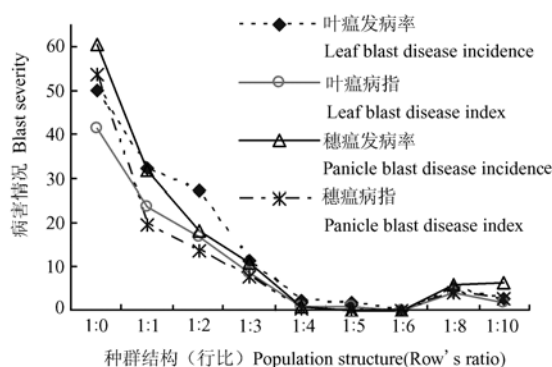


图1 不同种群结构下糯稻叶瘟和穗瘟病情变化(2002年)

Fig. 1 Leaf and panicle blast of Huangkenuo in different population structure in 2002

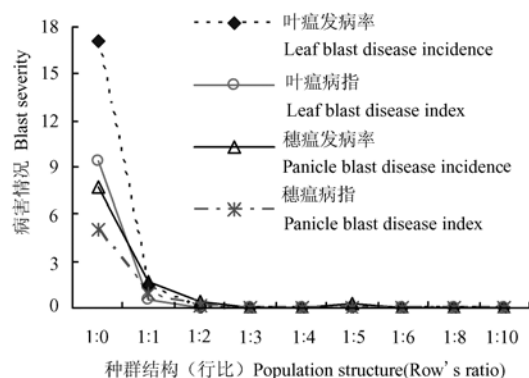


图2 不同种群结构下糯稻叶瘟和穗瘟病情变化(2003年)

Fig. 2 Leaf and panicle blast of Huangkenuo in different population structure in 2003

2002年,糯稻与杂交稻混合间栽的8个处理中,混合间栽与净栽相比,优质稻黄壳糯的叶瘟和穗颈瘟的发病率和病情指数都明显地随杂交稻群体比例(行比)的增加而下降,见图1(各行比下的相应种群结

构详见表2),降幅在36.13%~100%之间。在种群结构为1:18.88(行比1:8)和1:19.97(行比1:10)的情况下,叶瘟发病率和病情指数虽有所上升,但均在防治指标以下。穗颈瘟发病率和病情指数也随杂交稻群体比例的增加而下降,降幅在47.58%~100%之间。

混合间栽对糯稻叶瘟和穗颈瘟的相对防效在种群结构为1:2.44(行比1:1)时分别为36.13%和47.58%,随杂交稻比例的增加而依次升高,到种群结构为1:15.01(行比1:6)时均达到100%(图3)。

2003年糯稻与杂交稻混合间栽的8个处理的相应种群结构虽与2002年略有差别(表2),但控病效果却相似,优质糯稻的叶瘟的发病率和病情指数都表现出随杂交稻群体结构的增加而下降的趋势,降幅分别达到了91.43%和94.13%。穗颈瘟表现出了与叶瘟相似的变化(图2)。混合间栽的不同种群结构对叶瘟的相对防效在94.10%~100%之间,对穗颈瘟的相对防效在83.04%~100%之间,所有混合间栽处理对稻瘟病的防治均达到了预期指标(图3)。

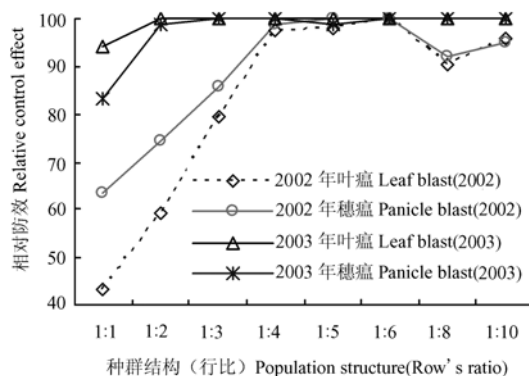


图3 不同种群结构对糯稻病害的相对防效

Fig. 3 Relative control effect for glutinous rice blast in different population structure in 2002 and 2003

混合间栽的不同种群结构对优质稻黄壳糯的病害发展蔓延起到了重要很好的控制作用。从图4和图5中可以看出,2002年,优质稻黄壳糯叶瘟及穗颈瘟的发病率随时间的推移而上升,但在不同种植模式下病害扩展的速率明显不同,净栽糯稻的扩展速度最快。随着杂交稻群体比例的增加和种群结构的变化,病害扩展的速率逐渐下降,到糯稻与杂交稻的种群结构为1:12.40(行比为1:5)以后扩展就非常缓慢了,这刚好与病害控制效果相一致,说明混合间栽能有效地

表 1 混合间栽不同种群结构下的产量及土地当量比

Table 1 Theoretical compound yield and LER at different population structure in mixed plots in 2002 and 2003

