应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2018, 55(2): 260–267. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2018.036

烟剂对韭菜迟眼蕈蚊防效及经济效益与安全性评价*

徐 蕾** 赵彤华 许国庆*** 刘培斌

（辽宁省农业科学院植物保护研究所，沈阳 110161）

摘 要 **【目的】**通过室内与温室试验相结合，综合评价了烟剂对韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* (Yang *et* Zhang)的控制效果，为韭蛆的绿色防控提供技术支持。**【方法】** 采用玻璃方箱法测定了敌敌畏烟剂和异丙威烟剂对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏蒸毒力；在温室比较了 2 种烟剂与生产中普遍使用的毒·辛乳油灌根方法的药效，通过测产并结合投入成本分析了各自取得的经济效益，最后进行药剂的残留检测。**【结果】** 敌敌畏烟剂对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏蒸毒力较强；中剂量敌敌畏烟剂和高剂量异丙威烟剂对成虫的防效分别为 96.21%和 86.05%，对幼虫的防效分别为 97.08%和 90.00%，极显著高于毒·辛乳油灌根处理（77.36%，$P<0.01$），分别实现增产 41.71%和 30.75%，新增总收益分别达到 20 507.94 元/hm^2 和 15 118.28 元/hm^2，投入产出比分别为 1∶16.28 和 1∶10.33。经检测，韭菜样本在检出限内无敌敌畏残留，而用药 15 d 后异丙威残留量为 0.186 mg/kg，低于最大残留限量标准。**【结论】** 烟剂熏蒸是比较理想的韭菜迟眼蕈蚊绿色防控手段，生产上可选用敌敌畏烟剂和异丙威烟剂。

关键词 韭菜迟眼蕈蚊，烟剂，温室防效，药剂残留，绿色防控

Efficiency, economic benefit, and safety, of fumigation to control *Bradysia odoriphaga* (Yang *et* Zhang) (Diptera: Sciaridae)

XU Lei** ZHAO Tong-Hua XU Guo-Qing*** LIU Pei-Bin

(Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract **[Objectives]** To provide a practical method for controlling the Chinese chive maggot, *Bradysia odoriphaga*. **[Methods]** The efficiency of using fumigation to control the Chinese chive maggot, *Bradysia odoriphaga*, was evaluated comprehensively in laboratory bioassays and greenhouse experiments. The toxicity of dichlorvos FU and isoprocarb FU to *B. odoriphaga* adults was measured in a glass chamber. The control efficiency of these two kinds of fumigants and chlorpyrifos-phoxim EC were compared using plot tests in a greenhouse, and the relative economic benefit of the three fumigants was analyzed by estimating yield in relation to cost. Finally, residues of the various fumigants used were measured and compared. **[Results]** Dichlorvos FU was the most toxic of the fumigants tested to *B. odoriphaga* adults. The results of greenhouse experiments show that the control efficiency of a medium dosage of 15% dichlorvos FU and a high dosage of 10% isoprocarb FU was up to 96.21% and 86.05%, respectively. The control efficiency of these pesticides against larvae was up to 97.08% and 90.00%, respectively, significantly higher than that of 20% chlorpyrifos-phoxim EC ($P<0.01$). Moreover, 15% dichlorvos FU and 10% isoprocarb FU increased yield by 41.71% and 30.75%, respectively, gave financial returns of 20 507.94 Yuan/hm^2 and 15 118.28 Yuan/hm^2, respectively, and had input-output ratios of 1∶ 16.28 and 1∶10.33, respectively. Rigorous monitoring found that any dichlorvos residues in Chinese chive samples were below the limit of detection. The isoprocarb residue after 15 days was 0.186 mg/kg, which is below the MRL standard. **[Conclusion]** Fumigation was an

*资助项目 Supported projects：国家公益性行业（农业）科研专项（201303027-09）

**第一作者 First author，E-mail：syxlei81@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：ylzwch@126.com

收稿日期 Received：2017-11-24，接受日期 Accepted：2018-02-08

effective, environmentally friendly way of controlling *B. odoriphaga*. Dichlorvos FU and isoprocarb FU are recommended for controlling this pest in Chinese chive crops.

