20%烯·戊·恶种衣剂研制及对大豆镰孢根腐病的防效

王奥霖， 谭兆岩， 王对平， 陈华保，
雍太文， 龚国淑， 杨文钰， 常小丽*

（四川农业大学农学院，四川省作物带状复合种植工程技术研究中心，成都 611130）

摘要 为研制一种防治大豆镰孢根腐病的高效、低毒种衣剂，采用菌丝生长速率法测定了96%烯效唑(uniconazole)原药、97%戊唑醇(tebuconazole)原药、98%恶霉灵(hymexazol)原药对引起大豆根腐病的禾谷镰孢、尖镰孢和腐皮镰孢的毒力，筛选最佳复配配比。利用湿研磨法制备种衣剂，并进行室内盆栽苗验证。结果表明：烯效唑、戊唑醇和恶霉灵的配比为3∶1∶16时，对供试3种镰孢菌均表现为增效作用。室内盆栽苗验证试验结果表明，播种前，采用20%烯·戊·恶悬浮种衣剂1.0～2.0 g/kg处理大豆种子对大豆发芽和出苗没有显著影响，并可降低株高，且各浓度处理对大豆尖镰孢和腐皮镰孢根腐病的相对防效均达83.3%以上，对尖镰孢根腐的防效高于5%戊唑醇悬浮种衣剂，对腐皮镰孢和禾谷镰孢根腐病与5%戊唑醇悬浮种衣剂防效相当。本研究开发的20%烯·戊·恶悬浮种衣剂为进一步开展大豆根腐病田间化学防治及推广应用奠定了基础。

关键词 大豆根腐病； 镰孢菌； 复配； 种衣剂； 毒力测定

中图分类号： S 482.2 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2018227

Formulation of uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC and control efficacy on *Fusarium* root rot of soybean

WANG Aolin， TAN Zhaoyan， WANG Duiping， CHEN Huabao，
YONG Taiwen， GONG Guoshu， YANG Wenyu， CHANG Xiaoli

(*College of Agriculture*, *Sichuan Agricultural University*, *Sichuan Engineering Research Center for Crop Strip Intercropping System*, *Chengdu* 611130, *China*)

Abstract In order to screen one seed coating agent with high efficacy and low toxicity for controlling *Fusarium* root rot of soybean, the virulence of uniconazole 96% TC, tebuconazole 97% TC, hymexazol 98% TC, and the mixture compounds on *F. graminearum*, *F. oxysporum* and *F. solani* causing soybean root rot were tested using the method of hyphal growth rate. The optimal proportion of the mixture of uniconazole, tebuconazole, hymexazol was screened out. Furthermore, the seed coating agent was prepared, and the control efficacy was determined by soybean seedling inoculation in laboratory. The results showed the synergistic effect of the mixture of uniconazole, tebuconazole, and hymexazol at the proportion of 3∶1∶16 was the best for all three *Fusarium* species. After treatment with 1.0—2.0 g/kg of uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC, germination rate and emergency of soybean were not affected, while plant height decreased, and the control efficacy on root rot infected by *F. oxysporum* and *F. solani* reached 83.3%, which was better than that of the commercial tebuconazole 5% FSC. There was no significant difference between the two seed coating agents on root rot infected by *F. graminearum*. This study provides a valuable information for field application of uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC and for effective control of *Fusarium* root rot of soybean.

Key words soybean root rot； *Fusarium*； mixture compound； seed coating agent； toxicity test

收稿日期： 2018－05－30 **修订日期：** 2018－06－12
基金项目： 四川省科技厅项目(2015NZ0040)；国家重点研发计划(2018YFD0201006)
* 通信作者 E-mail：xl_changkit@126.com

大豆根腐病是大豆生产中的重要土传真菌病害,该病在我国各大豆产区普遍发生,具有发病严重、防治困难等特点[1]。据报道,镰孢菌是大豆根腐病的主要致病菌,尤以尖镰孢 *Fusarium oxysporum* 和腐皮镰孢 *F. solani* 为主,此外,其他多种镰孢菌如禾谷镰孢 *F. graminearum*、木贼镰孢 *F. equiseti*、层生镰孢 *F. proliferatum* 等也可引起大豆根腐病[2-3]。镰孢菌寄主范围广,可危害小麦、玉米、大豆、烟草等多种作物,且在田间病残体、土壤表面或内部均可长期存活,导致镰孢菌引起的大豆根腐病一旦发生,很难防治[4-5]。近年来,随着国家产业结构调整,玉米-大豆带状复合种植模式在西南、西北地区种植面积逐年增加,经济、社会和生态效益显著。然而,受玉米荫蔽作用,寡照多雨的气候条件,以及秸秆还田、免耕或浅耕等保护性栽培措施的影响,套作大豆苗期根腐病发生严重。课题组前期调查发现,套作大豆根腐病普遍发生率达 10%～75%,严重影响大豆产量[6]。