种植模式 Cultivation patterns	品种 Variety	2002 年 Year 2002							2003 年 Year 2003						
		理论产量	复合产量		增产%	产量	净栽	间栽	理论产量	复合产量		增产%	产量	净栽	间栽
		(kg·ha ⁻¹)	Compound	差异	Yield	位次	LER	LER	(kg·ha ⁻¹)	Compound	差异	Yield	位次	LER	LER
		Theoretical yield	yield (kg·ha ⁻¹)	Difference	increase rate(%)	Yield rank	Mon LER	Mix. LER	Theoretical yield	yield (kg·ha ⁻¹)	Difference	Increase Rate(%)	Yield rank	Mon. LER	Mix. LER
1 : 0(净糯)	T1(H)	3237.06	3237.06	-6012.37	-65.00	10	-	-	3516.58	3516.58	-7282.52	-67.44	10	-	-
1 : 1	T2(H)	1834.58							1844.23					0.52	
	T2(S)	5071.64	6950.65	-2298.78	-24.85	9	0.57	1.12	6222.43	8066.66	-2732.44	-25.30	9	0.58	1.10
1 : 2	T3(H)	1212.35							1299.80					0.37	
	T3(S)	6859.29	8071.64	-1177.79	-12.73	8	0.37	1.12	8608.81	9908.61	-890.49	-8.25	8	0.80	1.17
1 : 3	T4(H)	832.10							1085.88					0.31	
	T4(S)	8012.39	8844.49	-404.94	-4.38	7	0.26	1.12	9254.42	10340.30	-458.80	-4.25	7	0.86	1.17
1 : 4	T5(H)	804.45							815.96					0.23	
	T5(S)	8271.65	9076.10	-173.33	-1.87	6	0.25	1.14	9688.03	10503.99	-295.11	-2.73	6	0.90	1.13
1 : 5	T6(H)	736.67							636.36					0.18	
	T6(S)	8608.99	9345.66	96.23	1.04	4	0.23	1.16	10637.02	11273.38	474.28	4.39	3	0.98	1.17
1 : 6	T7(H)	676.55							533.76					0.15	
	T7(S)	9148.19	9824.74	575.31	6.22	1	0.21	1.20	11136.9	11670.66	871.56	8.07	1	1.03	1.18
1 : 8	T8(H)	471.11							440.54					0.13	
	T8(S)	9281.52	9752.63	503.2	5.44	2	0.15	1.15	10968.73	11409.27	610.17	5.65	2	1.02	1.14
1 : 10	T9(H)	427.16							402.63					0.11	
	T9(S)	9123.50	9550.66	301.23	3.26	3	0.13	1.12	10775.91	11178.54	379.44	3.51	4	1.00	1.11
0 : 1(净杂)	T10(S)	9249.43	-	-	-	5	-	-	10799.10	10799.10	-	-	5	-	-

差异 = 小区复合产量 - 净栽杂交稻的产量；LER = 间栽杂交稻产量/净栽杂交稻产量 + 间栽糯稻产量/净栽糯稻产量；增产率% = (差异 / 净栽杂交稻产量) × 100；S：汕优 63，H：黄壳糯

Difference = compound yield of each plot - yield of hybrid rice in monoculture；LER = yield of mixture hybrid rice/ yield of monoculture hybrid rice + yield of mixture glutinous rice/ yield of monoculture glutinous rice；Yield increase rate% = (difference - yield of monoculture hybrid rice) × 100；S: Shanyou63, H: Huangkenuo

表 2 混合间栽不同种群结构下的经济效益

Table 2 Economic benefit of different population structures in each plot

2002 年 Year 2002							2003 年 Year 2003					
种植模式 Cultivation patterns	种群结构 Population structures	经济效益 Economic benefit (yuan/ha)					种群结构 Population structures	经济效益 Economic benefit (yuan/ha)				
		汕优 63 Shanyou63	黄壳糯 Huangkenuo	综合效益 Benefit (yuan/ha)	增值 (yuan) Increment	增幅 Increase rate (%)		汕优 63 Shanyou63	黄壳糯 Huangkenuo	综合效益 Benefit (yuan/ha)	增值 (yuan) Increment	增幅 Increase rate (%)
1 : 0(净糯)	1 : 0	-	7251.01	7251.01	-3108.35	-30.01	1 : 0	-	9565.10	9565.10	-4257.75	-30.80
1 : 1	1 : 2.44	5730.00	4109.46	9839.46	-519.90	-5.02	1 : 2.92	7964.71	5016.31	12981.02	-841.83	-6.09
1 : 2	1 : 4.68	7682.41	2715.66	10398.07	38.71	0.37	1 : 6.43	11019.28	3535.46	14554.73	731.88	5.29
1 : 3	1 : 7.87	8973.88	1863.90	10837.78	478.42	4.62	1 : 7.73	11845.66	2953.59	14799.25	976.40	7.06
1 : 4	1 : 11.01	9264.25	1801.97	11066.22	706.86	6.82	1 : 9.97	12400.68	2219.41	14620.09	797.24	5.77
1 : 5	1 : 12.40	9642.07	1650.14	11292.21	932.85	9.00	1 : 13.97	13615.39	1730.90	15346.28	1523.43	11.02
1 : 6	1 : 15.01	10245.97	1515.47	11761.44	1402.08	13.53	1 : 16.82	14255.23	1451.83	15707.06	1884.21	13.63
1 : 8	1 : 18.88	10395.30	1055.29	11450.59	1091.23	10.53	1 : 23.58	14039.97	1198.27	15238.24	1415.39	10.24
1 : 10	1 : 19.97	10218.32	956.84	11175.16	815.80	7.88	1 : 23.91	13793.16	1095.15	14888.32	1065.47	7.71
0 : 1(净杂)	0 : 1	10359.36	-	10359.36	-	-	0 : 1	13822.85	-	13822.85	-	-

