

夏大豆病虫害系统最优控制研究

王玉正¹, 马 伦², 王继藏², 任西周³, 朱万亮³

(1. 山东省植物保护总站, 济南 250100; 2. 菏泽市植物保护站, 菏泽 274000; 3. 广饶县农牧局, 广饶 257300)

摘要:1993~1996 年作者研究了豆田 16 种可控因素对夏大豆病虫害、天敌和产量的综合效应。根据既控病虫增产又保护生态的原则, 综合评价了可控因素, 提出了夏大豆病虫害系统最优控制策略: 同穴(4:1 式)或间作(9:2 式), 鲁豆 4, 6 月 10 日前后播种, 1800g/hm² 微肥拌种, N45kg/hm², P₂O₅60kg/hm², K₂O150kg/hm², 有机肥 22500kg/hm², 甲拌磷 0.36% 拌种, 多菌灵 0.1% 拌种, 抗蚜威 60g/hm² 喷雾防治大豆蚜, 甲基异柳磷颗粒剂 67.5g/hm² 撒施中耕防治蛴螬, Bt 乳剂 3000g/hm² 喷雾防治食叶害虫和蛀荚害虫。组配了大豆玉米同穴、间作和纯作 3 种植植方式的豆田病虫害系统最优控制技术。示范证明, 系统控制技术具有控制病虫害效果好, 增产显著, 天敌显著增加, 充分保护利用生态控害作用的特点。

关键词:夏大豆; 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 summer soybean

WANG Yu-Zheng¹, MA Lun², WANG Ji-Zang², REN Xi-Zhou³, ZHU Wan-Liang³

(1. General Station of Plant Protection of Shandong, Ji'nan 250100, China; 2. County Station of Plant Protection of Heze, 27400, China; 3. Bureau of Agriculture and Animal Husbandry of Guangrao County, Guangrao 357300, China)

Abstract: The integrative effect of 16 controllable factors of soybean fields on diseases and insect pests, natural enemies and soybean yield was studied from 1993 to 1996. According to the criterion of good control to the pests, increase of soybean yield and protection of natural enemies, the 16 controllable factors were evaluated synthetically and the optimum system control to the diseases and insect pests of summer soybean was suggested as follows: soybean sown in the same maize hole (4 to 1) or soybean interplanted in the maize field (9 to 2 rows), cultivar the variety Ludou 4, sowing time on about 10 June, dressing seed with trace element fertilizer at 1800g/hm², dosages of fertilizer N, P₂O₅, K₂O and solid manure application at 45kg/hm², 60kg/hm², 150kg/hm² and 22500kg/hm² respectively, mixture dressing seeds with phorate and carbendazim 0.36% and 0.1% of seed weight respectively, control soybean aphid with pirimicarb at 60g/hm², control soil insect with isofenphos-methyl at 67.5g/hm², control leaf-eating insects and soybean borer with Bt at 3000g/hm². The technologies of optimum system control to the diseases and insect pests were made up in the three different modes including soybean sown in the same maize hole, soybean interplanted in the maize field and monoculture soybean. It demonstrated that the three techniques were significantly characterized by a good control to the diseases and insect pests as well as an increase of the soybean yield and natural enemies.

Key words: summer soybean; diseases and insect pests; controllable factor; integrative effect; system optimum control

文章编号: 1000-0933(2000)03-0502-08 中图分类号: S4 文献标识码: A

大豆是山东省主要油料作物, 每年有多种病虫害发生, 严重威胁着大豆生产。近年来, 根据多年试验研究和生产实践, 山东省制定了大豆病虫害综合防治技术规范, 推广应用取得了良好效益。但从系统观点看,

目前综合防治技术仍存在一些不足之处:第一,把多种病虫害防治和增产有机地结合起来,作为一个目标进行研究还不够;第二,尚缺少系统地研究豆田生态系统中一系列可控因素对多种病虫害和产量的综合效应,仅研究过单因素或少数几个因素对单种病虫害的影响。因此,现行的综合防治技术规范仅是单种病虫害防治技术的简单组配,是否整体优化尚未得到证实。为使技术规范优化,特别是整体优化,作者以最优控制^[1]为基本技术原理,采用系统优化方法,1993~1996 年在山东嘉祥和菏泽对 16 种豆田可控因素进行综合研究,明确了这些可控因素对大豆病虫害、天敌和大豆产量等的综合效应及其最优组合。根据既控病虫害增产又保护生态的原则,综合评价可控因素,提出了夏大豆病虫害系统最优控制策略,组配了夏大豆与玉米同穴、间作和纯作豆田 3 种植方式的大豆病虫害最优控制技术,优化了大豆病虫害综合防治技术。