Key words　*Bradysia odoriphaga*, smoke agent, greenhouse control effect, insecticide residues, green management

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* (Yang *et* Zhang)是葱蒜类蔬菜的重要害虫，其幼虫俗称韭蛆，属半腐生性害虫，以根或柔嫩的茎部为食，虫量发生大时可造成韭菜缺苗、断垄甚至绝收（李慧等，2016）。韭蛆由于个体小，营钻蛀为害和隐蔽式生活，加之世代重叠现象严重，难于确定恰当的防治适期，药剂很难达到靶标。现阶段，尚缺乏对抗蛆韭菜种质资源的系统鉴定（张明等，2016）、对使用高毒农药的行为很难做到有效监管，由此引发的 3R [（抗性（Resistance）、残留（Residue）、再猖獗（Resurgence）] 效应明显，进而带来一系列食品安全、社会安全及生态安全问题（吴青君等，2016）。开发高效、安全的有效药剂及其配套应用技术、有效控制韭蛆，是韭菜产业发展中亟待解决的难题。

目前控制韭蛆仍以化学防治为主，绝大多数采用毒死蜱、辛硫磷等有机磷类药剂喷洒或灌根（董立元等，2004；王洪涛等，2014；庄乾营等，2015），灌施或淋溶后药剂的田间移动直接污染地下水（张鹏等，2015a），人、畜急性中毒等事件也时有曝光（宋丹等，2016）。近年来以吡虫啉和噻虫胺为主的新烟碱类药剂陆续得到应用（李贤贤等，2014；Zhang *et al.*，2014；张鹏等，2015b），但其对家蚕 *Bombyx mori* 和蜜蜂 *Apis mellifera* (L.)等非靶标生物的安全性将面临着更加严峻的考验（Hassani *et al.*，2008；崔新倩等，2012；Fairbrother *et al.*，2014）。另外，植物源及昆虫生长调节类农药也被引入韭蛆的防治中（李娜娜和杨建平，2012；安立娜等，2014；Zhou *et al.*，2016），但其存在的速效性差、高成本等问题导致生产中难以推广（马晓丹等，2015；祝国栋等，2016）。

韭菜迟眼蕈蚊成虫生活史以交配和产卵为主，不进行取食活动（徐蕾等，2016a），一直以来未受到足够重视。东北地区冬长夏短，韭菜的主要种植模式是温室栽培。抓住每年 12 月中旬左右出现的越冬代羽化高峰期做好成虫防控，即可有效减少韭菜迟眼蕈蚊的产卵量及下一代幼虫的虫口基数，对遏制韭蛆的全年为害有重要意义。烟剂的扩散性好，分布均匀，更适合在温室、仓库等相对密闭的环境中使用（杨田堂，2004），同时兼具保护作物、预防病害和控制虫害的功效（李谱超和孙国文，1989），而且，烟剂无内吸作用，不被植物体吸收，因此对人、畜和环境安全。实施地下害虫地上治的思想，改以往“补救式”的幼虫防控为“预防性”的成虫防控是促进反季节优质韭菜生产的新途径，而烟剂熏蒸作为一种可有效平衡温室蔬菜病虫害防治及药剂污染控制的技术策略，尚未应用于防治韭菜迟眼蕈蚊。本研究通过室内与温室试验相结合，综合评价了烟剂对韭菜迟眼蕈蚊的控制效果，以期为构建韭蛆绿色防控技术体系提供技术支持。

1　材料与方法

1.1　供试材料

1.1.1　供试虫源　在辽宁省北镇市中安镇韭菜棚内采集韭菜迟眼蕈蚊幼虫，带回辽宁省农业科学院植保所实验室，在温度（25±1）℃、相对湿度（70±5）%、光周期 L：D= 14：10 的条件下，用无污染的韭菜饲养。

1.1.2　试验温室　药效试验地点位于辽宁省北镇市中安镇中东村。温室土壤 pH 7.5，种植韭菜品种汉中冬韭（4 年生）；棚全长 70 m、宽 6.5 m、棚高 1 m，规格基本一致；畦埂宽 3 m，平畦穴栽，种植均匀，密度 400 万株/hm^2。

1.1.3　试剂及仪器　15%敌敌畏烟剂，邢台市农药有限责任公司生产；10%异丙威烟剂，安阳市安林生物化工有限责任公司生产；20%毒·辛乳油（含 4%毒死蜱、16%辛硫磷），江苏东宝农化股份有限公司。QHS(C) 20/Z 增强型可调节智能

养虫室（调节范围：温度（4-40）℃，相对湿度 40%-95%，光照强度 1 500-3 000 lx），另附配套的玻璃小方箱装置（长×宽×高= 70 cm×120 cm×70 cm），山东济南科益试验设备有限公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 烟剂的熏蒸毒力测定 测定参照国家标准 GB/T 13917.3-2009“农药登记用卫生杀虫剂室内药效试验及评价之第 3 部分：烟剂及烟片”规定的方法，在智能养虫室的玻璃小方箱内进行。在 25 ℃条件下，15%敌敌畏烟剂和 10%异丙威烟剂剂量梯度分别设定为 0.03、0.05、0.07、0.09、0.11 g.a.i./m^3和 0.01、0.03、0.05、0.07、0.09 g.a.i./m^3，每个处理 3 次重复。选取健康的韭菜迟眼蕈蚊成虫 50 头，由放虫孔释放于方箱中，随即用胶塞塞紧，在方箱底部中心位置的托盘上按试验剂量点燃烟剂，关闭箱门，密封，计时。熏蒸 2 h 后，收集被击倒成蚊并移至清洁的养虫笼中，在温度（25±1）℃、相对湿度 70%、光周期 L：D= 14：10 的条件下恢复标准饲养，24 h 后检查记录死亡虫数。以未处理的同批成虫作空白对照，计算校正死亡率。死亡率= 死亡虫数／供试虫数×100%，校正死亡率= （处理死亡率－对照死亡率）／（1－对照死亡率）×100%（Abbott，1925）。每次试验完毕后，清洗玻璃小方箱装置，自然晾干备用。