增值 = 小区综合效益 - 净栽杂交稻效益；增幅% = [(小区综合效益 - 净栽杂交稻效益) / 净栽杂交稻效益] × 100%；种群结构 = 每个种植单元糯稻的分蘖数 / 该单元杂交稻的分蘖数；Increment = compound economic benefit of each plot - economic benefit of monoculture hybrid rice；Increase rate% = [(compound economic benefit of each plot - economic benefit of monoculture hybrid rice) / Economic benefit of monoculture hybrid rice] × 100%；Population structure = Glutinous tillers in each cultivate unit / Hybrid tillers in this unit

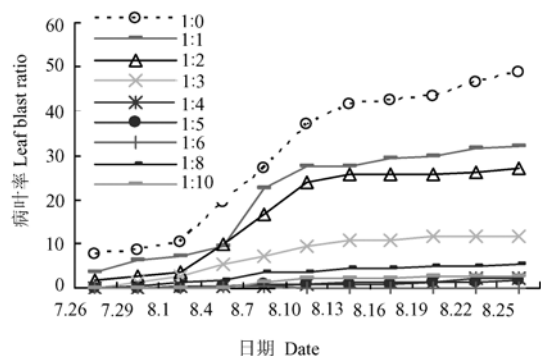


图 4 不同种群结构下糯稻叶瘟随时间的变化 (2002 年)

Fig. 4 Leaf blast incidence of glutinous rice changed with time in 2002

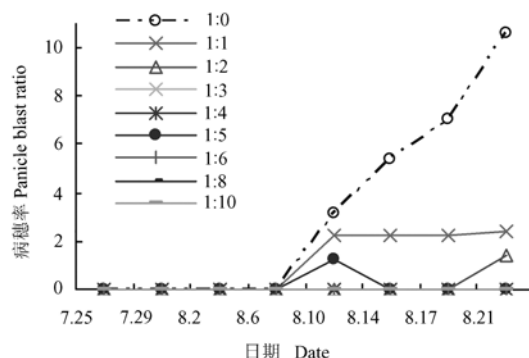


图 7 不同种群结构下糯稻穗瘟随时间的变化 (2003 年)

Fig. 7 Panicle blast incidence of glutinous rice changed with time in 2003

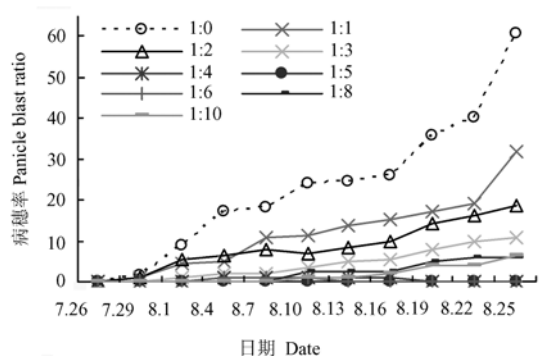


图 5 不同种群结构下糯稻穗瘟随时间的变化 (2002 年)

Fig. 5 Panicle blast incidence of glutinous rice changed with time in 2002

降低稻瘟病的蔓延速率。

2003 年也有相似的结果,黄壳糯的叶瘟与穗颈瘟的发展蔓延速率仍然是以净栽糯稻的最快,随着杂交稻群体比例的增加和各处理种群结构的变化,病害的扩展速率逐渐降低(图 6、7)。

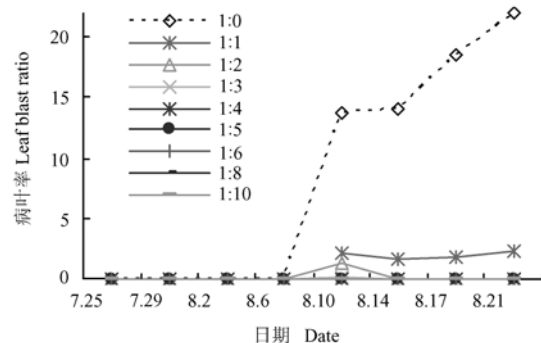


图 6 不同种群结构下糯稻叶瘟随时间的变化 (2003 年)