种子包衣是防治大豆根腐病的一种有效措施,其中化学复配种衣剂具有成本低、效率高、药效长、使用方便等特点,且能够有效延缓或避免病原菌抗药性的产生,广泛应用于作物种子处理[7-8]。Weems 等[9]分别采用咯菌腈、精甲霜灵、嘧菌酯、甲霜灵、甲基硫菌灵等化学药剂的复配组合处理种子,结果表明各复配组合均可在一定程度上控制大豆猝死综合征(sudden death syndrome,SDS)。张荣芳等[10]采用 35%多·福·克大豆超微粉种衣剂拌种,结果显示,该复配剂对大豆根腐病的防效达 76.9%以上。刘秀林等[11]利用市场上常用的 62.5 g/L 精甲·咯菌腈悬浮种衣剂(亮盾)和 70%噻虫嗪种子处理可分散粉剂(锐胜)处理大豆种子,结果表明其出苗率、单株鲜重、株高和产量均有显著提高。目前生产上可用于大豆根腐病的种衣剂种类仍较少,有必要研制更多类型的种衣剂,为大豆地下病虫害防治提供保障。

烯效唑(uniconazole)是一种三唑类植物生长调节剂,具有高效、低毒、低残留、降解快等特点,对促进植物矮健、抗倒伏、防衰老等具有明显效果,兼具杀菌、除草作用。研究表明,烯效唑干拌种能改善套作大豆苗期生长状况,提高大豆耐阴抗逆能力[12]。戊唑醇(tebuconazole)属三唑类杀菌剂,具有高效、低毒、低残留、持效性强、内吸性强等特点,可用于作物的种子处理或叶面喷洒,已用于大麦、小麦黑穗病、纹枯病及种传轮斑病的防治[13-15]。恶霉灵是一种优良的土壤消毒剂,可高效抑制土壤中腐霉菌、镰孢菌的孢子萌发,且对有益细菌、放线菌的影响较小。目前尚无烯效唑、戊唑醇和恶霉灵复配组合对大豆根腐病镰孢菌的毒力测试以及种衣剂研究。本研究测定烯效唑、戊唑醇和恶霉灵单剂及其复配组合对大豆根腐病镰孢菌的毒力,筛选对大豆镰孢根腐病具有较好防效的复配配方并制备种衣剂,为有效防治大豆根腐病提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试菌株及植物

供试菌种为大豆根腐病镰孢菌,包括尖镰孢 *F. oxysporum*、禾谷镰孢 *F. graminearum* 和腐皮镰孢 *F. solani*,均由本实验室分离自大豆根腐病病样,经形态学和分子鉴定,4℃保存于马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)固体斜面培养基中,备用。室内盆栽药剂试验用大豆品种为'南豆 12',由本实验室留种备用。

1.1.2　供试药品及试剂

毒力测试及复配药剂:96%烯效唑(uniconazole)原药,上海源叶生物科技有限公司;97%戊唑醇(tebuconazole)原药,郑州瑞凯农化工产品有限公司;98%恶霉灵(hymexazol)原药,湖北猫尔沃生物医药有限公司。

种衣剂制备试剂:润湿剂为十二烷基硫酸钠,美星化工产品有限公司;润湿分散剂为农乳 602#(苯乙基酚聚氧乙烯醚),邢台市蓝天精细化工有限公司;成膜剂为聚乙烯醇(PVA),上海源叶生物科技有限公司;增稠剂为黄原胶酸,郑州亨多宝化工有限公司;消泡剂为正辛醇,科龙化工有限公司;色素为罗丹明 B,上海源叶生物科技有限公司。pH 调节剂磷酸二氢钾、盐酸、氢氧化钾等购自成都温江瑞进特生化有限公司。

室内盆栽苗试验:5%戊唑醇悬浮种衣剂,江苏张家港七洲化工有限公司。盆栽植物营养土(成分为泥炭营养土、蛭石和珍珠岩,pH 6.5),购自成都温江瑞金特生化有限公司。

1.2　试验方法

1.2.1　室内药剂毒力测定

采用菌丝生长速率法[16]。将 3 种原药分别配制

成5个不同浓度，经过滤灭菌后，加入已灭菌的马铃薯琼脂培养基(PDA)中，并添加3%(m/V)链霉素，充分混匀后，制备成PDA平板(d=9 cm)。取PDA平板上生长5 d的各镰孢菌菌株，采用打孔器从菌落边缘制备菌饼(d=5 mm)，将菌饼接入添加不同药剂的PDA平板上，每板1个菌饼，(25±3)℃黑暗培养5 d。每种药剂每浓度均设置3个PDA平板，以未加入任何药剂的接菌平板作为对照，试验重复3次。待菌生长5 d后，采用"十字交叉法"测量菌落生长直径，计算不同药剂对各镰孢菌的菌丝生长抑制率(%)。

$$菌丝生长抑制率=\frac{(对照菌落直径均值-处理菌落直径均值)}{(对照菌落直径均值)}\times 100\%。$$

根据抑制率测算药剂毒力，以药剂浓度(mg/kg)的对数值为自变量，菌丝生长抑制率的几率值为因变量，采用DPS数据处理系统，建立毒力回归方程$y=a+bx$，获得相关系数r，并计算各药剂对禾谷镰孢、腐皮镰孢和尖镰孢的半最大效应浓度(EC_{50})。