1.2.2 温室药效试验 选取环境条件、植株长势和韭蛆发生程度（中等偏重）基本一致的韭菜温室（此前未施用任何农药）作为 15%敌敌畏烟剂、10%异丙威烟剂和 20%毒·辛乳油灌根处理区，另设不施用任何药剂处理的空白对照区。依据中国农药信息网（http://www.chinapesticide.gov.cn）登记的推荐用药量，烟剂剂量分别设定为 3 000 g/hm^2（低剂量）、4 500 g/hm^2（中剂量）和 7 500 g/hm^2（高剂量）。施药在傍晚 17:00 进行，将各处理烟剂平均分为 5 份，从温室纵向内部至外部均匀放置并逐一点燃，人员即刻离开，封闭好出入口，闭棚一夜，于次晨通风。每次施药前调查烟剂处理区成虫及幼虫虫口基数，并分别于第 1 次施药后的第 1、7 天和第 2 次施药后的第 7 天调查处理后成虫及幼虫虫口数。20%毒·辛乳油灌根依照农民生产习惯操作，用药量为 15 000 g/hm^2，在韭菜根际开沟灌入 3 000 倍稀释药液，施药 1 次。施药前调查乳油处理区幼虫虫口基数，并于施药后第 1、7、17 天调查处理后幼虫虫口数。每个处理 3 次重复，每个小区随机调查 10 点，每点调查 10 株韭菜。虫口减退率= （处理前虫口基数－处理后虫口数）／处理前虫口基数×100%；校正防效= （处理后虫口减退率－对照区虫口减退率）／（1－对照区虫口减退率）×100%。

1.2.3 经济效益评价 在韭菜第 1 次刈割前进行产量测定，药剂处理区和空白对照区均按棋盘式 5 点法进行取样，每点随机选取 0.2 m^2 丛穴，重复 3 次，实收每穴韭菜称取鲜重，计算实收产量和增产率。经济效益评价考虑每种药剂的投入成本（材料费、人工费），新增收益按当年韭菜平均市场收购价 2 元/kg 统计，并计算投入产出比（丁新华等，2016）。

1.2.4 安全性评价 在使用 15%敌敌畏烟剂和 10%异丙威烟剂进行 2 次施药后的第 1、3、5、7、10、15 天和使用 20%毒·辛乳油灌根后的第 1、7、14、21、27、33 天对药剂处理区和空白对照区按棋盘式 5 点法进行取样，每点剪取韭菜叶片 500 g 送至农业部农产品质量监督检验测试中心（沈阳），依照中华人民共和国农业行业标准（NY/T 761-2008），采用气相色谱法和液相色谱法进行药剂残留的定量检测；依照 2016 年 12 月最新颁布的“GB 2763-2016 食品中农药最大残留限量”确定药剂的安全间隔期。

1.3 数据分析

试验数据采用 IBM SPSS Statistics 23 软件进行统计分析，将相关数据经过 $\arcsin(y/300)^{1/2}$ 反正弦转换后，采用 Duncan' s 新复极差法进行差异显著性比较（徐蕾等，2015）。将校正死亡率进行机率值转换（Finney，1971）、将处理浓度经过对数转换后，采用毒力回归方程拟合死亡几率值（y）与浓度对数值（x）之间的关系，求出半致死、致死剂量值（LC_{50}、LC_{99}）及其 95%

置信区间、标准误和判定系数，并对回归方程在 $\alpha = 0.01$ 水平下进行卡方检验（χ^2）（张俊天等，2016）。

2　结果与分析

2.1　烟剂的熏蒸毒力测定结果

敌敌畏烟剂和异丙威烟剂的 LC_{50} 分别为 0.042 g.a.i./m^3 和 0.047 g.a.i./m^3，LC_{99} 分别为 0.134 g.a.i./m^3 和 0.921 g.a.i./m^3，二者相差 6.87 倍。与异丙威烟剂相比，敌敌畏烟剂的毒力回归方程具有更大的斜率值，说明韭菜迟眼蕈蚊成虫对敌敌畏的敏感性更强。