1 材料与方法

1.1 试验设计与方法

试验共分 3 个阶段。每一阶段(1993~1994 年)采用逐步逼近法,即先查出目前认为适合大豆高产的可控因素水平,组成基本值集,后上下变动各因素水平,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。依次对比试验,研究可控因素对病虫、天敌和产量的效应。第二阶段(1995 年),在前两年试验的基础上,采用 $L_{27}(3)^{13}$ 正交表设计方案,加大重复进行田间试验,进一步明确各因素对病虫、天敌和产量的效应。试验小区面积 100m^2 。第三阶段(1996 年),在前 3 年研究的基础上,综合评价了可控因素,提出了病虫害系统最优控制策略,组配了大豆与玉米同穴、间作和纯作豆田病虫害系统控制技术,进行了示范验证,示范小区面积 666.7m^2 。以上试验,氮、磷、钾为测土施肥,微肥拌种施用。主要试验因素与水平见表 1。

表 1 主要试验因素与水平

Table 1 Main factors and treatments of experiment

年份 Year	因素水平 Treatment	种植方式 Planting mode	品种 Cultivar	播期 (月·日) Sowing time (month, date)	微肥 Trace fertilizer (g/hm ²)	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)	有机肥 Solid manure (kg/hm ²)	生长调节剂 Growth hormone (g/hm ²)	盖膜 Covered plastic film
1993	1	间作①	鲁豆 2④	6.10	0	45	30	90	0	0	
	2	同穴②	鲁豆 4	6.15	450	75	60	120	2500	爱农⑦	
	3	纯作③		6.20	750	105					
	4				1050						
1994	1	间作	鲁豆 2	6.10	450	45	15	120	0		不盖膜⑧
	2	同穴	鲁豆 4	6.15	750	75	30	150	22500		盖膜
	3	纯作	科丰 6⑤	6.20	1050	105	60	180			
	4		巨丰 1⑥								
1995	1	间作	鲁豆 2	6.10	0	45	60	75			
	2	同穴	鲁豆 4	6.20	1050	75	120	150			
	3	纯作	科丰 6	6.30	1800	150	180	225			
1996	1	间作	鲁豆 4	6.10	1800	45	60	150			
	2	同穴	鲁豆 4	6.10	1800	45	60	150			
	3	纯作	鲁豆 4	6.10	1800	45	60	150			

①Interplanting;②Same hole;③Monoculture;④Ludou;⑤Kefeng 6;⑥Jufeng 1;⑦Ainong;⑧No covered film

1.2 效果调查与统计分析

大豆出苗至收获,每小区 5 点取样,每点 20 株,共 100 株,每 5d 调查 1 次病虫和天敌密度。收获期每小区 5 点取样,每点 4 株,测定大豆和玉米产量。为消除单次调查结果的误差,提高可比性,结果统计根据病虫害发生危害和天敌捕食均有密度和时间的二维性,以密度和时间的积之和作为发生指标^[2]。计算式是:

$$S = \sum DT$$

其中, D 为相邻 2 次调查的平均密度, T 为相邻 2 次调查的间隔时间。

2 结果与分析

2.1 可控因素对产量的综合效应

2.1.1 大豆花叶病毒病(Soybean mosaic virus) 按正交表设计原理,各因素水平间的极差表现了主次

性。从表 2 看出,可控因素对大豆花叶病毒病影响的主次性排序如下:微肥(42.5)>种植方式(30.0)>P₂O₅(22.5)>播期(17.5)>K₂O(15.0)>N(7.5)>品种(5.0)。结果表明,以微肥对其影响最大,因素水平间差异极显著。

从作用性质看(表 2), (1)微肥,增施微肥能显著减轻病毒病的发生。(2)种植方式,纯作豆田病毒病发生重,而大豆玉米间作或同穴豆田发生轻。(3)播期,6 月 10、15、20、30 日 4 个播期以 6 月 15~20 日播种的发生重,早播或晚播发生轻。(4)N、P₂O₅、和 K₂O,氮、磷、钾用量高,病毒病发生轻。另外,增施有机肥、叶面喷施爱农和盖膜都对病毒病有一定的抑制作用。

表 2 可控因素对大豆花叶病毒病的综合效应(∑DT)
Table 2 Integrative effect of controllable factors on soybean mosaic virus

