

山东水稻病虫害系统最优控制研究

王玉正¹, 任宝珍, 刘汉舒², 杨清臣³, 罗守玉³, 魏 靖², 朱军生¹

(1. 山东省植物保护总站, 济南 250100; 2. 济宁市植物保护工作站, 济宁 272137; 3. 东营市植物保护站, 东营 257091)

摘要: 1994~1996 年研究了稻田 13 种可控因素对水稻病虫害、天敌和产量的综合效应以及分期混合施药技术。根据既控制病虫增产又保护生态的原则, 综合评价了可控因素, 提出了水稻病虫害系统最优控制为中国 91 或辐 4-2, N 150kg/hm², 底肥: 分蘖肥: 穗肥 N 分配比为 80 : 0 : 20, P₂O₅ 75kg/hm², K₂O 240kg/hm², ZnSO₄ 15kg/hm², 插秧期春季稻和夏季稻分别 4 月 30 日和 6 月 15 日前后, 种植密度为 36 万墩/hm², 水管理为适时标准烤田, 播种期甲基异柳磷 0.08% 与多菌灵 0.15% 混合浸种防治地下害虫和恶苗病, 分蘖初期(7 月 25 日前后)杀虫双 750g/hm² 与井冈霉素 150g/hm² × 2 混合喷雾防治二代稻纵卷叶螟和纹枯病, 分蘖后期(8 月 20 日前后)捕虱灵 75g/hm² 与三环唑 300g/hm² 混合喷雾防治稻飞虱和稻瘟病。

关键词: 水稻; 病虫害; 可控因素; 综合效应; 系统最优控制

A study on system optimum control to diseases and insect pests of rice in Shandong

WANG Yu-Zheng¹, REN Bao-Zhen, LIU Han-Shu², YANG Qing-Chen, LUO Shou-Yu³, WEI Jing², ZHU Jun-Sheng¹ (1. General Station of Plant Protection of Shandong, Ji'nan 250100, China; 2. Station of Plant Protection of Jining, Jining 272137, China; 3. Station of Plant Protection of Dongying, Dongying 257091, China)

Abstract: The integrative effect of 13 controllable factors of rice fields on diseases and insect pests, natural enemies and rice yield, and technology of mixture of insecticides and fungicides to control main diseases and insect pests of rice at three periods were studied from 1994 to 1996. We intended to act on the criterion of not only good result of control to the pests and increase of rice yield but also protection of natural enemies, the 13 controllable factors were evaluated synthetically and the optimum system control to the diseases and insect pests of rice was suggested as follows: 1) Cultivar China 91 or radiation 4-2. 2) Dosages of fertilizer N, P₂O₅, K₂O and ZnSO₄ application at 150kg/hm², 75kg/hm², 240kg/hm² and 15kg/hm² respectively. 3) Ratio of N at 80 : 0 : 20 at before transplanting seedling, branching stage and ear stage. 4) Time of transplanting seedling of spring and summer rice on about 30, April and 15 June. 5) Rice density at 360000 clumps/hm². 6) Standard roasted field. 7) Control soil insects and *Fusarium fujikuroi* Sawada by mixture soaking seeds with isofenphos-methyl and carbendazim at 0.08% and 0.15% of seed weight respectively. 8) Control the second generation of rice leaf folder and sheath and culm blight of rice by mixture foliage spraying with shachong shuang and Jinggang antibiotic at 750g/hm² and 150g/hm² respectively on about 25 July. 9) Control rice planthoppers and rice blast by mixture foliage spraying with buprofezin and tricyclazole at 75g/hm² and 300g/hm² respectively on about 20 August.

Key words: rice, diseases and insect pests; controllable factor; integrative effect; system optimum control

文章编号: 1000-0933(2001)02-0271-08 中图分类号: S433, S435.11 文献标识码: A

作物生态系统是以作物为生产者,病虫害等有害生物为消费者,天敌等有益生物为捕食者的人造生态系统,其主要功能是输出作物产品。影响作物生态系统变化的因素有两大类,一类不可控因素,如大气温湿度、降雨等;另一类为可控因素,主要包括作物品种、播期、施肥施药、种植密度等,可称为人类控制因素,是进行系统控制的因素。这些可控因素不仅对整个作物生态系统有影响,而且对病虫害和天敌发生均有深刻的影响。研究这些可控因素的最佳运用,提出有害生物的最优控制,无疑是有害生物可持续治理的重要途径。作者以最优控制^[1]为基本技术原理,采用系统优化方法,在山东济宁、临沂和东营于 1994~1996 年进行了水稻病虫害系统最优控制的探索研究,初步结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 试验设计与方法