2.2　温室药效试验结果

温室试验结果表明（表 2），使用 15%敌敌畏烟剂中、高剂量第 1 次用药 1 d 后对韭菜迟眼蕈蚊成虫的防治效果最大即可分别达到 91.72%和 88.03%，7 d 后分别降至 88.39%和 85.84%，在第 2 次用药 7 d 后防治效果分别提升至 96.21%和 93.33%，且极显著高于其他各处理（$P<0.01$）。但由于烟剂是通过控制成虫产卵量来降低幼虫虫口数，因此幼虫的虫口减退表现为先低后高。在使用烟剂第 1 次用药 1 d 后对幼虫的防治效果均极显著低于 20%毒 · 辛乳油灌根处理（$P<0.01$），此后烟剂处理区的幼虫虫口开始大幅减退，7 d 后 15%敌敌畏烟剂中剂量处理的防治效果即达到了 83.42%，此时 20%毒 · 辛乳油灌根处理的防治效果为 76.16%，二者差异极显著（$P<0.01$）。而在 20%毒 · 辛乳油用药 17 d（烟剂第 2 次用药 7 d）后调查其对幼虫的防治效果仅为 77.36%，与此时 2 种烟剂中、高剂量处理的防治效果相比均呈极显著差异（$P<0.01$）。其中，15%敌敌畏烟剂中、高剂量处理的防治效果分别为 97.08%和 95.63%，极显著高于 10%异丙威烟剂中、高剂量处理（$P<0.01$）。

2.3　各药剂处理的经济效益评价

测产结果表明（表 3），15%敌敌畏烟剂中、高剂量处理时的产量分别达到 34 836.21 kg/hm^2 和 33 922.04 kg/hm^2，二者之间无显著差异（$P>0.05$），但极显著高于其他各处理（$P<0.01$），增产率分别达 41.71%和 37.99%。10%异丙威烟剂高剂量处理时的产量为 32 141.38 kg/hm^2，极显著高于 20%毒 · 辛乳油灌根处理（29 936.29 kg/hm^2，$P<0.01$），增产率达 30.75%。20%毒 · 辛乳油灌根处理的产量极显著高于空白对照（$P<0.01$），但与 15%敌敌畏烟剂低剂量和 10%异丙威烟剂中剂量处理相比差异不显著（$P>0.05$）。经济效益分析表明，结合施药成本投入，15%敌敌畏烟剂中剂量处理可实现新增总收益 20 507.94 元/hm^2，投入产出比为 1∶16.28；10%异丙威烟剂高剂量处理可实现新增总收益 15 118.28 元/hm^2，投入产出比为 1∶10.33；20%毒 · 辛乳油处理时的新增总收益为 10 708.10 元/hm^2，投入产出比为 1∶8.03。

2.4　各药剂处理的安全性评价

药物残留测定结果显示（表 4），在国家规定的检出限下（0.01 mg/kg），2 次施药后 1-15 d 内采集的韭菜样本中均未检测出敌敌畏成分的药剂残留。10%异丙威烟剂在 2 次施药后 1 d 即检测出 7.732 mg/kg 的药物含量，随着用药间隔时间的延长，残留逐渐消减，药后 15 d 检测出

表 1　敌敌畏烟剂与异丙威烟剂对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏蒸毒力测定

Table 1　Fumigation toxicity of dichlorvos FU and isoprocarb FU against *Bradysia odoriphaga* adults

药剂 Insecticide	毒力回归方程 Regression equation	LC_{50} (95%置信区间) (g.a.i./m^3) 95% Confidence limit	LC_{99} (95%置信区间) (g.a.i./m^3) 95% Confidence limit	判定系数 R^2 Coefficient of determination	*df*	卡方值 χ^2 Chi-square value
DDVP	y=7.263+4.610 x	0.042±0.002 (0.015-0.066)	0.134±0.006 (0.102-0.817)	0.999	3	1.547
MIPC	y=2.443+1.959 x	0.047±0.011 (0.020-0.079)	0.921±0.122 (0.503-5.298)	0.998	3	3.269

DDVP：15%敌敌畏烟剂；MIPC：10%异丙威烟剂。下表同。$\chi^2_{(0.05, 3)}$= 7.815。

DDVP represents for 15% dichlorvos FU, MIPC represents for 10% isoprocarb FU. The same below. The $\chi^2_{(0.05, 3)}$ is 7.815.