年份 Year	因素水平 Treat- ment	种植方式 Planting mode	品种 Cultivar	播期 Sowing time	微肥 Trace fertilizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥 Solid manure	生长 调节剂 Growth hormone	盖膜 Covered plastic film
1993	1	14.0	28.5	20.5	107.0	107.0	107.0	107.0	107.0	107.0	
	2	32.5	107.0	107.0	99.5	39.0	97.8	40.0	57.0	7.5	
	3	107.0		30.8	83.1	9.0	5.0	29.0			
	4				27.4						
1994	1	36.4	47.4	47.4	47.4	121.4	58.8	69.6	47.4		47.4
	2	29.4	64.5	154.3	44.9	47.4	47.4	47.4	42.0		24.3
	3	47.4	61.3	78.3	31.8	37.6	33.0	39.9			
	4		65.4								
1995	1	5.0	17.5	10.0	42.5	22.5	30.0	25.0			
	2	12.5	20.0	27.5	10.0	15.0	15.0	17.5			
	3	35.0	15.0	15.0	8.0	15.0	7.5	10.0			
	极差 ^①	30.0	5.0	17.5	42.5	7.5	22.5	15.0			
	位次 ^②	2	7	4	1	6	3	5			
	方差 ^③	3.13	<1	<1	6.34**	<1	1.69	<1			

①Extreme difference, ②Order, ③Variance

2.1.2 大豆蚜(*Aphis glycines* Matsumura) 从表 3 看出,不同因素对大豆蚜影响的主次排序如下:嘉祥,种植方式(53990)>N(17640)>播种(13480)>微肥(12388)>K₂O(10460)>P₂O₅(8520)>品种(5020);菏泽,种植方式(270530)>药剂防治大豆蚜(185800)>P₂O₅(119350)>品种(110230)>播期(94710)>N(85410)>微肥(19250)。结果表明,种植方式对大豆蚜影响最大,因素间差异极显著^[3]。

从作用性质看(表 3), (1)种植方式,以大豆玉米同穴或间作豆田大豆蚜发生轻,较纯作豆田显著减轻。(2)品种,鲁豆 4 大豆蚜发生较轻。(3)播期,播期越早发生越重。(4)微肥,1800g/hm² 以下时,随施量增加发生趋重,而 1800g/hm² 时发生较轻。(5)N,增施氮肥利于发生。(6)P₂O₅,以 60kg/hm² 发生最轻。(7)K₂O,钾素有利于大豆蚜发生。(8)药剂防治大豆蚜,氧化乐果防效较抗蚜威略高。此外,增施有机肥和喷施生长调节剂爱农对大豆蚜发生有利,而盖膜则不利发生。

2.1.3 银纹夜蛾(*Argyrogramma agnata* Staudinger) 从表 4 看出,不同因素对银纹夜蛾影响的主次性排序为:种植方式(912)>微肥(792)>播期(742)>K₂O(361)>品种(293)>P₂O₅(185)>N(176),其中,前 4 项因素水平间差异极显著,表明种植方式、微肥、播期和钾素对银纹夜蛾影响大^[4]。

从作用性质看(表 4), (1)种植方式,纯作发生重,而间作和同穴发生轻。(2)微肥,增施微肥发生轻。(3)播期,晚播发生重。(4)K₂O,钾素多发生轻。(5)品种,鲁豆 4 发生轻。(6)P₂O₅,磷素多发生轻。(7)N,氮素多发生重。(8)有机肥和生长调节剂爱农,对其有一定的抑制作用。(9)盖膜,利于其发生。此外,防治药剂敌杀死、敌百虫和 Bt 乳剂,对银纹夜蛾幼虫防效依次平均为 53.1%、62.5%和 53.0%,以敌百虫为高。

2.1.4 豆天蛾(*Clanis bilineata* walker) 从表 5 看出,不同因素对豆天蛾影响的主次性排序为:种植方式(917)>微肥(893)>播期(786)>品种(477)>P₂O₅(374)>N(319)>K₂O(196),前 3 项因素水平间差异极显著,不同品种间差异显著。结果表明,种植方式、微肥、播期对豆天蛾影响大,品种对其影响较大^[5]。

万方数据

表 3 可控因素对大豆蚜的综合效应($\sum DT$)
Table 3 Integrative effect of controllable factors on *Aphis glycines* Matsumura