Fig. 6 Leaf blast incidence of glutinous rice changed with time in 2003

2.1.2 对主栽品种汕优 63 的影响 2002 年,在混合间栽的不同种群结构中,杂交稻汕优 63 的叶瘟与穗颈瘟的变化与黄壳糯的表现略有不同,即在杂交稻群体比例较低和较高的种群结构中,叶瘟和穗颈瘟都较重,而在杂交稻群体比例适中的种群结构中较轻。具体表现为在糯稻与杂交稻的种群结构为 1:2.44 (行比为 1:1) 和在种群结构为 1:18.88 和 1:19.97 (行比分别为 1:8 和 1:10) 的群体中,汕优 63 的叶瘟、穗颈瘟的发病率和病情指数均较高;而在种群结构为 1:5~1:15 (行比为 1:2~1:6) 的群体结构中,叶瘟、穗颈瘟的发病率和病情指数较低,分别在 0~0.63% (0~0.42) 和 0~4.3% (0~2.60) 之间变化(图 8)。2003 年,汕优 63 上没有发现穗颈瘟,叶瘟发病率也很低,在 5% 以下。

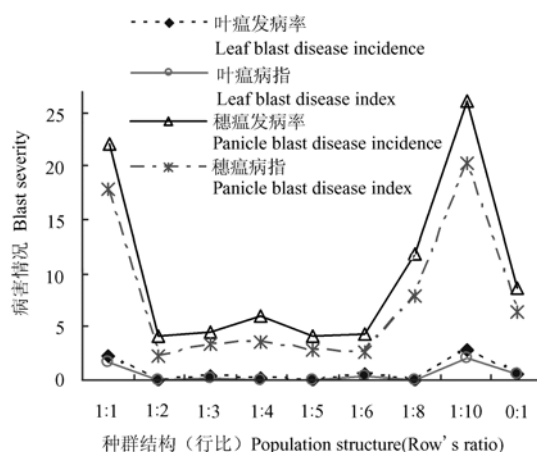


图 8 不同种群结构下杂交稻叶瘟和穗瘟病情变化 (2002 年)

Fig. 8 Leaf and panicle blast of Shanyou 63 in different population structure in 2002

混合间栽的不同种群结构对主栽品种汕优 63 的病害蔓延速率也起到了很好的控制作用。图 9 和 10 表明：不同的种群结构下，汕优 63 的叶瘟和穗颈瘟的发病率均呈现出在杂交稻群体比例较低 1:2.44 (行比 1:1) 和较高 1:19.97 (行比 1:10) 的种群结构中发展蔓延较快，而比例适中 1:11~15.01 (行比为 1:4~1:6) 的种群结构下蔓延较慢的现象，这与混合间栽中糯稻病害的发展蔓延速率有所不同。

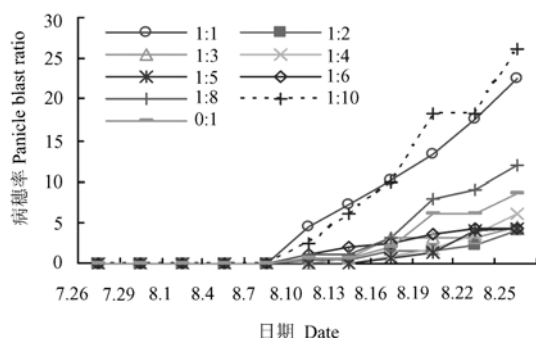


图 9 不同种群结构下杂交稻叶瘟随时间的变化(2002 年)

Fig. 9 Leaf blast incidence of hybrid rice changed with time in 2002

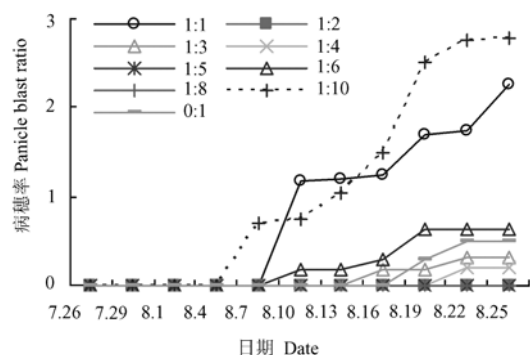


图 10 不同种群结构下杂交稻穗瘟随时间的变化(2002 年)

Fig. 10 Panicle blast incidence of hybrid rice changed with time in 2002

2.2 不同种群结构下的水稻产量

不同种群结构下，各品种的产量不同，因而复合产量(糯稻产量+杂交稻产量)也不同(表 1)。2002 年，净栽黄壳糯的单产是所有模式中最低的，仅为 3 237.06 kg·ha⁻¹；其余的种植模式中，以 1:15.01 (行比为 1:6) 为最高，达到 9 824.74 kg·ha⁻¹。群体结构为 1:12.40 (行比为 1:5) 以上的混合间栽群体与净栽杂交稻相