表 2 烟剂熏蒸和乳油灌根处理对韭菜迟眼蕈蚊的防治效果

Table 2 Control efficiency of fumigation with FU and drench with EU against *Bradysia odoriphaga*

药剂 Insecticide	剂量 Dosage (g/hm^2)	虫态 Stages	第 1 次熏烟/灌根后 After the 1st fumigation/drench			第 2 次熏烟/第 1 次灌根后 After the 2nd fumigation/the 1st drench	
			虫口基数(头) Initial number	1 d 防治效果 Control efficiency (%)	7 d 防治效果 Control efficiency (%)	虫口基数(头) Initial number	7 d /17 d 防治效果 Control efficiency (%)
DDVP	3 000	成虫 Adult	133	70.57±5.76dC	67.03±9.92dC	54	78.60±4.35cC
	4 500		126	91.72±10.49aA	88.39±10.34aA	47	96.21±13.46aA
	7 500		109	88.03±7.89aA	85.84±7.69aA	40	93.33±10.19aA
MIPC	3 000		156	62.64±4.71eD	60.43±4.16eD	62	74.20±7.28dD
	4 500		125	76.34±9.29cBC	72.71±8.58cB	55	83.84±6.12bBC
	7 500		130	80.60±5.67bB	78.13±3.43bB	51	86.05±6.96bB
CK	—		147	—	—	152	—
DDVP	3 000	幼虫 Larva	43	9.23±0.53bB	62.30±5.98dE	24	82.50±5.27cCD
	4 500		40	13.03±0.81bB	83.42±9.26aA	24	97.08±4.96aA
	7 500		35	12.73±0.67bB	81.06±7.65aAB	16	95.63±7.41aA
MIPC	3 000		35	3.03±0.22bB	60.00±4.33dE	19	77.89±3.77dD
	4 500		41	8.94±0.59bB	67.65±5.18cD	17	83.53±4.84cC
	7 500		27	12.01±0.73bB	75.44±6.34bC	14	90.00±6.29bB
CPF-PHOX	15 000		34	55.08±4.48aA	76.16±5.02bBC	—	77.36±10.48dD
CK	—		28	—	—	—	—

表中数据为平均值±标准误；数据后标注不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平差异显著，标注不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平差异显著（Duncan's 多重检验法）。CK 代表空白对照；药剂：CPF-PHOX 代表 20%毒死蜱-辛硫磷乳油合剂。下表同。

The data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ level, followed by different capital letters indicate significant difference at $P<0.01$ level by Duncan's multiple tests. CK represents for no-treatment control; Insecticide: CPF-PHOX represents for 20% chlorpyrifos-phoxim EC. The same below.

表 3 不同方法防治韭菜迟眼蕈蚊的产量分析与经济效益评价

Table 3 Yield analysis and economic benefit evaluation of the different control methods against *Bradysia odoriphaga*

药剂 Insecticide	剂量 Dosage (g/hm^2)	产量 Yield (kg/hm^2)	增产率 Increased rate (%)	投入成本 (元/hm^2) Control cost			新增总收益 (元/hm^2) Increased total benefits	投入产出比 Input/output ratio
				材料 Material	人工 Labor	合计 Total		
DDVP	3 000	29 995.47±128.56cC	22.02	240	900	1 140	10 826.46	1∶9.50
	4 500	34 836.21±139.37aA	41.71	360	900	1 260	20 507.94	1∶16.28
	7 500	33 922.04±222.45aA	37.99	600	900	1 500	18 679.60	1∶12.45
MIPC	3 000	29 266.52±114.77dD	19.06	225	900	1 125	9 368.56	1∶8.33
	4 500	30 812.48±219.63cC	25.34	338	900	1 238	12 460.48	1∶10.07
	7 500	32 141.38±177.29bB	30.75	563	900	1 463	15 118.28	1∶10.33
CPF-PHOX	15 000	29 936.29±181.26cC	21.78	233	1 100	1 333	10 708.10	1∶8.03
CK	—	24 582.24±102.54eE	—	—	—	—	—	—

表 4　不同处理后韭菜样本的药剂残留量

Table 4　The residues of insecticides in Chinese chives samples with different treatment

烟剂 Smoke generator				乳油 Emulsifiable concentrate			
检测成分 Detection component	药后间隔 Treatment duration (d)	最大残留限量 Maximum residue limit (mg/kg)	药剂残留量 Residue (mg/kg)	检测成分 Detection component	药后间隔 Treatment duration (d)	最大残留限量 Maximum residue limit (mg/kg)	药剂残留量 Residue (mg/kg)
敌敌畏 Dichlorvos	1	0.20	N.D.	毒死蜱 Chlorpyrifos	1	0.10	6.335
	3		N.D.		7		1.250
	5		N.D.		14		0.445
	7		N.D.		21		0.222
	10		N.D.		27		0.095
	15		N.D.		33		0.066
异丙威 Isoprocarb	1	0.20	7.732	辛硫磷 Phoxim	1	0.05	5.302
	3		4.345		7		3.986
	5		3.146		14		1.135
	7		1.031		21		0.654
	10		0.587		27		0.136
	15		0.186		33		0.048

检出限为 0.01 mg/kg。N.D.= 未检出。

The detection limit is 0.01 mg/kg. N.D.= Not detected.