地点	年份	因素水平	种植方式	品种	播期	微肥	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥	生长调	盖膜	防治大
Locale	Year	Treatment	Plan- ting mode	Culti- var	Sowing time	Trace ferti- lizer				Solid manure	Growth hormone	Covered plastic film	Control <i>Aphis glycines</i> Matsumura
嘉祥 Jiaxiang	1993	1	11050	29740	19690	13570	6980	35060	13570	13570	13570		
		2	13570	25303	13570	26240	13570	13570	20360	24320	20780		
		3	35960		13880	48310	13860	40970	24270				
	1994	1	10790	27540	38450	20640	21200	29780	19140	24210		24210	
		2	13530	24210	27950	24210	24210	24210	15250	35290		20270	
		3	24210	21745	24210	33610	30670	17130	24210				
	1995	4		27890									
		1	62690	78700	85810	79060	68450	74140	72110				
		2	57780	74260	74110	82780	77700	75440	77380				
		3	111770	79280	72330	70400	86090	82660	82750				
		极差 ^①	53990	5020	13480	12388	17640	8520	10640				
		位次 ^②	1	7	3	4	2	6	5				
		方差 ^③	109.59**	0.93	6.60*	4.96	9.57*	2.59	3.48				
菏泽 Heze	1995	1	477180	396160	445610	402460	364540	338300	—				403110
		2	230960	351620	413210	413210	395140	413680	—				310360
		3	501490	461850	350900	393960	449950	457650	—				496160
		极差 ^①	270530	110230	94710	19250	85410	119350	—				185800
		位次 ^②	1	4	5	7	6	3	—				2
		方差 ^③	47.47**	6.51*	4.90	0.2	3.96	7.71*	—				18.27**

①Extreme difference, ②Order, ③Variance

表 4 可控因素对银纹夜蛾的综合效应($\sum DT$)
Table 4 Integrative effect of controllable factors on threespotted plusia

年份	因素水平	种植方式	品种	播期	微肥	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥	生长调	盖膜	防治银
Year	Trea- tment	Plan- ting mode	Cult- ivar	Sowing time	Trace ferti- lizer				Solid manure	Growth hormone	Covered plastic film	Control three- spot- ted plusia
1993	1	947.5	1826.5	1574.0	2192	1574.0	3404.0	2128.0	1574.0	1574.0		52.9
	2	1432.0	1574.0	1579.5	1972.5	1792.0	1727.5	1921.5	1291.5	1387.0		59.1
	3	1574.0		2003.5	1887.5	2199.5	1574.0	1574.0				41.9
	4				1574.0							—
1994	1	400.5	1152.0	685.5	918.5	650.5	911.0	864.5	685.5		685.5	46.1
	2	393.5	655.5	1161.0	685.5	685.5	685.5	685.5	639.5		774.5	68.0
	3	685.5	511.5	1304.5	556.5	801.0	608.5	530.0				70.7
	4		1305.5									—
1995	1	1032	1346	1046	1759	1295	1438	1619				
	2	1245	1261	1387	1495	1455	1484	1344				
	3	1944	1584	1788	967	1471	1299	1258				
	极差 ^①	912	293	742	792	176	185	361				
	位次 ^②	1	5	3	2	7	6	4				
	方差 ^③	25.24**	2.69	15.29**	18.05**	1.05	1.03	3.94**				

①Extreme difference, ②Order, ③Variance

从作用因素数据看, (1)种植方式, 纯作豆天蛾发生重, 而大豆玉米间作或同穴豆田发生轻。 (2)微肥, 增施微肥对豆天蛾具抑制作用。 (3)播期, 早播发生轻, 晚播发生重。 (4)品种, 鲁豆 4 发生较轻。 (5)N,

氮量增加,豆天蛾发生趋重。(6) P_2O_5 和 K_2O ,随磷素和钾素的增加豆天蛾发生趋轻。另外,生长调节剂爱农和盖膜有减轻发生的趋势,有机肥对其发生影响无明显规律。防治药剂敌百虫和Bt叶面喷雾,对豆天蛾防效分别为48.1%和74.1%,以Bt防效为高。

2.1.5 大豆蛀英害虫(*Leguminivora glycinivorella* Matsumura, *Etiella zinckenella* Treitschke) 从表6看出,不同因素对蛀英害虫影响的主次性排序为:播期(173.2)>微肥(71.0)> P_2O_5 (45.2)>N(43.1)>种植方式(40.4)>品种(34.3)> K_2O (33.0)。结果表明,以播期对其影响最大,微肥影响较大,因素水平间差异分别达极显著和显著水平。

从作用性质分析(表6),(1)播期,早播发生轻晚播发生重。(2)微肥,增施微肥有减轻蛀英害虫的趋势。(3) P_2O_5 ,磷素多发生轻。(4)N,氮素多发生重。(5)种植方式,纯作豆田发生重,大豆玉米间作或同穴发生轻。(6)品种,鲁豆4发生较轻,而鲁豆2发生较重。(7) K_2O ,钾素多发生重。此外,增施有机肥、爱农以及盖膜利于蛀英害虫发生。防治药剂敌杀死、Bt和敌百虫,对蛀英害虫的防效依次为50.8%、58.5%和53.0%,以Bt防效最高。