1.2.2 复配药剂联合效果评价

1.2.2.1 烯效唑与戊唑醇复配

将烯效唑和戊唑醇原药按有效成分配制成1∶1、1∶3、1∶5、3∶1、3∶5，共5个配比，分别进行毒力测定。参照陈军等[17]的方法，以各单剂的EC_{50}、不同配比处理的EC_{50}和配比系数为基础，通过计算各药剂的毒力指数(TI)、混剂的实际毒力指数(ATI)、混剂的理论毒力指数(TTI)和共毒系数(CTC)评价混剂联合作用类型。选取其中的A药剂为标准药剂，各药剂毒力指数按以下公式计算：

$$毒力指数(TI)=\frac{标准药剂\ EC_{50}}{供试药剂\ EC_{50}}\times 100；$$

$$混剂的实际毒力指数(ATI)=\frac{标准药剂单用的\ EC_{50}}{混剂的\ EC_{50}}\times 100；$$

$$混剂的理论毒力指数(TTI)=ATI(A)\times A\%+ATI(B)\times B\%。$$

其中，$A\%$、$B\%$分别为混剂中两种原药的百分含量，$ATI(A)$、$ATI(B)$分别为两种原药的毒力指数。

$$混剂共毒系数(CTC)=\frac{混剂实测毒力指数(ATI)}{混剂理论毒力指数(TTI)}\times 100。$$

其中，CTC<70为拮抗作用，70≤CTC<120为相加作用，120≤CTC为增效作用。

1.2.2.2 烯效唑、戊唑醇与恶霉灵复配

以1.2.2.1获得的对3种镰孢菌均表现增效的烯效唑和戊唑醇的配比为基础，与恶霉灵进一步复配，按有效成分质量比制成3∶1∶4、3∶1∶8、3∶1∶16、3∶1∶20、3∶1∶40共5个配比进行毒力测定，计算共毒系数，并评价混剂联合作用类型，筛选获得复配混剂的最佳配比。

1.3 烯效唑、戊唑醇与恶霉灵种衣剂制备

20%烯·戊·恶悬浮种衣剂包括活性成分和助剂，其中活性成分的配比为3∶1∶16。助剂包括润湿剂十二烷基硫酸钠0.1%～2%(质量分数，下同)、乳化分散剂农乳602#4%、成膜剂聚乙烯醇4%、增稠剂黄原胶酸0.2%，防冻剂乙二醇2%、消泡剂正辛醇2%，色素罗丹明B 0.5%，其余由水补足至100%。先按比例称取各组分成分，在成膜剂聚乙烯醇中加入1/2种衣剂体积的蒸馏水，在80℃水浴锅中持续加热，并不断搅拌，使其完全溶解，熬制成均一、透明、无不溶物的胶状物，备用。随后将其他组成成分按质量分数进行混合，余量用水补足，加入已制备好的成膜剂溶液一起放入胶体磨中进行初步研磨20 min，再使用多功能研磨搅拌机研磨30 min，然后采用高速乳化剪切机以7 000～10 000 r/min高速搅拌、剪切、调匀、分散10 min，制备成稳定的混合剂，制得20%烯·戊·恶悬浮种衣剂。

1.4 室内药效测定

1.4.1 种衣剂安全性检测

设置20%烯·戊·恶悬浮种衣剂药种比为0.2、0.6、1.0、2.0、4.0、8.0 g/kg，以5%戊唑醇悬浮种衣剂推荐用量4 g/kg为阳性对照，以清水处理为阴性对照，共8个处理。将大豆种子按照各处理用量拌种后，播种于装有植物营养土(泥炭营养土、蛭石和珍珠岩，pH 6.5)的直径15 cm花盆中，每盆10粒，每处理6盆，重复3次。播种后的花盆置于人工气候箱中25℃，85% RH，L∶D=16 h∶8 h，分别于第5天统计发芽率和芽长，于第20天时统计出苗率、株高、地上部鲜重和根鲜重。

1.4.2 种衣剂室内防效检测

参照张丽等[2]的高粱粒接种法对大豆进行接种，检测种衣剂对大豆根腐病的室内防效。将高粱粒煮熟后装入250 mL锥形瓶内，121℃，灭菌30 min，重复1次，待其冷却后，分别接入10个PDA培养7 d的病原菌菌饼，25℃黑暗条件下培养20 d，待高粱粒表

面长满菌丝体用于接种。在直径 15 cm 的花盆中装入 1/3 体积的灭菌培养基质,均匀撒入 2 cm 厚的带菌高粱粒,盖上一层培养基质,然后采用 1.4.1 中筛选获得的对大豆种子和生长安全的 4 个种衣剂用量处理大豆种子,以 5%戊唑醇悬浮种衣剂药种比 4 g/kg为阳性对照,以清水为空白对照(CK)。取处理后的种子 7 粒播种于培养基质中,将花盆放置于人工气候室,25℃,85% RH,L//D=16 h//8 h。每个处理 3 次重复,每个重复 3 个花盆。于播种后 20 d 调查出苗率及发病情况。大豆根腐病的分级标准参照马淑梅[18]的方法,依据病害分级标准计算病情指数与种衣剂对根腐病的防效。

$$病情指数=\frac{\sum(各级病株数\times相对病级数值)}{调查株数\times5}\times100;$$

$$根腐病防效=\frac{对照病情指数-处理病情指数}{对照病情指数}\times100\%。$$

1.5　数据分析

采用 SPSS 17.0 软件中 ANOVA 方法对田间试验各项数据均值进行单因素方差分析,分析比较其差异显著性。

2　结果与分析

2.1　3 种单剂对镰孢菌的室内毒力测定结果

由表 1 可知,戊唑醇、烯效唑、恶霉灵对 3 种大豆根腐病致病镰孢菌均具有抑制作用,其中,戊唑醇对禾谷镰孢、腐皮镰孢和尖镰孢的 EC_{50} 分别为 0.78、0.82 和 0.32 μg/mL,综合表现最好。烯效唑对禾谷镰孢的抑菌效果最好,EC_{50} 为 0.49 μg/mL。恶霉灵对尖镰孢和禾谷镰孢的抑菌效果较好,但对腐皮镰孢的 EC_{50} 为 322.12 μg/mL。

表 1　不同单剂对镰孢菌的毒力测定结果

Table 1　Toxicity of three different fungicide on *Fusarium* spp.