1.1.1 水稻病虫田间消长调查 1994~1995 年在水稻播种后每隔 5d 调查 1 次水稻病虫发生情况,定点系统调查田不施药,任使病虫自然发生。

1.1.2 可控因素对病虫害、天敌、产量的综合效应研究 试验研究采用逐步逼近法,即先找出适合水稻高产的可控因素水平,组成基本值集,然后上下变动因素水平,组成试验方案进行试验;经过试验后根据产量再取最优值作为基本值集,再上下变动各因素水平进行试验,逐步逼近各因素的最优点。采用 $L_{27}(3)^{13}$ 正交表设计方案,进行田间小区试验,研究可控因素对水稻病虫害、天敌和产量的综合效应。共进行了 13 种可控因素的试验,小区面积为 30m^2 。氮、磷、钾为测土施肥,磷肥和钾肥全为底肥施用,某时期的氮用量为总氮量乘该期的百分比,底肥施氮量为底肥总量减土样含量。品种选择推广面积大和有推广前途的 3 个。烤田分为标准、重度和不烤田 3 种方式,标准烤田为控水到稻田人踩无脚印程度,重度烤田为土壤表面有轻度裂缝。主要试验因素及水平见表 1。

表 1 主要试验因素及水平

Table 1 Main factors and treatments of experiment

年份 Year	因素水平 Treatment	品种* Cultivar	N (kg/hm ²)	三期 N 比 (%) N percentages of three periods	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	ZnSO ₄ (kg/hm ²)	插秧期 (月、日) Transplanting seedling time (month, date)	密度 (万墩/hm ²) Density (ten thousand clumps/hm ²)	烤田 方式 Model of roasted field
1994	1	中国 91China 91	90	60 : 40 : 0	45	180	0	6.15(5.10)	30	不 No 标准 Standard 重度 Serious
	2	87-9	120	80 : 0 : 20	75	210	15	6.25(5.20)	33	
	3	80-7	150	100 : 0 : 0	105	240	30	7.5(5.30)	36	
1995	1	中国 91China 91	75	60 : 40 : 0	45	180	0	6.15(4.30)	30	不 No 标准 Standard 重度
	2	87-9	150	80 : 0 : 20	75	240	15	6.25(5.10)	36	
	3	80-7	225	100 : 0 : 0	150	300	45	7.5(5.20)	42	

* 表内品种为济宁试验品种,临沂试验品种依次为 D291、京引 119、辐 4-2,东营为中国 91、津稻 1187、晚 57。() 内为东营插秧期,其余为济宁、临沂插秧期。

1.1.3 水稻主要病虫害分期混合施药技术研究 在水稻病虫消长规律调查和可控因素对病虫、天敌和产量的综合效应研究,明确了病虫发生的阶段性和最佳药剂的基础上,进行了分期混合施药试验。试验设播种期,按种子量计算,甲基异磷碑 0.08% 与多菌灵 0.15% 混合浸种,防治地下害虫和恶苗病;7 月 25 日杀虫双 $750\text{g}/\text{hm}^2$ 与井冈霉素 $150\text{g}/\text{hm}^2$ 混合喷雾,防治纹枯病和稻纵卷叶螟;8 月 20 日捕虱灵 $75\text{g}/\text{hm}^2$ 与三环唑 $300\text{g}/\text{hm}^2$ 混合喷雾,防治稻飞虱和稻瘟病。以上为处理。设在同时期上述药剂单施为药剂对照,以不施药为空白对照。喷雾药液量为 $900\text{kg}/\text{hm}^2$ 。田间试验为随机区组设计,重复 3 次,小区面积 666.7m^2 。

1.1.4 水稻病虫害系统最优控制的组建及示范 1996 年在 1994~1995 年研究的基础上,根据既控病虫增产又保护生态原则,从病虫、天敌、产量等方面综合评价了可控因素,组建水稻病虫害系统最优控制(详见 2.6),并进行了示范验证,并设常规栽培且单病虫防治作常规防治对照和不施药防治为空白对照,示

范小区面积 666.7m², 重复 3 次。

1.2 效果调查与测产

在每种病虫防治前调查 1 次基数, 防治后 1 周调查害虫 1 次, 防治后 2~3 周调查病害 1 次。调查取样为 5 点对角线, 害虫每点 6 墩, 病害每点 20 株。在收获期按 5 点对角线取样, 每点 2 墩, 测定穗数、穗粒数和千粒害, 计算产量。