表5 可控因素对豆天蛾的综合效应($\sum DT$)
Table 5 Integrative effect of controllable factors on *Clanis bilineata* Walker

年份 Year	因素水平 Treatment	种植方式 Plan- ting mode	品种 Cultivar	播期 Sowing time	微肥 Trace ferti- lizer	N	P_2O_5	K_2O	有机肥 Solid maure	生长调 节剂 Growth horm- one	盖膜 Covered plastic film	防治豆 天蛾 Control <i>Clanis</i> <i>bilin- eata</i> Walker
1993	1	0.0	49.5	0.0	53.0	0.0	53.0	53.0	53.0	53.0		
	2	13.0	53.0	37.5	61.0	53.0	23.5	10.5	42.5	19.0		
	3	53.0		53.0	0.0	61.0	13.0	0.0				
	4				0.0							
1994	1	98.5	140.0	137.5	198.5	111.5	181.5	186.5	137.5		137.5	
	2	78.0	137.5	142.5	139.0	137.5	137.5	137.5	153.0		67.5	
	3	137.5	96.0	197.0	137.5	145.0	137.5	119.5				
	4		205.5									
1995	1	1237	1404	976	1750	1170	1518	1437				48.4
	2	938	1073	1307	1420	1350	1365	1349				74.1
	3	1852	1550	1744	857	1498	1144	1241				—
	极差 ^①	914	477	768	893	319	374	196				
	位次 ^②	1	4	3	2	6	5	7				
	方差 ^③	17.70**	4.32**	10.73**	14.74**	1.84	2.56	0.70				

①Extreme difference,②Order,③Variance

2.1.6 其它害虫 (1)棉铃虫(*Heliothis armigera* Hubner),不同因素对棉铃虫影响的主次排序如上:种植方式(362)>播种(323)>品种(312)> P_2O_5 (300)>微肥(255)>N(142)> K_2O (115)。结果表明,种植方式对棉铃虫影响最大。大豆玉米间作或同穴豆田发生轻,而纯作豆田发生重;早播发生轻,晚播发生重;鲁豆4发生较轻;磷钾肥减轻棉铃虫发生;增施微肥和氮素量高,加重棉铃虫的发生;防治药剂敌杀死、敌百虫和Bt对棉铃虫防效依次为53%、60.4%和58.8%,以Bt防效较为稳定。(2)美洲斑潜蝇(*Liriomyza stativae* Blanchard),不同因素对美洲斑潜蝇影响的主次排序为:种植方式(712.5)>N(572.5)>品种(567.5)>播期(515.7)> P_2O_5 (387.5)>微肥(382.5)。结果表明,种植方式对其影响最大。纯作豆田美洲斑潜蝇发生重于大豆玉米间作或同穴豆田;氮素多发生重;鲁豆4发生较轻,鲁豆2发生重;早播大豆发生重,晚播发生轻;磷素多发生轻;增施微肥有加重其发生的趋势。(3)蛱蝶(*Holotrichia parallela* Mtschulsky),不同因素对大豆蛱蝶影响的主次性排序为:种植方式(1.97)>N(1.49)>品种(1.27)>微肥(1.13)>播期(0.99)> P_2O_5 (0.30),以前3者对蛱蝶影响较明显,因素水平间差异极显著。大豆玉米间作或同穴豆田蛱蝶发生重于大豆玉米间作或同穴豆田;氮素多蛱蝶发生重;鲁豆4发生较轻,科丰6发生重;微肥拌种有利于蛱蝶发生;早播发生轻;磷素多发生轻;防治药剂辛硫磷和甲基异柳磷对蛱蝶防效分别为63.6%和