比有明显的增产效应，每公顷增产 96.23~575.31 kg，增产幅度为 1.04%~6.22%。

2003 年，净栽糯稻的产量仍然较低，仅为 3 516.58 kg·ha⁻¹，产量最高的是种群结构为 1:16.82 (行比为 1:6) 的处理，达 11 670.66 kg·ha⁻¹。其中，种群结构为 1:13.97 (行比为 1:5) 以上的混栽群体都表现出增产效应，每公顷比净栽糯稻增产 379.44~871.56 kg，增产幅度在 3.51%~8.70% 之间(表 1)。

2.3 不同种群结构下的土地当量比

混合间栽能显著提高土地利用效率。从表 1 中可以看出，2002 年，混合间栽的不同种群结构下的土地当量比(Land equivalent ratio, LER)均大于 1，在 1:15.01 (行比 1:6) 时，LER 达到了 1.20，其余的种群结构下，LER 也大于 1；而在净栽中，无论是汕优 63 还是黄壳糯的 LER 都小于 1。说明混合间栽提高了土地利用效率 12%~20%。

2003 年，混合间栽不同种群结构中，LER 都大于 1，其中以种群结构为 1:16.82 (行比为 1:6) 的 LER 最大，达到了 1.18，即在该行比的种群结构中，混合间栽 1 亩田的收成相当于净栽 1.18 亩田的。混合间栽提高了土地利用效率 11%~18%。

2.4 不同种群结构下的经济效益

2002 年，与净栽杂交稻相比，除种群结构为 1:2.44 (行比 1:1) 外，经济效益均高于净栽杂交稻，每公顷增加产值 38.71~1402.23 元，增幅为 0.37%~13.53%，增值较大的是种群结构为 1:15.01~1:23.91 (行比为 1:6~1:8) 的处理，增幅为 10.53%~13.53% (表 2)。

2003 年亦有类似的结果，种群结构为 1:6.43 (行比 1:2) 以上的混合间栽处理中，经济效益均高于净栽杂交稻的，每公顷比净栽杂交稻增加产值 731.88~1844.21 元，增幅为 5.29%~13.63%，增值较大的是种群结构为 1:13.97~1:23.58 (行比为 1:5~1:8) 的处理，增幅为 11.02%~13.63% (表 2)。

3 讨论

3.1 混合间栽不同种群结构对稻瘟病的控制

3.1.1 对糯稻病害的控制及其群体优化 混合间栽与净栽相比，糯稻的叶瘟和穗颈瘟的发病率及病情指数均下降，其总的趋势是随杂交稻群体比例的增加，病害降低幅度逐渐增大，对叶瘟和穗颈瘟的相对防效逐渐升高。

然而，糯稻叶瘟和穗颈瘟在种群结构为 1:18.88

和 1 : 19.97 (行比为 1 : 8 和 1 : 10) 的处理中却有所反弹,其原因可能是由于在这两种种群结构中,主栽品种汕优 63 发病也较重,从而产生较多的接种菌源,加重糯稻发病。这一现象说明混合间栽的防病效果并不是杂交稻的比例越大越好,而是有一个范围,在本研究中,种群结构为 1 : 12.40 ~ 1 : 18.88 (行比为 1 : 5 ~ 1 : 8) 是较好的种植模式。

2003 年总体发病较轻,与 2002 年相比有较大差异,其原因比较复杂,而降雨可能是其中的关键因素之一,因为在 2003 年 5 月上旬至 7 月中旬一直没有降雨,而又没有条件灌水,甚至有一段时间田块完全干涸,导致田间湿度下降,造成了不利于病害发生、发展的环境条件。到 7 月下旬雨水较多、湿度较大时水稻已进入开花期,错过了稻瘟病菌侵入和发病的最佳时期。与此同时,水稻的根系因经受适当的干旱锻炼,反而生长得较为发达,植株生长也比较健壮,增强了对病害的抵抗力。

3.1.2 对杂交稻病害的控制及其群体优化 混合间栽的不同种群结构中,主栽品种汕优 63 的病情与黄壳糯的不同,即在杂交稻的群体比例较低(行比为 1 : 1,种群结构为 1 : 2.92) 和较高(行比为 1 : 10,种群结构为 1 : 19.97) 的群体结构中,叶瘟和穗颈瘟都相对较重,而在杂交稻比例适中(种群结构 1 : 11 ~ 1 : 15、行比 1 : 4 ~ 1 : 6) 的群体中较轻。