2 结果与分析

2.1 水稻主要病虫的田间发生消长规律

从图 1 看出, 水稻苗期主要病虫害是灰飞虱, 有的年份恶苗病发生较重; 分蘖初期侵染或为害的主要有纹枯病、稻纵卷叶螟和稻苞虫, 7 月 25 日前后纹枯病进入侵染高峰, 病株率开始迅速上升, 稻纵卷叶螟和稻苞虫种群数量也进入剧增期; 分蘖后期主要有稻飞虱(褐飞虱和白背飞虱)、稻瘟病等, 这些病虫均在 8 月 20 日前后进入迅速上升期。结果表明, 水稻病虫的发生表现出明显的阶段性, 这为杀虫剂与杀菌剂分期

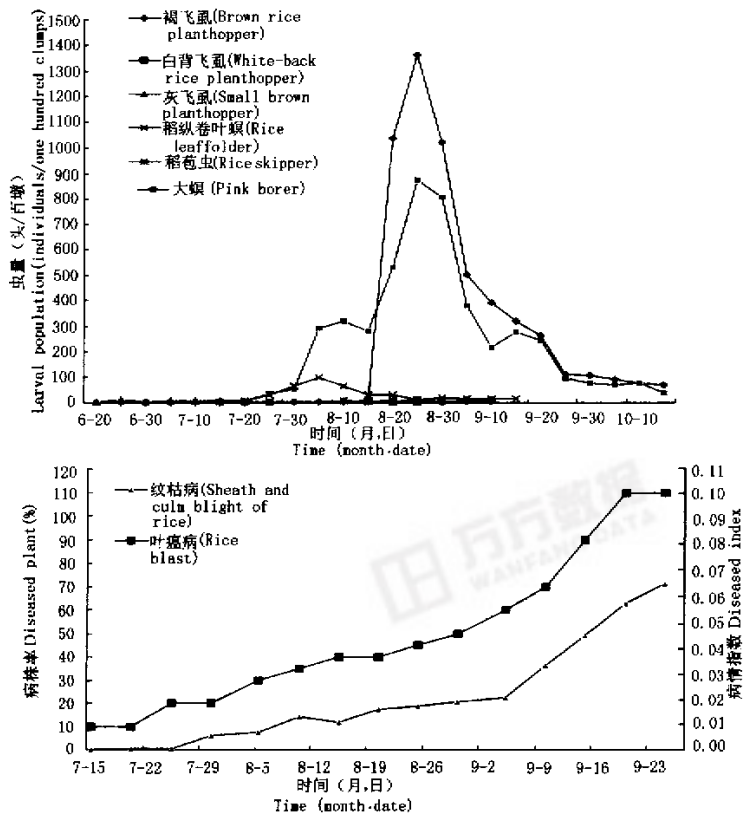


图 1 水稻主要病虫种群数量动态

Fig. 1 Population dynamic of main diseases and insect pests of rice

苗期为出苗至 7 月 25 日, 分蘖期为 7 月 25 日至 8 月 30 日, 穗期为 8 月 30 日至收获。Seedling stage: from transplanting seedling to 25, July, Branching stage: from 25, July to 30, August, Ear stage: from 30, August to harvest

混合施药防治提供了依据。

2.2 可控因素对病虫害的综合效应

2.2.1 水稻纹枯病(*Rhizoctonia solani* Kühn) 按正交表设计原理,各因素水平间的极差表现了因素的主次性。从表 2 看出,不同因素对水稻纹枯病影响的主次性排序如下:1994 年试验,防治纹枯病的药剂(297.3)>烤田方式(44.2)>总 N(40.5)>K₂O(38.8)>品种(34.8)>密度(34.7)>三期 N 分配比(32.6)>P₂O₅(30.2)>ZnSO₄(23.5)>插秧期(16.6);1995 年试验,防治纹枯病药剂(144.7)>烤田方式(23.9)>密度(21.5)>K₂O(18.3)>P₂O₅(16.0)>ZnSO₄(15.7)>三期 N 分配比(12.4)>插秧期(12.0)>品种(10.6)>总 N(1.9)。结果表明,防治药剂对纹枯病影响最大,其次是水管理即烤田方式。