70.4%,以甲基异柳磷防效为高。

表 6 可控因素对大豆蛀英害虫的综合效应

Table 6 Integrative effect of controllable factors on soybean borer											
年份	因素水平	种植方式	品种	播期	微肥				有机肥	生长调	盖膜
Year	Treatment	Plan- ting mode	Cult- ivar	Sowing time	Trace ferti- lizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Solid manure	Growth hormone	Covered plastic film
1993	1	24.1	44.6	15.8	63.5	32.9	32.9	21.4	32.9	32.9	
	2	27.1	32.9	31.4	41.3	34.2	31.9	32.9	34.8	39.3	
	3	52.9		32.9	38.4	36.6	22.8	101.7			
	4				32.9						
1994	1	10.8	32.3	25.1	39.7	23.3	27.3	25.1	20.1		21.7
	2	14.1	25.1	43.5	32.1	25.1	25.1	34.5	25.1		25.1
	3	25.1	16.2	59.9	25.1	30.0	22.9	56.0			
	4		34.5								
1995	1	127.3	152.7	39.3	177.1	125.1	172.1	128.9			
	2	145.4	126.7	188.6	157.1	147.1	141.4	149.6			
	3	167.7	161.0	212.5	106.1	168.2	126.9	161.9			
	极差 ^①	40.4	34.3	173.2	71.0	43.1	45.2	33.0			
	位次 ^②	5	6	1	2	4	3	7			
	方差 ^③	1.20	0.94	25.85**	3.94**	1.36	1.56	0.82			

①Extreme difference,②Order,③Variance

2.2 可控因素对天敌的综合效应

豆田天敌种类较多,捕食性天敌有瓢虫、草蛉、食蚜蝇、农田蜘蛛等,寄生性天敌有蚜茧蜂、寄生豆天蛾卵的赤眼蜂、寄生银纹夜蛾幼虫的螟蛉悬茧姬蜂和螟蛉绒茧蜂等,但以瓢虫发生最多,瓢虫则以龟纹瓢虫和异色瓢虫为主。

2.2.1 可控因素对瓢虫的综合效应 从表 7 看出,可控因素对瓢虫影响的主次性是:种植方式(176)>N(142.6)>播期(129)>微肥(89.5)>K₂O(85.5)>品种(81.5)>P₂O₅(70.5)。结果表明,种植方式、氮素、播期、微肥和钾素对瓢虫影响较大,因素水平间差异显著,以种植方式影响最大。

从作用性质分析(表 7), (1)种植方式,大豆玉米间作或同穴豆田瓢虫发生显著多于纯作豆田。(2)N,氮素多瓢虫发生少。(3)播期,早播发生多,晚播发生少。(4)微肥,增施微肥发生少。(5)P₂O₅和 K₂O,磷、钾素利于瓢虫发生。(6)品种,鲁豆 4 发生较多。(7)增施有机肥和爱农以及盖膜,有减少瓢虫发生的趋势。(8)不同防治时期不同药剂,播种期药剂拌种、药剂防治蛴螬和药剂防治蛀英害虫对瓢虫均无杀伤作用,防治大豆蚜的药剂抗蚜威和氧化乐果对瓢虫的杀伤率分别为 12.5%和 20.8%,防治食叶害虫的药剂敌杀死和 Bt 对瓢虫的杀伤率分别为 13.5%和-0.2%,Bt 对瓢虫无伤害作用。

2.2.2 种植方式对天敌的综合效应^[6] 捕食性天敌:大豆玉米间作和同穴豆田的多种天敌数量高于纯作豆田,其中,瓢虫较纯作豆田分别增加 84.0%、86.5%;草蛉增加 58.9%、80.6%;蜘蛛增加 41.3%、52.3%;食蚜蝇明显多于纯作豆田。瓢虫以龟纹瓢虫(*Propylaea japonica* Thunberg)和异色瓢虫(*Harmois axyridis* Pallas)为主,各占 62.4%和 10.3%;草蛉以中华草蛉(*Chrysopa sinica* Tjeder)为优势种,占 57.9%;食蚜蝇以黑带食蚜蝇(*Epistrophe balteta* De Geer)和大灰食蚜蝇(*Syrphus corollae* Fabricius)发生为多,各占 56.3%、31.6%;蜘蛛以草间小黑蛛(*Erigonidium graminolum* Sandevall)和三突花蛛(*Misumenops tricuspidatus* (Fabricius))为多,各占 33.8%和 26.2%。寄生性天敌:大豆玉米间作和同穴豆田天敌寄生率高于纯作豆田,其中,大豆蚜以蚜茧蜂(*Trioxys auctus* Haliday)为主,寄生率分别增加 23.9%、29.9%,豆天蛾卵寄生以赤眼蜂(*Trichoramma dendrolimi* Matsumara)为主,寄生率增加 13.0%和 20.5%;银纹夜蛾幼虫寄生以螟蛉悬茧姬蜂(*Casinaria nigripes* Gravenhorst)和螟蛉绒茧蜂(*Apanteles ruficrus* Haliday)为主,各占 45.0%和 23.0%,其寄生率增加 18.7%和 25.3%。

表 7 可控因素对瓢虫的综合效应($\sum DT$)
Table 7 Integrative effect of controllable factors on Ladybird