异丙威残留量为 0.186 mg/kg；20%毒 · 辛乳油在用药后 27 d 检测出毒死蜱残留量为 0.095 mg/kg，用药后 33 d 检测出辛硫磷残留量为 0.048 mg/kg，依照国家标准 GB 2763-2016 中规定的 MRL 标准，10%异丙威烟剂和 20%毒 · 辛乳油的安全间隔期分别为 15 d 和 33 d，即分别在用药至少 15 d 和 33 d 后才能采收和上市，以便为农药的降解提供充足的时间，保证产品安全。

3　讨论

烟剂又称烟雾剂，它是利用点燃时释放的药物有效成分颗粒借助于气流漂浮附着于虫体而触杀害虫。本研究使用烟剂熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏杀效果显著且兼具速效性和持效性，对幼虫的控制虽然表现出了一定程度的滞后，但在最后 1 次施药 7 d 后防治效果超过了 97%，极显著高于生产中普遍使用的毒 · 辛乳油灌根处理（$P<0.01$）。通过结合药剂的致毒效应、经济效益及用药安全进行综合评价，敌敌畏烟剂是温室内防治韭菜迟眼蕈蚊的安全、理想熏蒸剂，其次为异丙威烟剂，生产上可根据实际情况灵活掌握烟剂品种的选择和使用，充分发挥药剂的杀虫功效，从而取得最佳的经济效益。韭菜温室扣棚之初，韭菜迟眼蕈蚊虫态为越冬休眠的老熟幼虫（4 龄幼虫）且龄期一致，15 ℃条件下（接近温室全天气温平均水平）发育至成虫的平均历期约为 10 d（徐蕾等，2016b），因此应用烟剂防治共需施药 2 次，前后间隔 10 d，以熏杀首次处理时尚未羽化出的成虫。

成虫作为下一代幼虫的虫源基础，死亡率直接影响幼虫种群的积累过程，是后期幼虫种群数量波动的关键因子。本研究针对韭菜迟眼蕈蚊应用烟剂熏蒸技术使成虫量得到迅速削减后，对为害作物的幼虫也随之实现有效控制，证明了与“补救性”的幼虫防治不同，成虫防治作为“预防性”防控策略的重要性和优越性。大棚扣膜后，韭菜迟眼蕈蚊休眠老熟幼虫发育迅速并集中羽化，这是一个持续时间短却关键的时期，此阶段有必要利用特定配比的糖醋酒液（王萍等，2011）、韭菜迟眼蕈蚊对环境颜色尤其是黑色和

棕色的趋性（王占霞等，2015）等及时做好成虫的诱集与监测，为预报预警提供数据依据，否则即便多次施烟，也难以收到良好的防治效果（姚浩然，1963）。调查过程中发现，烟剂的燃放位置对防效具有一定影响，推测是与烟雾的空间运行轨迹有关。此外，与空白对照区相比，烟剂处理区的韭菜长势优良、色肉饱满，不但产量有所提高，品质也有明显改善。通过结合韭菜光合作用特性与环境因子的关系，分析其机制为熏蒸时药剂颗粒弥漫在密闭温室空气中所散发的热量提高了棚室内温度，减少了土壤热辐射的散失，随着环境 CO_2 浓度的升高，蔬菜的光合速率加快，植物体内的 C/N 增加，对营养成分及次生抗性物质含量产生影响，从而表现为植物长势强健且品质优异（Bryant *et al*.，1983；Bezemer and Jones，1998；Penuelas *et al*.，2002）。生产中还发现，烟剂一旦过量或长期使用容易导致叶片硬化，此现象需要从植物生理学的角度继续探索作物对药剂成分的吸收机制，药剂对虫体的生物活性作用机理也需进一步探究。

烟剂熏蒸技术巧妙地解决了韭菜迟眼蕈蚊无公害治理的难点，是比较理想的绿色防控手段。接下来将要通过构建环境温湿度、剂量、处理时间等相关因素之间的数学模型来精准定量和完善技术体系，研究共毒系数较高、田间防效良好的混配药剂，提高防治效益，形成详细技术规程，更加科学有效的指导生产实际。以烟剂熏蒸处理后棚室空气中 CO_2 浓度和温度变化作为胁迫因子，以作物-害虫互作关系为主线，以害虫种群动态与作物响应机理相结合，开展开放式大气 CO_2 浓度升高试验（Free-air CO_2 enrichment，FACE），揭示昆虫与植物体在胁迫因子影响下的生理反应机制也是今后研究的方向之一，可为促进未来气候多变环境下东北地区反季节设施韭菜的优质、高产提供有力技术保证。

参考文献 (References)

Abbott WS, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 3(2): 302–303.

An LN, Zhao X, Dong LX, Lu WY, Dong JZ, Wei GS, 2014. Bioactivity and safety evaluation of veratrine 0.5% SL against *Bradysia odoriphaga*. *Agrochemicals*, 53(12): 924–926. [安立娜, 赵鑫, 董立新, 路文雅, 董建臻, 魏国树, 2014. 0.5%藜芦碱可溶液剂对韭蛆的生物活性及安全性评价. 农药, 53(12): 924–926.]