从作用性质分析,(1)防治药剂,以井冈霉素对纹枯病防效为高;(2)烤田方式,以重度烤田纹枯病发生轻,标准烤田也轻于不烤田;(3)品种,以中国 91 发生较轻,以 80-7 发生较重;(4)总 N,氮素增加发病重;(5)三期 N 分配比,底肥:分蘖肥:穗肥之比,以 80:0:20 发病轻,以 100:0:0 发病重;(6)P₂O₅、K₂O 和 ZnSO₄,随施量增加发病较轻;(7)插秧期,插秧迟发病重;(8)密度,密度高发病重。

表 2 可控因素对水稻纹枯病的综合效应
Table 2 Integrative effect of controllable factors sheath and culm blight of rice

年份	因素水平	品种	三期 N 比			插秧期			密度	烤田方式	防治纹枯病
Year	Treatment	Cultivar	N	N percentages of three periods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	Time of transplanting seedling	Rice density	Mode of roasted field	Control <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn
1994	1	126.3	126.2	134.9	158.8	168.1	156.4	135.1	123.7	167.6	34.4
	2	141.9	136.4	130.8	141.9	131.9	140.0	142.5	147.2	138.3	63.2
	3	161.1	166.7	163.6	128.6	129.3	132.9	151.7	158.4	123.4	331.7
	极差(1)	34.8	40.5	32.6	30.2	38.8	23.5	16.6	34.7	44.2	297.3
	位次(2)	5	3	7	8	4	9	10	6	2	1
	方差(3)	2.02	2.95	2.31	1.52	3.13	0.97	0.46	2.09	3.37	178.92* *
1995	1	99.1	104.4	101.6	114.1	113.0	114.7	97.6	94.2	115.5	54.2
	2	106.9	105.0	100.8	103.6	107.9	102.0	108.4	105.7	108.6	62.6
	3	109.7	106.3	113.2	98.0	94.7	99.0	109.7	115.7	91.6	198.9
	极差	10.6	1.9	12.4	16.0	18.3	15.7	12.0	21.5	23.9	144.7
	位次	9	10	7	5	4	6	8	3	2	1
	方差	0.60	0.03	0.95	1.34	1.57	1.39	0.88	2.10	3.03	131.96* *

(1)Extreme difference; (2) Order; (3) Variance

2.2.2 稻瘟病(*Pyricularia oryzae* Cav.) 从表 3 看出,不同因素对稻瘟病影响的主次性排序如下:品种(84.2)>防治药剂(37.0)>烤田方式(30.6)>三期 N 分配比(21.5)>总 N(14.8)>种植密度(12.8)>P₂O₅(8.8)>K₂O(6.3)>ZnSO₄(5.9)>插秧期(1.4)。其中,前 3 者因素水平间差异极显著,三期 N 分配比差异显著,结果表明水稻品种,防治药剂和烤田方式对稻瘟病发生影响大,三期 N 分配比对其影响较大。

从作用性质分析,(1)品种,供试品种以中国 91 发病轻;(2)防治药剂,以三环唑防效高;(3)烤田方式,以重度烤田发病轻,标准烤田次之,不烤田发病重;(4)三期 N 分配比,以底肥:分蘖肥:穗肥 80:0:20 发病轻;(5)总 N,随其量增加发病趋重;(6)种植密度,密度高发病重;(7)P₂O₅、K₂O 和 ZnSO₄,随用量增加病害趋轻;(8)插秧期,不同插秧期间病害发生基本相同。

2.2.3 稻飞虱(*Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*) 从表 4 看出,不同因素对稻飞虱影响的主次性排序是:在济宁试验,1994 年,防治药剂(15775)>三期 N 分配比(2089)>烤田方式(2038)>K₂O(1831)>P₂O₅(1263)>ZnSO₄(1209)>种植密度(1197)>总 N(1016)>品种(950)>插秧期(697);1995 年,防治药剂(12482)>K₂O(932)>烤田方式(499)>插秧期(479)>三期 N 分配比(407)>总 N(378)>品种(355)>P₂O₅(210)>ZnSO₄(167)。在东营试验,防治药剂(14675)>K₂O(2130)>烤田方式(2045)>三期 N 分配比(1960)>密度(1755)>P₂O₅(1625)>ZnSO₄(1570)>插秧期(1085)>品种(575)>

总 N(555)。结果表明,防治药剂、K₂O 和烤田方式对稻飞虱发生影响较大,不同地点不同年份的结果较为一致。

表 3 可控因素对稻瘟病的综合效应

Table 3 Integrative effect of controllable factors on *Pyricularia oryzae* Cav.