年份 Year	因素水平 Treatment	种植方式	品种 Cult- ivar	播期 Sowing time	微肥				有机肥 Solid manure	生长调 节剂 Growth hormone	盖膜 Covered plastic film
		Plan- ting mode			Trace ferti- lizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
1993	1	154.5	52.0	94.0	94.0	94.0	53.0	28.5	94.0	94.0	
	2	138.5	94.0	49.5	80.5	75.5	86.5	94.0	41.0	78.0	
	3	94.0		36.0	41.0	70.5	94.0	104.0			
	4				0.0						
1994	1	264.0	95.5	138.5	138.5	153.5	81.5	138.5	147.0		138.5
	2	291.5	138.5	138.0	111.5	138.5	103.0	139.5	138.5		68.5
	3	138.5	116.0	130.0	76.0	131.5	138.5	157.5			
	4		123.5								
1995	1	284.0	208.5	292.2	239.0	258.0	177.0	155.0			
	2	234.0	249.5	171.0	237.5	252.5	201.5	229.5			
	3	108.0	168.0	163.0	149.5	115.5	247.5	241.5			
	极差 ^①	176.0	81.5	129.0	89.5	142.5	70.5	86.5			
	位次 ^②	1	6	3	4	2	7	5			
	方差 ^③	21.85**	4.41	13.88**	6.98*	17.30**	3.40	5.03			

①Extreme difference, ②Order, ③Variance

2.3 可控因素对大豆产量的综合效应

可控因素对大豆产量影响的主次性排序为(表 8):种植方式(1960.5)>播期(537)>微肥(162)>品种(159)>N(48)>P₂O₅(37.5)>K₂O(27)。结果表明,种植方式、播期、微肥和品种对大豆产量影响大,因素水平差异极显著。

从作用性质分析(表 8), (1)种植方式:大豆产量以纯作最高,其次是大豆玉米间作,以大豆玉米同穴大豆最低,这与大豆种植密度有关,但从经济效益分析,间作和同穴豆田的大豆和玉米合计效益较纯作豆田提高 33.3%和 33.2%;进一步试验,间作以 9:2 式(9 行大豆 2 行玉米),同穴以 4:1 式(4 株大豆 1 株玉米),经济效益高。(2)播期:早播产量高,晚播低。(3)微肥:拌种增产明显。(4)品种:3 年试验结果以鲁豆 4 产量较高且稳定。(5)N:增产不明显。(6)P₂O₅ 和 K₂O:分别以 60kg/hm² 和 150kg/hm² 产量较高。(7)有机肥:增产明显。(8)喷施爱农和盖膜:增产不明显。(9)防治药剂:杀虫剂甲基异柳磷、辛硫磷、甲基硫环磷、甲拌磷拌种以及播前撒施甲基异柳磷平均增产依次为 11.2%、11.5%、13.6%、21.7%和 17.8%,以甲拌磷拌种增产为高;杀菌剂多菌灵、粉锈宁、福美双、农抗 120 以及增产菌拌种平均增产依次为 17.6%、-14.6%、7.9%、9.7%和 11.9%,以多菌灵增产最高;防治大豆蚜的药剂抗蚜威和氧化乐果分别平均增产 28.6%和 13.0%;防治蛱蝶的药剂辛硫磷、甲基异柳磷和甲基磷环磷平均增产依次为 20. %、23.2%、14.5%,以甲基异柳磷最高;防治食叶害虫的药剂敌杀死、敌百虫和 Bt 平均增产依次为 6.9%、16.2%和 13.7%,以敌百虫最高,其次为 Bt;防治蛙英害虫药剂敌杀死、Bt 和敌百虫平均增产依次为 10.8%、21.6%和 30.5%,以敌百虫最高,其次为 Bt。

2.4 大豆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、天敌和产量效应等方面综合评价可控因素,提出大豆病虫害系统最优控制策略如下:大豆玉米同穴(4:1 式)或间作(9:2 式),鲁豆 4,6 月 10 日前后播种,1800g/hm² 微肥拌种, N45kg/hm², P₂O₅60kg/hm², K₂O₅150kg/hm², 有机肥 22500kg/hm², 60%甲拌磷 0.6%与 50%多菌灵 0.2%混合拌种,50%抗蚜威 120g/hm² 喷雾防治大豆蚜,3%甲基异柳磷颗粒剂 22.5kg/hm² 撒施中耕防治蛱蝶,Bt 乳油 3000g/hm² 喷雾防治食叶性害虫和蛙英害虫。组配了大豆玉米同穴、间作和纯作 3 种植植方式的大豆病虫害系统控制技术(表 1),并进行了示范。