药剂 Fungicide	镰孢菌 *Fusarium* spp.	回归方程 Regression equation	EC_{50}/ μg·mL^{-1}	相关系数(r) Correlation coefficient
戊唑醇 tebuconazole	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=5.120\,9+1.099\,4x$	0.78	0.963 2
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=5.089\,5+1.064\,7x$	0.82	0.978 8
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.396\,3+0.809\,9x$	0.32	0.946 8
恶霉灵 tebuconazole	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=2.285\,7+1.532\,5x$	59.03	0.964 5
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=3.081\,9+0.764\,8x$	322.12	0.992 0
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=3.995\,0+0.792\,6x$	18.53	0.925 0
烯效唑 uniconazole	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=5.288\,8+0.943\,8x$	0.49	0.995 6
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.336\,7+0.675\,6x$	9.59	0.990 1
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=4.336\,7+0.675\,6x$	9.59	0.990 1

2.2　烯效唑、戊唑醇与恶霉灵不同复配组合对镰孢菌的联合作用效果

以烯效唑与戊唑醇的不同配比对 3 种镰孢菌进行毒力测定,由表 2 可知,烯效唑与戊唑醇的配比为 3∶1,对腐皮镰孢和尖镰孢表现为增效,共毒系数分别为 137.93 和 833.33,与其他配比相比,综合表现最好。在此基础上,测定烯效唑、戊唑醇与恶霉灵不同配比对 3 种镰孢菌的毒力,如表 3 所示,当 3 种药剂配比为 3∶1∶16 和 3∶1∶20 时对 3 种镰孢菌均表现为增效作用。考虑节约成本,以烯效唑、戊唑醇和恶霉灵的复配配比 3∶1∶16 用于制备悬浮种衣剂。

表 2　烯效唑与戊唑醇复配对镰孢菌的联合作用[1)]

Table 2　Combined effect of the mixture of uniconazole and tebuconazole on *Fusarium* spp.

烯效唑∶戊唑醇(m∶m) Ratio of the mixture	镰孢菌 *Fusarium* spp.	回归方程 Regression equation	EC_{50}/ μg·mL^{-1}	相关系数(r) Correlation coefficient	共毒系数 CTC	复配效果 Effect of the mixture
1∶1	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=5.348\,8+1.956\,5x$	0.66	0.907 9	91.32	相加
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.736\,9+1.249\,2x$	1.62	0.984 9	93.46	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.947\,2+1.700\,8x$	0.28	0.990 2	163.93	增效
1∶3	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.825\,0+1.747\,8x$	1.26	0.910 4	53.91	拮抗
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=5.245\,5+0.935\,1x$	0.55	0.999 9	193.24	增效
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.684\,5+1.951\,9x$	0.45	0.992 9	83.86	相加

续表 2 Table 2(Continued)

烯效唑:戊唑醇(m:m) Ratio of the mixture	镰孢菌 *Fusarium* spp.	回归方程 Regression equation	EC_{50}/ $\mu g \cdot mL^{-1}$	相关系数(r) Correlation coefficient	共毒系数 CTC	复配效果 Effect of the mixture
1:5	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.984\ 4+1.365\ 2x$	1.03	0.975 4	68.97	拮抗
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=5.066\ 6+1.056\ 9x$	0.87	0.996 2	111.32	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.974\ 5+1.886\ 1x$	0.30	0.990 0	118.31	相加
3:1	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=5.365\ 0+2.051\ 1x$	0.66	0.937 2	81.97	相加
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.697\ 2+1.075\ 2x$	1.91	0.999 6	137.93	增效
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.894\ 9+0.772\ 7x$	0.07	0.940 0	833.33	增效
5:1	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=5.281\ 0+0.914\ 8x$	0.49	0.991 8	106.57	相加
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.447\ 8+1.106\ 5x$	3.16	0.991 8	110.29	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.810\ 8+1.122\ 4x$	0.19	0.961 3	342.86	增效

1) CTC<70,表现为拮抗;70≤CTC<120,表现为相加作用;120≤CTC,表现为增效作用。下同。
CTC<70 indicated the result was antagonistic effect. 70≤CTC<120 indicated the result was additive effect. 120≤CTC indicated the result was synergic effect. The same below.

表 3 烯效唑、戊唑醇和恶霉灵不同质量比复配对镰孢菌的联合作用

Table 3 Combined effect of the mixture of uniconazole, tebuconazole and hymexazol on *Fusarium* spp.