因素水平 Treatment	品种 Cultivar	N	三期 N 分配比 N percentaes of three poeriods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	插秧期 Time of transplanting seedling	密度 Rice density	烤田方式 Mode of roa- sted field	防治稻瘟病 Control <i>Pyricularia oryzae</i> Cav.
1	60.2	106.4	122.6	119.9	116.7	117.0	114.9	106.9	125.0	106.2
2	144.4	114.7	101.0	111.3	115.2	114.0	113.9	115.9	122.9	99.4
3	137.7	121.2	118.7	111.1	110.4	111.2	113.5	119.7	94.4	136.4
极差(1)	84.2	14.8	21.5	8.8	6.3	5.9	1.4	12.8	30.6	37.0
位次(2)	1	5	4	7	8	9	10	6	3	2
方差(3)	80.99**	2.04	4.90*	0.93	0.40	0.32	0.02	1.59	10.80**	14.59**

(1) Extreme difference; (2) Order; (3) Variance

表 4 可控因素对稻飞虱的综合效应

Table 4 Integrative effect of controllable factors on rice planthopper

地点 Locale	年份 Year	因素水平 Treatment	品种 Cultivar	N	三期 N 比 N percentages of three periods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	插秧期 Time of transplanting seedling	密度 Rice density	烤田 方式 Mode of roasted field	防治稻飞虱 Control rice planthopper
济宁 Ji'ning	1994	1	5753	5366	5768	6600	6738	5508	5340	5390	6748	341
		2	5343	5641	4766	5452	5744	6545	6012	5412	4710	932
		3	6293	6382	6855	5337	4907	5336	6037	6587	5931	16116
		极差(1)	950	1016	2089	1263	1831	1209	697	1197	2038	15775
		位次(2)	9	8	2	5	4	6	10	7	3	1
		方差(3)	1.53	1.86	7.37*	3.29	5.67*	2.89	1.06	3.17	7.10*	539.71**
		1	5150	4997	5174	5342	5628	5106	4936	5040	5499	990
		2	5006	5145	4968	5141	5193	5267	5166	5227	5000	1055
		3	5361	5375	5375	5034	4696	5144	5415	5250	5018	13472
		极差	355	378	407	308	932	167	479	210	499	12482
东营 Dongying	1995	极差	7	6	5	8	2	10	4	9	3	1
		位次	3.02	3.44	3.93	2.32	20.61*	0.67	5.44*	1.26	7.59*	4897.18**
		方差	1	4915	4675	4520	5750	6305	4170	5610	4090	6235
		1	4725	5035	4230	5065	4460	5740	4805	5005	4190	145
		2	5300	5230	6190	4125	4175	5030	4525	5845	4515	14735
		3	575	555	1960	1625	2130	1570	1085	1755	2045	14675
		极差	9	10	4	6	2	7	8	5	3	1
		位次	0.62	0.57	8.02*	4.77*	9.59**	4.43	2.27	5.52*	8.66**	511.72**
		方差										

(1) Extreme difference; (2) Order; (3) Variance

从作用性质分析(表 4), (1)防治药剂, 捕虱灵对稻飞虱防效高于甲胺磷; (2)K₂O, 增施钾肥对稻飞虱发生具有明显的抑制作用; (3)烤田, 烤田对稻飞虱发生有明显的抑制作用, 以标准烤田发生轻; (4)三期 N 分配比, 以底肥: 分蘖肥: 穗肥为 80: 0: 20 的稻飞虱发生轻; (5)品种, 济宁试验, 稻飞虱发生以 87-9 发生轻, 其次为中国 91, 以 80-7 发生重; 东营试验, 以津稻 1187 发生轻, 其次为中国 91; (6)总 N, 随氮量增加发生加重; (7)P₂O₅, 随其量增加发生趋轻; (8)ZnSO₄, 少量施用(15kg/hm²)发生较重, 但施量大时(30~45kg/hm²)发生较轻; (9)插秧期, 在济宁麦茬稻随插秧期推迟发生趋重, 而在东营春季插秧的水稻则随插秧期的推迟发生趋轻; (10)种植密度, 随密度提高发生趋重。

2.2.4 稻纵卷叶螟数据 *Alphalocrocis medinalis* Guenée) 从表 5 看出, 不同因素对稻纵卷叶螟影响的主次性依次是: 烤田方式(480)> 种植密度(200)> 插秧期(125)> P₂O₅(120)> K₂O(55)> 总 N 和三期 N 分配