示范结果是,大豆玉米同穴、间作和纯作豆田大豆病虫害系统控制技术,对大豆蚜控制效果依次为 87.9%、83.3%和 71.2%,对纹银夜蛾控制效果依次为 89.2%、81.2%和 59.6%,对豆天蛾的控制效果依次为 86.1%、83.7%和 69.4%,对美洲斑潜蝇控制效果依次为 100%、100%和 100%;天敌瓢虫分别增加 256.7%、204.2%和 -14.4%,草蛉依次增加 492.1%、131.6%和 -34.2%,捕食性蜘蛛增加 133.3%、125.4%和 10.4%。

70.1%和-23.2%;依次增产 28.1%、16.0%和 15.3%,3 种系统控制技术控制病虫增产显著,其中,大豆玉米同穴和间作豆田天敌显著增加,具有明显的生态控害作用。

表 8 可控因素对大豆的综合效应(kg/hm²)

Table 8 Integrative effect of controllable factors on soybean yield											
年份	因素水平	种植方式	品种	播期	微肥				有机肥	生长调	盖膜
Year	Treatment	Plan- ting mode	Cult- ivar	Sowing time	Trace ferti- lizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Solid manure	Growth hormone	Covered plastic film
1993	1	921.0	1582.5	2464.5	1812.0	2032.5	2032.5	1897.5	2032.5	2032.5	
	2	742.5	2031.0	2029.5	2032.5	1764.0	2559.0	2032.5	2590.5	2086.5	
	3	2032.5		1587.5	2173.5	1747.5	2086.5	2055.0			
	4				2409.0						
1994	1	1237.5	2076.0	2206.5	2206.5	2437.5	2373.0	1807.5	2206.5		2206.5
	2	696.0	2206.5	1846.5	2242.5	2289.0	2206.5	2206.5	2584.5		2067.5
	3	2206.5	2445.0	1510.5	2262.0	2206.5	2484.0	1612.5			
	4		2557.5								
1995	1	1087.5	1284.0	1645.5	1312.5	1414.5	1407.0	1369.5			
	2	556.5	1443.0	1407.0	1357.5	1381.5	1384.5	1395.5			
	3	2517.0	1435.5	1108.5	1483.5	1366.5	1369.5	1396.5			
	极差 ^①	1960.5	159.0	537.0	162.0	48.0	37.5	27.0			
	位次 ^②	1	4	2	3	5	6	7			
	方差 ^③	729.22**	5.75**	51.36**	5.11**	0.42	0.26	0.16			
	Variance										

①Extreme difference,②Order,③Variance

3 讨论

从系统论观点看,豆田是以大豆为生产者,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,其主要功能是输出大豆。系统研究的根本问题就是优化问题,就豆田生态系统来说,也就是大豆高产优质、病虫害发生轻,天敌发生量大。影响豆田生态系统变化的因素可归为两类:一类不可控因素,如温湿度、降雨等;另一类为可控因素,主要包括种植方式、大豆品种、播期、施肥、施药等,可称人类控制因素,是进行系统控制的因素。本文研究了豆田主要可控因素对大豆病虫害、天敌和大豆产量的综合效应,根据既控制病虫增产又保护生态的原则,综合评价可控因素,从而提出大豆病虫害系统最优控制技术。这不仅是对病虫害综合防治技术的优化,而且也是对豆田生态系统的优化,符合可持续发展的需要。研究结果表明,大豆玉米同穴、间作和纯作 3 种植方式的大豆病虫害系统控制技术,不仅对大豆病虫害控制效果好,增产显著,而且明显提高生态控害作用,特别是与玉米同穴和间作豆田,天敌显著增加,实现了经济、生态、社会效益的统一。

系统的优化方法很多,如线性规化、非线性规化、动态规化、系统控制等,这些方法必须建立代表系统特征的数学模型,而象豆田生态这类系统难以确定数学模型。本研究以系统控制为技术原理,采用正交优化法研究了豆田生态系统的优化,此法较适合于作物生态系统的优化研究,该方法具有广泛的借鉴价值。

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.
[2] 李 德,钱颂迪. 运筹学 VI 排队论. 北京:清华大学出版社,1982.
[3] 王玉正,巴 峰. 大豆蚜的系统最优控制研究. 植物保护学报,1998,25(2):151~155.
[4] 王玉正. 大豆田银纹夜蛾系统控制研究. 生态学报,1999,19(3):388~392.
[5] 王玉正. 豆天蛾系统控制研究. 山东农业大学学报,1998,29(增刊):58~63.
[6] 王玉正,岳跃海. 大豆玉米间作和同穴混播对大豆病虫发生的综合效应研究. 植物保护,1998,24(1):13~15.