Bezemer TM, Jones TH, 1998. Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO_2: quantitative analyses and guild effects. *Oikos*, 82(2): 212–222.

Bryant JP, Chapin FS, Klein DR, 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 40(3): 357–368.

Cui XQ, Zhang Q, Jiang H, Lin RH, Wang KY, 2012. Acute toxicity evaluation of neonicotinoid insecticides to *Bombyx mori* and observation of toxic symptoms. *Science of Sericulture*, 38(2): 288–291. [崔新倩, 张骞, 姜辉, 林荣华, 王开运, 2012. 新烟碱类杀虫剂对家蚕的急性毒性评价与中毒症状观察. 蚕业科学, 38(2): 288–291.]

Ding XH, Liu FH, Xie YM, Li CM, He J, Fu KY, Tuerxun, Abdurahman H, Abdureyim A, Xu JJ, Guo WC, 2016. Studies on control effect of Asia corn borer, *Pyrausta nubilalis* Guenee in fields and economic benefit evaluation in Xinjiang desert and oasis ecological zone. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 53(4): 663–672. [丁新华, 刘芳慧, 解玉梅, 李翠梅, 何江, 付开赟, 吐尔逊, 阿不都热合曼·胡吉, 阿卜杜热伊木·阿卜杜热西提, 许建军, 郭文超, 2016. 新疆荒漠绿洲生态区玉米螟田间药效研究及经济效益评价. 新疆农业科学, 53(4): 663–672.]

Dong LY, Li SG, Xia W, Liu BC, Zhu ZY, 2004. Controlling effect of chlorpyrifos 40% EC against Chinese chive maggot. *Northern Horticulture*, (3): 84–85. [董立元, 李顺高, 夏伟, 刘宝传, 朱志英, 2004. 40%毒死蜱乳油防治韭菜韭蛆药效试验. 北方园艺, (3): 84–85.]

Fairbrother A, Purdy J, Anderson T, Fell R, 2014. Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 33(4): 719–731.

Finney DJ, 1971. Probit Analysis (3nd edition). Cambridge, England: Cambridge University Press. 9–158.

Hassani AKE, Dacher M, Gary V, Lambin M, Gauthier M, Armengaud C, 2008. Effects of sublethal doses of acetamiprid and thiamethoxam on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Archives Environment Contamination Toxicology*, 54(4): 653–661.

Li H, Zhao YH, Wang QH, Liu F, Mu W, 2016. Toxic characters and toxicity of hexaflumuron against *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang (Diptera: Sciaridae) at different developmental stages. *Journal of Plant Protection*, 43(4): 670–676. [李慧, 赵云贺, 王秋红, 刘峰, 慕卫, 2016. 氟铃脲对韭菜迟眼蕈蚊不同虫态的致毒特点及毒力. 植物保护学报, 43(4): 670–676.]

Li NN, Yang JP, 2012. Toxicity determination of botanical pesticide to larvae of *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang in laboratory and its control effect in fields. *Shandong Agricultural Sciences*, 44(7): 101–103. [李娜娜, 杨建平, 2012. 植物源农药对韭菜迟眼蕈蚊幼虫的室内毒力测定和田间防治效果. 山东农业科学, 44(7): 101–103.]

Li PC, Sun GW, 1989. Development and application of forestry smoke agent in China. *Forestry Science & Technology*, (1): 23–25. [李谱超, 孙国文, 1989. 我国林用烟剂的研制及应用.

林业科技, (1): 23–25.]

Li XX, Ma XD, Xue M, Zhao HP, Li ZX, 2014. Toxic effects of clothianidin and other five kinds of insecticides to *Bradysia odoriphaga*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 41(2): 225–229. [李贤贤, 马晓丹, 薛明, 赵海鹏, 李朝霞, 2014. 噻虫胺等药剂对韭菜迟眼蕈蚊的致毒效应. 植物保护学报, 41(2): 225–229.]

Ma XD, Xue M, Li ZX, Zhao HP, Ji GX, 2015. Toxic effects of five insect growth regulators on chive gnat *Bradysia odoriphaga*. *Journal of Plant Protection*, 42(2): 271–277. [马晓丹, 薛明, 李朝霞, 赵海朋, 纪桂霞, 2015. 五种昆虫生长调节剂对韭菜迟眼蕈蚊的致毒作用. 植物保护学报, 42(2): 271–277.]

Penuelas J, Castells E, Joffre R, Tognetti R, 2002. Carbon-based secondary and structural compounds in mediterranean shrubs growing near a natural CO_2 spring. *Global Change Biology*, 8(3): 281–288.