比(45)>品种(25)>ZnSO₄(20)。结果表明,烤田对稻纵卷叶螟发生影响最大,其次为水稻种植密度。

从作用性质分析,(1) 烤田方式,烤田较不烤田稻纵卷叶螟发生显著减轻,以重度烤田发生最轻;(2) 密度,水稻密度越大越利于其发生;(3) 插秧期,插秧期愈早发生愈重;(4) P₂O₅,随磷量增加发生趋重;(5) 品种、总 N、三期 N 比、K₂O 和 ZnSO₄,不同水平间稻纵卷叶螟发生无明显差异。

表 5 可控因素对稻纵卷叶螟的综合效应
Table 5 Integrative effect of controllable factors on *Cnaphalocrocis medinalis* Guén

因素水平 Treatment	品种 Cultivar	N	三期 N 分配比 N percentages of three periods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	插秧期 Time of transplanting seedling	密度 Rice density	烤田方式 Mode of roasted field
1	1430	1395	1435	1365	1450	1405	1480	1295	1690
2	1415	1415	1390	1400	1405	1420	1415	1460	1350
3	1405	1440	1425	1485	1395	1425	1355	1495	1210
极差(1)	25	45	45	120	55	20	125	200	480
位次(2)	7	6	6	4	5	8	3	2	1
方差(3)	0. 11	0. 36	0. 40	2. 73	0. 61	0. 08	2. 80	8. 17*	43. 65**

(1) Extreme differency; (2) Order; (3) Variance

2. 2. 5 稻苞虫(*Parnara quittata* Bremer et Grey) 从表 6 看出,不同因素对稻苞虫影响的主次性依次为:防治药剂(1045)>烤田方式(420)>ZnSO₄(340)>总 N(335)>插秧期(75)>水稻密度(50)>品种(40)>P₂O₅(35)>三期 N 比和 K₂O(30)。结果表明,前 4 项因素对稻苞虫有显著的影响,其它因素影响不显著。

从作用性质看,(1)防治药剂,杀虫双较甲胺磷对稻苞虫防效好;(2)烤田,烤田有减轻发生的趋势,特别是重度烤田;(3)ZnSO₄,施 ZnSO₄ 有加重其发生的趋势;(4)总 N,氮量增加发生减轻;(5)插秧期,插秧早,发生重;(6)其它因素,在不同水平间其发生差异不大。

表 6 可控因素对稻苞虫的综合效应
Table 6 Integrative effect of controllable factors on *Parnara quittata* Bremer et Grey

因素水平 Treatment	品种 Cultivar	N	三期 N 分配比 N percentages of three periods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	插秧期 Time of transplanting seedling	密度 Rice density	烤田方式 Mode of roasted field	防治稻苞虫 Control <i>Parnara</i> <i>quittata</i> Bremer et Grey
1	385	520	370	360	395	185	420	410	570	30
2	400	440	400	395	385	435	380	360	425	40
3	360	185	375	390	365	525	345	375	150	1075
极差(1)	40	335	30	35	30	340	75	50	420	1045
位次(2)	7	4	9	8	9	3	5	6	2	1
方差(3)	0. 38	28. 25**	0. 24	0. 33	0. 22	28. 65**	1. 30	0. 61	42. 01**	332. 83**

(1)Extreme difference; (2)Order; (3)Variance

2. 3 可控因素对稻田捕食性蜘蛛的综合效应

从表 7 看出,不同因素对稻田捕食性蜘蛛影响的主次性依次为:K₂O(900)>P₂O₅(160)>品种(135)>插秧期(120)>总 N 和水稻密度(110)>三期 N 分配比和 ZnSO₄(80)>烤田方式(50)。结果表明,K₂O 不同量间捕食性蜘蛛发生量有显著差异,对其影响大。

从作用性质看,(1)K₂O,随其量增加,蜘蛛发生量减少,这与稻飞虱发生量有关;(2)其它因素:对蜘蛛的作用无明显的规律性。

表 7 可控因素对稻田捕食性蜘蛛的综合效应
Table 7 Integrative effect of controllable factors on predatory spider

因素水平 Treatment	品种 Cultivar	N	三期 N 分配比 N percentages of three periods	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	插秧期 Time of transplanting seedling	密度 Rice density	烤田方式 Mode of roasted field
1	610	695	655	535	1140	605	665	680	635
2	695	585	575	695	485	590	545	570	590
3	560	585	635	635	240	670	655	615	640
极差(1)	135	110	80	160	900	80	120	110	50
位次(2)	3	5	6	2	1	6	4	5	7
方差(3)	1.43	1.24	0.53	2.01	66.50* * 0.56		1.36	0.94	0.23