这表明混合间栽对糯稻发病不利,但在杂交稻的群体比例较低和较高的种群结构中却有利于杂交稻发病。因为在病害系统中,必须同时考虑寄主与菌源量两个因素,在杂交稻比例较低的种群结构中,杂交稻的群体密度虽然很小,但由于感病糯稻所占的比例大,发病产生较多的菌源,使杂交稻受侵染的几率增大而导致发病较重。在种群结构为 1 : 11.01 ~ 1 : 15.01 (行比 1 : 4 ~ 1 : 6) 的处理中,杂交稻的群体数量增加,糯稻所占的比例降低,虽然有适度的菌源量,但种群结构趋于合理,田间微生态条件得到了改善,不利于病害发生。同时由于品种本身的抗性、高秆优质稻的阻挡作用、病原菌小种组成多样化及诱导抗性等多方面因素的影响^[2,17],使杂交稻发病较轻。在种群结构为 1 : 18.88 和 1 : 19.97 (行比分别为 1 : 8 和 1 : 10) 时,杂交稻的群体数量大,种群结构不合理,田间微生态条件利于病害的发生,而且由于发病糯稻植株产生的大量孢子作为接种菌源,因而杂交稻发病较重。

3.2 不同种群结构下的增产、增收效果及土地当量比 混合间栽有效地控制了稻瘟病的发生,减少了病

害造成的损失,因而有增产效应,其产量比各组份的平均值高。研究结果显示:产量的增加不与杂交稻群体比例的增加成正比,在种群结构为 1 : 12.40 ~ 1 : 23.91 (行比 1 : 5 ~ 1 : 10) 时的增产效果较好,这与朱有勇等^[2]的研究结果基本相符。但产量的增加与杂交稻比例的增加不成正比,因而也说明混合间栽优化群体结构有一个范围,要结合防病增产及经济效益来综合考虑。

同时,由于糯稻的市场价值远远高于杂交稻,因而从经济效益来看,仍以种群结构为 1 : 12.40 ~ 1 : 18.88 (行比为 1 : 5 ~ 1 : 8) 的种植模式效益较好。增产增收效应在某些种群结构下表现较好,说明混合间栽群体对资源的利用率较高。另外,混合间栽还有利于优质农家品种资源的保护和利用^[18]。

以土地当量比来评价间(混)作群体的资源利用效率,结果表明,混合间栽的土地当量比(LER)均大于 1,说明间栽群体中优质稻和杂交稻互惠互利,有间作优势,提高了对土地的利用率^[19]。

3.3 优化群体种植模式的控病、增产原因分析

病原菌在传播过程中孢子密度随传播距离的增加呈指数式降低,同时由于太阳光中紫外线的作用,传播距离的增加还会降低孢子存活力^[20]。因此,混栽田中随着杂交稻群体比例的增加,感病植株密度减小,降低了病菌孢子落到亲和性品种上的概率,从而限制了病原菌的增殖,因而病害也呈现减轻的趋势。

优化了群体结构,改善了田间生态条件。所选择的间栽品种通常是高秆的糯稻品种,混合间栽使不同品种间的群体比例发生了变化。由于品种的株高差异,在田间形成立体植株群体,充分利用了自然资源(如温、光、水、气、热等)。同时使田间的生态条件如光照强度、光合有效辐射、叶面温度和湿度及空气相对湿度等条件得到改善(作者未发表数据),提高了控病、增产效果。

病原菌生理小种组成多样化。混合间栽田间稻瘟菌的寄主品种至少为两个,品种的农艺性状、抗病性及遗传背景不同,因而混栽与净栽田块稻瘟病菌的遗传宗群差异较大,在相同的遗传相似水平上,混栽田块的遗传宗群数较多,净栽田块的遗传宗群数较少;净栽田块稻瘟病菌生理小种组成相对简单,优势小种比较明显,混栽田块稻瘟病菌生理小种组成较为复杂,有较多的小种但没有优势种群^[21],从而大大降低了发病程度。当然,导致这种现象的原因可能很复杂,有待于进一步研究。

非亲和性或弱致病性小种能诱发寄主产生对亲和性小种的抗性，从而抵抗亲和性小种的侵入，使亲和性小种的侵染率降低从而减轻病害发生。据范静华等^[22]的研究表明，通过诱导接种均能诱发植株对稻瘟病的抗性，抑制亲和性小种的侵染，表现为病斑数量少，病斑面积小，降低发病率 26%~30%，减轻病害程度 3%~25%。

4 结论

4.1 混合间栽能有效地控制优质糯稻的稻瘟病

混合间栽的不同群体结构对稻瘟病的控制呈现出随着杂交稻群体比例的增加，优质稻黄壳糯的叶瘟和穗颈瘟的发病率和病情指数均逐渐下降的趋势。糯稻与杂交稻的种群结构在 1:15.01~1:18.88（行比 1:6~1:8）的群体结构下对稻瘟病的控病效果最好，表现为病害发病率低，发展蔓延速度较慢，相对防治效达到 90.19%~100%。

4.2 混合间栽对杂交稻的稻瘟病有一定的控制效果

在混合间栽的不同种群结构中，杂交稻汕优 63 的稻瘟病在杂交稻群体比例适中的种群结构中发病较轻，即种群结构为 1:12.40（行比 1:5）和 1:15.01（行比 1:6）的群体结构对杂交稻的稻瘟病有一定的控制效果。