烯效唑:戊唑醇:恶霉灵(m:m:m) Ratio of the mixture	镰孢菌 *Fuarium* spp.	回归方程 Regression equation	EC_{50}/ $\mu g \cdot mL^{-1}$	相关系数(r) Correlation coefficient	共毒系数 CTC	复配效果 Effect of the mixture
3:1:4	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.303\ 7+1.473\ 6x$	2.97	0.983 8	36.07	拮抗
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.302\ 3+1.015\ 9x$	4.86	0.998 1	106.81	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.564\ 4+0.919\ 0x$	0.24	0.995 7	476.20	增效
3:1:8	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.953\ 5+0.886\ 4x$	1.13	0.987 3	140.85	增效
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.337\ 5+0.880\ 1x$	5.66	0.998 4	119.21	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.326\ 9+0.970\ 3x$	0.46	0.996 9	375.00	增效
3:1:16	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.903\ 6+0.944\ 5x$	1.26	0.994 2	207.04	增效
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.092\ 0+1.023\ 5x$	7.71	0.997 1	164.20	增效
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.188\ 0+1.038\ 7x$	0.66	0.983 4	261.40	增效
3:1:20	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.852\ 2+1.427\ 0x$	1.46	0.988 1	177.00	增效
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=4.458\ 0+0.702\ 4x$	5.91	0.998 8	212.54	增效
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=5.138\ 4+0.937\ 8x$	0.71	0.969 3	430.10	增效
3:1:40	禾谷镰孢 *F. graminearum*	$y=4.562\ 8+0.999\ 9x$	2.74	0.996 1	198.74	增效
	腐皮镰孢 *F. solani*	$y=3.486\ 0+0.976\ 3x$	35.54	0.972 0	74.86	相加
	尖镰孢 *F. oxysporum*	$y=4.981\ 9+0.714\ 4x$	1.06	0.992 5	463.16	增效

2.3 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂对盆栽苗的安全性及对大豆镰孢根腐病的防效

如表 4 所示,播种 5 d 后,6 种不同用量 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂处理后的大豆发芽率与清水对照相比差异不显著,低用量处理可在一定程度上促进大豆发芽,而 5%戊唑醇悬浮种衣剂处理显著抑制大豆发芽。播种 20 d 后,与对照相比,不同用量种衣剂处理可促进大豆出苗,但差异不显著,与 5%戊唑醇悬浮种衣剂处理相比,低用量种衣剂可显著提高大豆出苗;不同用量种衣剂处理后大豆根鲜重无明显增加,5%戊唑醇悬浮种衣剂处理后根鲜重显著降低;同时,不同用量 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂处理均能显著抑制株高和下胚轴长,高浓度抑制效果更明显,但与 5%戊唑醇悬浮种衣剂相比大豆株高差异不显著。综上所述,与对照相比,低用量 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂(0.2~1.0 g/kg)处理对大豆各生长指标影响不明显,且能够在一定程度上促进大豆发芽和出苗,降低株高,安全性高。

采用高粱粒接种法接种后,检测各用量 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂对大豆根腐病三种致病镰孢菌的防治效果,由表 5 可知,与清水对照处理相比,使用 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂包衣 0.2~2.0 g/kg处理后,3 种致病镰孢菌引起的大豆根腐病的发病率和病情指数均明显降低,且高浓度种衣剂处理降低幅度更大。与 5%戊唑醇悬浮种衣剂处理相比,20%烯·戊·恶悬浮种衣剂 0.6 g/kg 处理对禾谷镰孢根腐病相对防效低于 5%戊唑醇悬浮种衣剂,低浓度处理防效较低;对腐皮镰孢根

腐病相对防效,20%烯·戊·恶悬浮种衣剂 0.6～2.0 g/kg 处理与 5%戊唑醇悬浮种衣剂相当;20%烯·戊·恶悬浮种衣剂 0.2～0.6 g/kg 处理对尖镰孢根腐病的防效与 5%戊唑醇悬浮种衣剂差异不显著,高浓度则防效更好。综合考虑,20%烯·戊·恶悬浮种衣剂 1.0～2.0 g/kg 处理对 3 种镰孢菌接种后的根腐病的防效更好,优于 5%戊唑醇悬浮种衣剂。

表 4　20%烯·戊·恶悬浮种衣剂对室内大豆盆栽苗的影响[1)]

Table 4　Effect of uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC on soybean seedling in pot experiments

处理 Treatment	用量/g·kg^{-1} Dosage	发芽率/% Germination rate	出苗率/% Emergence rate	根鲜重/g Root fresh weight	株高/mm Plant height	下胚轴长度/mm Hypocotyl length
清水 Water control	0.0	80.95 ab	73.02 abc	1.03 a	137.54 a	60.17 a
20%烯·戊·恶 FSC uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC	0.2	82.54 ab	92.06 a	0.87 ab	57.64 b	32.75 b
	0.6	90.48 a	87.30 ab	0.85 ab	49.80 bc	30.18 bc
	1.0	88.89 a	82.54 ab	1.00 ab	50.47 bc	28.97 bc
	2.0	93.65 a	85.71 ab	0.85 ab	36.22 d	24.66 cd
	4.0	82.54 ab	82.54 ab	0.87 ab	35.86 d	22.65 cd
	8.0	61.90 bc	61.90 bc	0.94 ab	36.97 d	24.95 d
5%戊唑醇 FSC tebuconazole 5% FSC	4.0	44.44 c	52.38 c	0.73 b	45.06 cd	30.03 bc

1) 表中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

表 5　20%烯·戊·恶悬浮种衣剂对盆栽大豆镰孢菌根腐病的防效

Table 5　Control efficacy of uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC on Fusarium root rot of soybean in pot experiments