(1) Extreme differency; (2) Order; (3) Variance

2.4 可控因素对水稻产量的综合效应

不同可控因素对水稻产量影响的主次性(极差)如下:在济宁试验,1994 年,防治稻飞虱药剂(617.3)>插秧期(452.4)>防治纹枯病药剂(436.8)>防治稻纵卷叶螟药剂(406.4)>P₂O₅(257.6)>密度(151.8)>品种(118.4)>烤田方式(111.9)>三期 N 分配比(109.9)>防治稻瘟病药剂(103.6)>K₂O(95.0)>ZnSO₄(91.6)>总 N(84.5);1995 年,防治稻飞虱药剂(276.7)>三期 N 分配比(125.7)>插秧期(115.2)>ZnSO₄(108.8)>K₂O(107.9)>品种(105.2)>密度(90.7)>总 N(85.2)>防治稻瘟病药剂(79.3)>烤田方式(73.8)>防治纹枯病药剂(48.4)>P₂O₅(39.9)>防治稻纵卷叶螟药剂(22.0)。在临沂试验,1994 年,插秧期(530.3)>防治稻纵卷叶螟药剂(257.3)>品种(214.4)>三期 N 分配比(206.0)>总 N(200.1)>烤田方式(182.8)>P₂O₅(128.5)>防治纹枯病药剂(74.1)>ZnSO₄(64.9)>防治稻飞虱药剂(49.9)>密度(47.2)>K₂O(23.0);1995 年,烤田方式(238.2)>品种(237.0)>ZnSO₄(213.4)>密度(140.7)>防治纹枯病药剂(139.3)>P₂O₅(121.9)>三期 N 分配比(117.9)>防治稻瘟病药剂(106.6)>插秧期(101.1)>防治稻纵卷叶螟药剂(75.8)>防治稻飞虱药剂(53.1)>K₂O(37.8)>总 N(15.9)。在东营试验,1994 年,防治稻飞虱药剂(776.6)>防治稻纵卷叶螟药剂(737.0)>烤田方式(222.6)>K₂O(173.0)>三期 N 分配比(136.8)>ZnSO₄(132.0)>插秧期(85.8)>P₂O₅(68.2)>密度(60.2)和品种(60.2)>总 N(45.6);1995 年,防治稻飞虱药剂(605.4)>防治稻纵卷叶螟(596.4)>烤田方式(424.3)>密度(294.1)>防治稻瘟病药剂(281.4)>总 N(105.4)>防治纹枯病药剂(89.9)>P₂O₅(87.4)>品种(85.3)>ZnSO₄(64.1)>插秧期(57.6)>三期 N 分配比(53.5)>K₂O(31.9)。结果表明,虽然不同地点不同年份试验结果有所变化,但以药剂防治稻飞虱、稻纵卷叶螟、纹枯病以及烤田方式、插秧期对水稻产量影响较大。

从作用性质分析,(1)品种,济宁和东营试验,以中国 91 产量为高,临沂试验,以辐 4-2 产量较高;(2)总 N,随氮量增加产量提高,但不同氮量之间产量变化不大,考虑经济高产以 N 150kg/hm² 为宜;(3)三期 N 分配比,以底肥:分蘖肥:穗肥 80:0:20 的产量为高;(4)P₂O₅,基本上随磷量的增加产量提高,但在 45~150kg/hm² 之间产量差异不大,以 75kg/hm² 为宜;(5)K₂O,随钾量的增加产量提高,以 240kg/hm² 为宜;(6)ZnSO₄,增施 ZnSO₄ 有一定的增产作用,以 15kg/hm² 产量为高;(7)插秧期,随着插秧期的推迟,产量下降;(8)密度,以 36 万墩/hm² 产量为高;(9)烤田方式,以标准烤田产量高;(10)防治纹枯病药剂,以井冈霉素防治的产量高;(11)防治稻瘟病药剂,以三环唑防治的产量高;(12)防治稻飞虱药剂,以捕虱灵防治的产量高;(13)防治稻纵卷叶螟药剂,以杀虫双防治的产量高。