4.3 混合间栽能提高水稻产量和增加经济效益

在糯稻与杂交稻的种群结构为 1:12.40~1:18.88（行比为 1:5~1:8）时，每公顷比净栽糯稻增产 379.44~871.56 kg，增产幅度在 3.51%~8.70%之间。

混合间栽每公顷能增加产值 38.71~1844.21 元，增幅在 5.29%~13.63%间，其中以种群结构为 1:12.40~1:18.88（行比 1:5~1:8）经济效益最好，产值增幅在 9.00%~13.63%间。

4.4 混合间栽能提高土地的利用率

以土地当量比衡量混合间栽的土地利用率，在混合间栽的不同种群结构中，土地当量比为 1.11~1.20 间，说明混合间栽提高了土地利用率 11%~20%。

致谢：在试验实施中，得到了国际水稻研究所 Twng-Wah Mew 博士、Imelda M. Revilla-Molina 博士、Nancy P. Castilla 博士、红河州植保站范金祥研究员、云南农业大学张重权、汤庆生、王忠顺、申云龙、孔德碧、付本重、徐自怀、徐春贵、刘林、李瑾、梁舒萍、刘辉、何有才、张媛、肖娴等同学的帮助，个旧市植保站、个旧市农业技术推广

广中心为本研究的顺利完成提供了大力协助，在此一并致谢。

References

- [1] 张先平, 孙 敏, 邓根生, 王胜宝, 刘越君, 王晓娥, 王 晖, 李勤, 杨利群. 水稻多品种混合间栽控制稻瘟病研究. 西北农业学报, 2004, 13(3): 62-65.
Zhang X P, Sun M, Deng G S, Wang S B, Liu Y J, Wang X E, Wang H, Li Q, Yang L Q. Effects of the mixture interplanting of rice varieties to control rice blast. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2004, 13(3): 62-65. (in Chinese)
- [2] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Fan J X, Yang S S, Hu L P, Hei L, Mew T W, Teng P S, Wang Z H, Mundt C C. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, 406: 718-722.
- [3] Brromeo E, Wang Z H, Zhu Y J, Wang Y Y, Zhu Y Y, Hei L. *Prospects of a marker aided varietal diversification for disease control*. International Rice Research Institute Press, ISBN 971-22-0156-2. 2001: 193-207.
- [4] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Z S, Li Y, Fan J H, Chen J B, Fan J X, Yang S S, Ma G L, Hu L P, Zhou J Y, Mundt C C, Borromeo, Hei L, Mew T W. Diversifying variety for control of rice blast in China. *Biodiversity*, 2001, 2 (1): 10-15.
- [5] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Li Z S, Zhou J Y, Fan J X, Yang S S, Ma G L, Hu L P, Mundt C C, Borromeo, Hei L, Mew T W. *Current status and prospects of mixture planting for control rice blast in Yunnan*. Manila: International Rice Research Institute Press, 2001: 159-168.
- [6] 刘二明, 朱有勇, 肖放华, 罗 敏, 叶华智. 水稻品种多样性混栽持续控制稻瘟病研究. 中国农业科学, 2003, 36: 159-164.
Liu E M, Zhu Y Y, Xiao F H, Luo M, Ye H Z. Mixture planting of rice cultivars and sustainable blast control. *Scientia Agricultural Sinica*, 2003, 36: 159-164.
- [7] 朱有勇, 陈海如, 范静华, 王云月, 李 炎, 范金祥, 杨时生, 胡玲屏, 陈建斌, 李作森. 水稻品种多样性持续控制稻瘟病田间试验. 云南植物病理重点实验室论文集(第三卷). 昆明: 云南科技出版社, 1999, 66-74.
Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Fan J X, Yang S S, Hu L P, Chen J B, Li Z S. Plot experiments of rice variety diversity for sustainable rice blast management. *Symposium of the key laboratory for plant pathology of Yunnan Province* (Vol.3). Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1999: 66-74. (in Chinese)
- [8] 吕 亮, 陈其志, 陈茂华, 张 舒, 田 剑, 潘学义, 魏坦雄, 朱