镰孢菌 *Fusarium* spp.	处理 Treatment	用量/g·kg^{-1} Dosage	发病率/% Disease rate	病情指数 Disease index	相对防效/% Relative control efficacy
禾谷镰孢 *F. graminearum*	20%烯·戊·恶 FSC uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC	0.2	31.07 b	20.50 e	67.35 e
		0.6	32.86 b	14.75 f	76.51 d
		1.0	28.21 b	15.25 f	78.71 cd
		2.0	20.00 d	12.50 fg	80.09 c
	5%戊唑醇 FSC　tebuconazole 5% FSC	4.0	24.00 c	45.40 c	80.80 c
	清水对照　Water control	4.0	98.31 a	62.78 b	—
腐皮镰孢 *F. solani*	20%烯·戊·恶 FSC uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC	0.2	30.95 b	12.25 fg	70.50 e
		0.6	31.95 b	12.16 fg	79.61 c
		1.0	30.48 b	9.04 g	84.84 b
		2.0	22.54 c	11.73 fg	83.33 bc
	5%戊唑醇 FSC　tebuconazole 5% FSC	4.0	24.60 c	46.00 c	82.30 bc
	清水对照　Water control	4.0	100.00 a	59.63 b	—
尖镰孢 *F. oxysporum*	20%烯·戊·恶 FSC uniconazole·tebuconazole·hymexazol 20% FSC	0.2	28.25 b	16.51 f	80.06 c
		0.6	26.19 bc	14.05 f	83.03 bc
		1.0	23.06 c	8.98 g	89.15 a
		2.0	11.20 e	30.20 d	90.50 a
	5%戊唑醇 FSC　tebuconazole 5% FSC	4.0	25.50 bc	45.80 c	83.80 bc
	清水对照　Water control	4.0	100.00 a	82.80 a	—

3　结论与讨论

本研究选取烯效唑、戊唑醇和恶霉灵 3 种生产上常用的种衣剂及杀菌剂,测定了不同复配组合对大豆根腐病主要致病菌尖镰孢、腐皮镰孢和禾谷镰孢的毒力,筛选获得了最佳复配配比,并制备了 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂,进一步通过室内盆栽试验,测定了该种衣剂对大豆的安全性,以及对 3 种镰孢菌接种后大豆根腐病的防效,结果显示,烯效唑、戊唑醇和恶霉灵的配比为 3∶1∶16 增效作用明显,采用 20%烯效唑·戊唑醇·恶悬浮种衣剂 1.0～2.0 g/kg 处理大豆种子对大豆尖镰孢和腐皮镰孢菌根腐病的相对防效达 83.3%以上,高于市面上常见的 5%戊唑醇悬浮种衣剂。

研究表明,戊唑醇、烯效唑对大豆根腐病 3 种主要致病镰孢菌均有很强的抑制作用,可以取代曾经长期大范围使用的多菌灵等常规单剂,延缓病菌抗药性的产生。戊唑醇是具有内吸性的三唑类杀菌剂,周子燕等[21]研究表明三唑类杀菌剂能显著调节植物生长,改善植物体内激素平衡,增强植物逆境生长能力。毕彦博等[22]发现三唑类杀菌剂可促进植物光合作用,增加酶类与非酶类抗氧化剂含量,降低丙二醛含量,从而有效缓解植物逆境胁迫压力,保持细胞

质膜的稳定性及抗氧化。烯效唑是日本住友公司推出的植物生长调节剂[23]，多用于矮化壮苗。雍太文等[24]研究发现，烯效唑干拌种可显著提高大豆单株籽粒、蛋白质和粗脂肪产量，在苗期适度干旱胁迫下烯效唑干拌种能显著降低大豆株高、缩短第 1 节间长度，增加茎粗和倒 3 叶叶面积，提高了大豆产量，提升了大豆品质。于虹漫等[25]研究指出，烯效唑处理可提高秧苗体内的 SOD、多酚氧化酶（PPO）及苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性，提高水稻对镰孢菌和立枯丝核菌复合侵染引起的立枯病的抗性。本试验结果表明，烯效唑对 3 种大豆根腐病致病镰孢菌抑菌活性均较强，尤其是对禾谷镰孢抑制作用显著，可能与禾谷镰孢对烯效唑更敏感有关，因此烯效唑在对大豆生产方面兼有调节植物生长和杀菌作用。前人研究发现，恶霉灵毒性显著低于其他同质药剂，可以被土壤微生物分解成水和二氧化碳，符合绿色生产的要求被逐渐使用于复配拌种剂[26]，同时，恶霉灵进入土壤后能被土壤吸收并与土壤中的无机金属盐如铁、铝离子相互作用，能有效地抑制病原菌孢子的萌发和菌丝的生长，起到土壤杀菌、土壤消毒的效果，还可促进植物生长、根的分蘖、根毛增长、提高根部活性、提高苗的发展势能，达到健苗、壮苗作用[26]。在本试验中，室内毒力测定恶霉灵和戊唑醇对 3 种镰孢菌 EC_{50} 差异较大，可能与 3 种镰孢菌对两种杀菌剂的敏感性不同有关，对于致病性最强的尖镰孢，恶霉灵有较好的抑制作用，虽然较前两种药剂对 3 种镰孢菌的 EC_{50} 均偏大，但考虑其进入土壤后能够显著增强药效并可以防治除大豆根腐病主要致病镰孢菌以外的土传真菌，起到土壤清洁的作用，故在后期种衣剂的研制上以恶霉灵为主要成分。基于以上原因并联系生产实际，本试验选择恶霉灵与烯效唑与戊唑醇进行三元复配。