2.5 病虫害分期混合施药技术研究

从表 8 看出,播种期,甲基异柳磷与多菌灵混合浸种,对苗期灰飞虱和恶苗病的防效分别为 96.9%、97.2%,而甲基异柳磷单浸种对灰飞虱防效为 93.4%,混合浸种与单浸种效果基本相似。分蘖初期(7 月 25 日),与井冈霉素混合喷雾,杀虫双对稻纵卷叶螟防效为 92.7%,与杀虫双单喷的防效 90.2%基本相同;与杀虫双混合喷雾,井冈霉素对纹枯病防效为 93.1%,比单喷防效 79.9%的高。分蘖后期(8 月 20 日),与三

环唑混合喷雾,捕虱灵对褐飞虱和白背飞虱的防效依次为 96.8%和 98.4%,较单喷的防效 92.9%、95.5%略高;与捕虱灵混合喷雾,三环唑对稻瘟病的防效为 98.8%,与三环唑单喷防效 97.6%基本相同。结果表明,分期混合施药不仅较杀虫剂与杀菌剂单施减少 2~3 次用药工时,而且对病虫害防治效果好。

表 8 水稻病虫害分期混合施药试验结果(%)

Table 8 Results of mixture of insecticides and fungicides to control diseases and insect pests of rice at the three periods

处理 Treatment	苗期 Seedling period		分蘖初期 Branching initial period		分蘖后期 Branching later period		
	灰飞虱 <i>Laodelphax</i>	恶苗病 <i>Fusarium</i>	稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocris</i>	纹枯病 <i>Rhizoctonia</i>	稻飞虱 <i>Nilaparvata</i>	白背飞虱 <i>Sogatella</i>	稻瘟病 <i>Pyricularia</i>
	<i>striatellus</i>	<i>fujikuroi</i>	<i>medinalis</i>	<i>solani</i>	<i>lugens</i>	<i>furcifera</i>	<i>oryzae</i>
混合施药 ^①	96.9	97.2	92.7	93.1	96.8	98.4	98.8
单施药 ^②	93.4	—	90.2	79.9	92.9	95.5	97.6

①Mixture of insecticides and fungicides;②Separately application

2.6 水稻病虫害的系统最优控制

根据既控病虫增产又保护生态的原则,从病虫、天敌和产量等方面综合评价可控因素,提出水稻病虫害系统最优控制策略如下:中国 91 或辐 4-2,N 150kg/hm²,底肥:分蘖肥:穗肥 N 分配比为 80:0:20,P₂O₅ 75kg/hm²,K₂O 240kg/hm²,ZnSO₄ 15kg/hm²,插秧期春季稻和夏季稻分别为 4 月 30 日和 6 月 15 日前后,种植密度为 36 万墩/hm²,水管理为适时标准烤田,播种期甲基异柳磷 0.08%与多菌灵 0.15%混合浸种防治地下害虫和恶苗病,分蘖初期(7 月 25 日前后)杀虫双 750g/hm²与井冈霉素 150g/hm²×2 混合喷雾防治稻纵卷叶螟和纹枯病,分蘖后期(8 月 20 日前后)捕虱灵 75g/hm²与三环唑 300g/hm²混合喷雾防治稻飞虱和稻瘟病。并进行了示范。

示范结果表明,最优控制较常规防治对病虫害综合控制效果好,增产显著。最优控制对灰飞虱、恶苗病、稻纵卷叶螟、纹枯病、褐飞虱、白背飞虱、稻瘟病的综合控制效果依次为 97.1%、97.8%、94.3%、90.8%、97.1%、96.9%和 97.9%,而常规防治的防治效果灰飞虱 86.3%、稻纵卷叶螟 90.2%、纹枯病 88.8%、褐飞虱 94.1%、白背飞虱 95.4%、稻瘟病 97.9%;水稻增产 28.6%,而常规防治增产 14.9%。同时,由于采用高效低毒农药防治病虫害,稻田捕食性蜘蛛显著增加。

3 讨论

本文采用正交优化方法,研究了稻田 13 种主要可控因素对水稻病虫害、天敌和产量的综合效应,依据病虫发生的阶段性进行了分期混合施药试验,根据既控制病虫增产又保护生态的原则,综合评价了可控因素,提出了水稻病虫害系统最优控制。这较过去以单种病虫害防治技术简单组建的综合防治技术具有整体优化的特点;分期混合施药调控病虫,具有一次施药兼治多种病虫,省工省时,效果好的优点;主要可控因素的最佳运用,降低了成本,减少了农药和化肥等污染,经济、生态效益显著。可控因素对水稻病虫害的作用机理有待于研究。

参考文献

[1] 解学书. 最优控制理论与应用. 北京:清华大学出版社,1986.