- 有勇. 不同水稻品种间栽控制稻瘟病的田间试验. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 228-230.
- Lü L, Chen Q Z, Chen M H, Zhang S, Tian J, Pan X Y, Wei T X, Zhu Y Y. Field experiment of mixed planting with different rice varieties to control rice blast. *Journal of HuaZhong Agricultural University*. 2002, 21(3): 228-230. (in Chinese)
- [9] 汤圣祥, 丁立, 王中秋. 利用生物多样性稳定控制水稻病虫害. 世界农业, 1999, 1: 8.
- Tang S X, Ding L, Wang Z Q. Using biodiversity to control rice diseases and pest stably. *World Agriculture*, 1999, 1: 8. (in Chinese)
- [10] 毛建辉, 何明, 何忠全, 何树林, 梁亚东. 品种混植对水稻稻瘟病及其产量的影响. 西南农业学报, 1990, 3(1): 56-61.
- Mao J H, He M, He Z Q, He S L, Liang Y D. Effect of mixed planting of varieties on rice blast and rice yield. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1990, 3(1): 56-61. (in Chinese)
- [11] 朱有勇, 陈海如, 范静华, 王云月, 李炎, 范金祥, 杨时生, 马光亮, 陈建斌, 李作森, 卢宝荣. 利用水稻品种多样性控制稻瘟病研究. 中国农业科学, 2003, 36: 521-527.
- Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Fan J X, Yang S S, Ma G L, Chen J B, Li Z S, Lu B R. The use of rice variety diversity for rice blast control. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36: 521-527.
- [12] Oka H I. *Origin of cultivated rice*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press, 1988.
- [13] 曾士迈, 张树榛. 植物抗病育种的流行病学研究. 北京: 科技出版社, 1998: 8-96.
- Zeng S M, Zhang S Z. *Epidemiological study of plant resistant breeding*. Beijing: Science and Technology Press, 1998: 8-96. (in Chinese)
- [14] 孙雁, 王云月, 何月秋, 范静华, 陈建斌, 朱有勇. 云南稻种抗病基因同源序列类似性分析. 中国农业科学, 2002, 35: 502-507.
- Sun Y, Wang Y Y, He Y Q, Fan J H, Chen J B, Zhu Y Y. Analysis of resistance gene analogue for rice cultivars in Yunnan Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(5): 502-507. (in Chinese)
- [15] 农业部农作物病虫测报站. 稻瘟病测报调查规范(GB/T15790 - 1995). 中华人民共和国国家标准. 北京: 中国标准出版社, 1996: 1-13.
- Crop Diseases and Pest Insects Forecast Station of the Ministry of Agriculture. Rules for investigation and forecast of the rice blast (*Magnaporthe grisea*), GB/T 15790 - 1995. *The State Standard of the People's Republic of China*. Beijing: China Standard Press, 1996: 1-13. (in Chinese)
- [16] 刘玉华, 张立峰. 不同种植方式土地利用效率的定量评价. 中国农业科学, 2006:39: 57-60.
- Liu Y H, Zhang L F. Quantitative evaluation of land cropping use efficiency under diferent patterns. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1):57-60. (in Chinese)
- [17] 朱有勇, 孙雁, 王云月, 李炎, 何月秋, 何露红, Christopher C. Mundt T W, Mew, Hei L. 水稻品种多样性遗传分析与稻瘟病控制. 生物多样性持续控制作物病害理论与技术. 昆明: 云南科技出版社, 2004: 207-217.
- Zhu Y Y, Sun Y, Wang Y Y, Li Y, He Y Q, He X H, Mundt C C, Mew T W, Hei L. Genetic analysis of rice varietal diversity for rice blast control. *Biodiversity for Sustainable Crop Diseases Management*. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2004: 207-217. (in Chinese)
- [18] 卢宝荣, 朱有勇, 王云月. 农作物遗传多样性农家保护的现状及前景. 生物多样性, 2002, 10: 409-415.
- Lu B R, Zhu Y Y, Wang Y Y. The current status and perspectives of on-farm conservation of crop genetic diversity. *Biodiversity Science*, 2002, 10: 409-415. (in Chinese)
- [19] 蔡承智, 高军, 陈阜. 土地当量比(LER)的计算校正探讨. 耕作与栽培, 2003: 18-20.
- Cai C Z, Gao J, Chen F. Discussion about the calculation emendation of land equivalent ratio (LER). *Cultivating and Planting*, 2003: 18-20. (in Chinese)
- [20] Wolfe M S, 曹克强. 多系品种和混合品种的抗病现状及前景. 国外农学(麦类作物), 1990, 2: 27-31.
- Wolfe M S, Cao K Q. The disease-resistant current situation and prospect of multiple and mixed varieties. *Oversea Agronomy(wheat crop)*. 1990, 2: 27-31. (in Chinese)
- [21] 罗朝喜, 李进斌, 李成云, 尹良芬, 周晓罡, 王芳. 云南省稻瘟病菌生理小种演变及稻种资源垂直抗性基因的利用. 西南农业学报, 2000, 13(4): 57-61.
- Luo C X, Li J B, Li C Y, Yin L F, Zhou X G, Wang F. Race evolution of *Magnaporthe grisea* and evaluation of rice vertical resistant genes in Yunnan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2000, 13(4): 57-61. (in Chinese)
- [22] 范静华, 周惠萍, 陈建斌, 尹畅, 李作森, 陈海如, 刘进元, 朱有勇. 稻瘟病诱导抗性研究初报. 云南农业大学学报, 2002, 17: 325-327.
- Fan J H, Zhou H P, Chen J B, Yin C, Li Z S, Chen H R, Liu J Y, Zhu Y Y. Preliminary studies on induced resistance of rice blast. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2002, 17: 325-327. (in Chinese)

(责任编辑 王红艳)