市售 5%戊唑醇悬浮种衣剂虽被广泛运用于防治大豆镰孢根腐病，但随着应用范围的扩大，使用频率、用量、面积的增加，可能会导致抗药性的产生，并且已有报道，室内紫外线诱导可使禾谷镰孢对戊唑醇产生抗药性[27]。基于目前生产上尚未有烯效唑、戊唑醇、恶霉灵三元复配的产品配方，田间也未发现这 3 种药剂混用所造成的交互抗性，因此在目前抗病品种缺乏的情况下，为了延缓或克服病原菌抗药性的形成和发展，采用烯效唑、戊唑醇、恶霉灵三者 3∶1∶16 的复配组合，研制 20%烯·戊·恶悬浮种衣剂。在本配方中，以恶霉灵为主要成分的种衣剂绿色环保，而且低毒安全，对于人畜及传粉昆虫安全性较高，在田间预期效果上，戊唑醇与烯效唑能够兼顾防病与提高植株自身生理性状，增强抗逆性，为大豆稳定高产提供支撑。

本试验通过室内盆栽苗试验对前期鉴定的引起大豆根腐病的 3 种优势致病镰孢菌进行了单独接种，以验证种衣剂的防效，未模拟田间多种镰孢菌复合侵染以及其他大豆根腐病致病菌如立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani*、腐霉菌 *Pythium* sp.、疫霉菌 *Phytophthora sojae* 等[19]混合接种验证，因此，未来将进一步开展多种镰孢菌及其他非镰孢菌致病菌混合接种的室内盆栽苗接种试验，并进行田间试验，进一步明确该种衣剂的应用效果，扩大其应用范围。此外，在本悬浮种衣剂的制备过程中，对于该悬浮种衣剂的悬浮率、黏度、成膜时间、包衣均匀度、包衣脱落率、热贮稳定性及低温稳定性进行深入研究，以提高药效的稳定性和田间应用的可行性，使其拥有更为广泛的应用前景。

大豆根腐病是生产上需要常防常治的病害，防治便离不开化学防治，种子包衣技术是针对一系列土传病害的有效措施，具有较好的应用前景。建议对高稳定性种衣剂进行深入的开发研究。今后在大豆根腐病的复配药剂组合上应充分考虑治病兼治虫的策略，控制土壤害虫对大豆苗期根茎的钻蛀为害以及防止由于根系受损为病原菌入侵提供有利条件。此外，除化学防治措施之外，还需从选用抗病品种、农艺措施等多方面做好预防工作。始终秉承预防为主，综合防治的植保方针才能取得良好的防治效果。

参考文献

[1] 李保英，马淑梅. 大豆根腐病原菌种类及抗源筛选[J]. 植物保护学报，2000，27(1)：91－92.

[2] 张丽，耿肖兵，王春玲，等. 黑龙江省大豆镰孢根腐病菌鉴定及致病力分析[J]. 植物保护，2014，40(3)：165－168.

[3] CHANG K F, HWANG S F, CONNER R L, et al. First report of *Fusarium proliferatum* causing root rot in soybean (*Glycine max* L.) in Canada [J]. Crop Protection, 2015, 67: 52－58.

[4] BARROS G G, ZANON M S A, CHIOTTA M L, et al. Pathogenicity of phylogenetic species in the *Fusarium graminearum* complex on soybean seedlings in Argentina [J]. European Journal of Plant Pathology, 2014, 138(2): 215－222.

[5] ZHANG J X, XUE A G, ZHANG H J, et al. Response of soybean cultivars to root rot caused by *Fusarium* species [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2010, 90(5): 767－776.

（下转 244 页）

护农产品质量安全和农业生态环境安全具有重要意义。本研究表明，每公顷添加 Greenwet 7618 有机硅助剂 300 g，可减少四氯虫酰胺用量 50%，在菜青虫低龄幼虫初盛期及时喷雾防治，可有效防治菜青虫，持效期为 7 d。

参考文献

[1] 刘娜丽，肖正，王锋，等. 菜青虫发生特点与防治技术[J]. 西北园艺(蔬菜)，2012(3)：42－43.

[2] 王秀英，巫东堂，赵军良，等. 十字花科蔬菜常见虫害的发生与防治[J]. 蔬菜，2010(10)：16－18.

[3] 阎世江，张继宁，刘洁. 表面活性剂助力农药成长[J]. 农药市场信息，2017(15)：31－32.

[4] 李翠英. 农药增效助剂——有机硅[J]. 山东农药信息，2013(9)：23.

[5] 周宇鹏，徐道海. 有机硅表面活性剂在农药增效剂及油污清洗剂中的应用[J]. 有机硅材料，2003，17(6)：30－33.

[6] 张舒，陈其志，吕亮，等. 毒死蜱·有机硅对水稻二化螟的室内毒力测定[J]. 农药，2009，48(12)：917－918.

[7] 邱占奎，袁会珠，李永平，等. 添加有机硅表面活性剂对低容量喷雾防治小麦蚜虫的影响[J]. 植物保护，2006，32(2)：34－37.

[8] 田娟，陈会民，李定旭，等. Silwet408 有机硅助剂在小菜蛾药剂减量化防治中的应用[J]. 河南农业科学，2014，43(9)：97－100.

[9] 封云涛，郭晓君，李光玉，等. 添加表面活性助剂对 2 种药剂防治小菜蛾的增效作用[J]. 植物保护，2017，43(2)：212－215.

[10] 张忠亮，李相全，王欢，等. 六种有机硅助剂对氟磺胺草醚的增效作用及其增效机理初探[J]. 农药学学报，2015，17(1)：115－118.

[11] 李斌，杨辉斌，王军锋，等. 四氯虫酰胺的合成及其杀虫活性[J]. 现代农药，2014，13(3)：17－20.

[12] 国家质量技术监督局. GB/T 17980.1－17980.53-2000 农药田间药效试验准则(一)[S]. 北京：中国标准出版社，2000：51.

[13] 李北兴，李华，张大侠，等. 季铵盐和有机硅助剂对啶虫脒杀虫活性及水生生物毒性的影响[J]. 农药学学报，2017，19(1)：93－99.

[14] 吴声敢，吴长兴，陈丽萍，等. 两种有机硅表面活性剂和 3 种农药对斑马鱼的急性毒性与联合毒性研究[J]. 农药学学报，2009，11(1)：145－148.

[15] 吴仁海，孙慧慧，王彦兵，等. 9 种助剂对精噁唑禾草灵、炔草酯除草活性的影响[J]. 河南农业科学，2015，44(12)：84－87.

[16] 王静，朱九生. 有机硅助剂对阿维菌素防治小菜蛾的增效作用[J]. 山西农业科学，2016，44(7)：1004－1006.

[17] WANG X L, WU Y D. High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*[J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105: 1019－1023.

[18] 李雅珍，陶燕华，唐海燕. GE 农用有机硅喷雾助剂防治蔬菜害虫的应用初探[J]. 上海蔬菜，2006(5)：70－71.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 236 页)

[6] 何宛芹，付瑶，鲁雯璐，等. 大豆根腐病致病镰孢菌的多重 PCR 检测技术[J]. 植物保护学报，2017，44(4)：609－616.

[7] 李宝华. 种衣剂对大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学，2003，22(3)：234－235.

[8] POAG P S, POPP M, RUPE J, et al. Economic evaluation of soybean fungicide seed treatments[J]. Agronomy Journal, 2010, 97(6): 1647－1657.

[9] WEEMS J D, HAUDENSHIELD J S, BOND J P, et al. Effect of fungicide seed treatments on *Fusarium virguliforme* infection of soybean and development of sudden death syndrome[J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2015, 37(4): 435－447.

[10] 张荣芳，郑铁军，李宝英，等. 35%多·福·克大豆超微粉种衣剂应用效果研究[J]. 黑龙江农业科学，2015(12)：50－54.

[11] 刘秀林，杨扬，苗丽丽，等. 大豆种衣剂田间筛选试验[J]. 黑龙江农业科学，2017(1)：48－50.

[12] 闫艳红，杨文钰，张新全，等. 套作遮荫条件下烯效唑对大豆壮苗机理的研究[J]. 中国油料作物学报，2011，33(3)：259－264.

[13] 于晓丽，王英姿，张伟，等. 3 种种衣剂对小麦纹枯病的室内毒力和田间防效[J]. 安徽农业科学，2016，44(25)：136－138.

[14] 崔勇，周惠中，杜微，等. 7%丁硫克百威戊唑醇悬浮种衣剂配方[J]. 农药，2012，51(7)：501－508.

[15] 杨会营，王占娣，蔡朝阳，等. 含有不同生长调节剂 3%戊唑醇悬浮种衣剂对玉米种子萌发和生长效应的影响[J]. 安徽农业科学，2013，41(2)：591－592.

[16] NY/T1156.2－2006. 中华人民共和国农业行业标准[S]. 北京：中国农业出版社，2006.

[17] 陈军，高国平，张伟. 6 种杀菌剂及其混配剂对香栓孔菌的室内毒力测定[J]. 西北林学院学报，2012，28(1)：129－131.

[18] 陈莉，许娟，丁克坚，等. 药剂对稻曲病菌的毒力测定及复配研究[J]. 植物保护，2012，38(3)：159－161.

[19] 马淑梅. 黑龙江省大豆根腐病致病病原种类分布及抗病种质鉴定[J]. 中国农学通报，2012，28(27)：230－235.

[20] 陆艳，李佳，孙健，等. 烯效唑生物学效用研究进展[J]. 大麦与谷类科学，2017，34(1)：6－10.

[21] 周子燕，李昌春，高同春，等. 三唑类杀菌剂的研究进展[J]. 安徽农业科学，2008，36(27)：11842－11844.

[22] 毕彦博，潘红艳，张晓庆，等. 三唑类杀菌剂调节植物逆境生长研究进展[J]. 中国农学通报，2012，28(30)：213－217.

[23] IZUMI K, YAMAGUCHI I, WADE A, et al. Effect of a new plant growth retardant (*E*)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethy-2-(1, 2, 4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol (S-3307) on the growth and gibberellin content of rice plants[J]. Plant & Cell Physiology, 1984, 25(4): 611－617.

[24] 雍太文，刘小明，肖秀喜，等. 不同种子处理对苗期干旱胁迫条件下大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. 大豆科学，2013，32(5)：620－624.

[25] 于虹漫，唐咏，李月莹. 烯效唑防治水稻立枯病的生化特性研究[J]. 江苏农业科学，2003(5)：32－33.

[26] 张会春. 无公害农药恶霉灵的应用[J]. 云南农业科技，2006(1)：45－46.

[27] 叶滔，马志强，王文桥，等. 禾谷镰孢菌对戊唑醇抗药性的诱导及抗性菌株特性研究[J]. 农药学学报，2011，13(3)：261－266.

(责任编辑：杨明丽)