Song D, Li CR, Jia CH, Zhu XD, He M, 2016. Pesticide residues and food safety of five organophosphorus pesticides used on chinese chives. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1255–1260. [宋丹, 李传仁, 贾春虹, 朱晓丹, 贺敏, 2016. 韭菜上五种有机磷农药的残留监测与安全性评价. 应用昆虫学报, 53(6): 1255–1260.]

Wang HT, Liu XQ, Wang LL, Wang YZ, 2014. Control efficacy of chlorpyrifos 0.5% mixed preparation of pesticide and fertilizer on *Bradysia odoriphaga* in field. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 42(17): 5463–5464, 5536. [王洪涛, 刘学卿, 王丽丽, 王英姿, 2014. 0.5%毒死蜱药肥混剂对韭蛆的田间防治效果. 安徽农业科学, 42(17): 5463–5464, 5536.]

Wang P, Qin YC, Pan PL, Li PY, 2011. The analysis of the volatile component from the sugar-acetic acid-ethanol water solutions and their trapping effects on *Bradysia odoriphaga*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(6): 513–520. [王萍, 秦玉川, 潘鹏亮, 李鹏燕, 2011. 糖醋酒液对韭菜迟眼蕈蚊的诱杀效果及其挥发物活性成分分析. 植物保护学报, 38(6): 513–520.]

Wang ZX, Fan F, Wang ZY, Han YH, Yang XF, Wei GS, 2015. Effects of environmental color on biological characteristics of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(5): 553–558. [王占霞, 范凡, 王忠燕, 韩艳华, 杨小凡, 魏国树, 2015. 环境颜色对韭菜迟眼蕈蚊生物学特性的影响. 昆虫学报, 58(5) : 553–558.]

Wu QJ, Yu Y, Gu XS, Liu F, Song DL, Wer GS, He M, Liu CZ, Xu GQ, Zhang YJ, 2016. The occurrence of, and damage caused by, root maggots on Chinese chives and integrated management techniques to control these pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1165–1173. [吴青君, 于毅, 谷希树, 刘峰, 宋敦伦, 魏国树, 贺敏, 刘长仲, 许国庆, 张友军, 2016. 韭菜根蛆的发生危害及综合防治技术研究. 应用昆虫学报, 53(6): 1165–1173.]

Xu L, Zhao JQ, Xu GQ, Zhong T, Zhao TH, 2015. Artificial induction of sexuales in *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(6): 1429–1437. [徐蕾, 赵季秋, 许国庆, 钟涛, 赵彤华, 2015. 室内人工诱导大豆蚜产生有性世代的研究. 应用昆虫学报, 52(6): 1429–1437.]

Xu L, Zhao TH, Liu PB, Zhong T, Wang Z, Xu GQ, 2016a. Olfactory behavioral responses of *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1329–1337. [徐蕾, 赵彤华, 刘培斌, 钟涛, 王哲, 许国庆, 2016a. 韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 嗅觉行为反应. 应用昆虫学报, 53(6): 1329–1337.]

Xu L, Zhao TH, Liu PB, Zhong T, Wang Z, Xu GQ, 2016b. Effects of temperature on development of *Bradysia odoriphaga* (Yang *et* Zhang). *Liaoning Agricultural Sciences,* (5): 84–85. [徐蕾, 赵彤华, 刘培斌, 钟涛, 王哲, 许国庆, 2016b. 温度对韭菜迟眼蕈蚊发育的影响. 辽宁农业科学, (5): 84–85.]

Yang TT, 2004. The application technique of smoke generator in greenhouse vegetables. *Journal of Changjiang Vegetables*, (2): 30–31. [杨田堂, 2004. 烟剂农药在棚室蔬菜上的应用技术. 长江蔬菜, (2): 30–31.]

Yao HR, 1963. Prevention and control of agricultural diseases and insect pests by using smoke agents. *Scientia Agricultura Sinica*, 4(3): 32–35. [姚浩然, 1963. 利用烟剂防治农业病虫害的问题. 中国农业科学, 4(3): 32–35.]

Zhang JT, Xiong GH, He JG, Xu Y, Wei LX, Peng YH, 2016. Fumigation activities of three essential oils against adult *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(6): 641–646. [张俊天, 熊国红, 何建国, 徐颖, 魏丽秀, 彭映辉, 2016. 三种植物精油对家蝇成虫的熏蒸活性. 昆虫学报, 59(6): 641–646.]

Zhang M, Lv AQ, Chen ZF, Li JJ, Ma PF, Li XX, Wang HP, 2016. The current situation and strategies of chive germplasm development research in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 17(3): 503–506. [张明, 吕爱琴, 陈中府, 李纪军, 马培芳, 李锡香, 王海平, 2016. 我国韭菜资源研究现状和种质创新研究建议. 植物遗传资源学报, 17(3): 503–506.]

Zhang P, Liu F, Mu W, Wang QH, Li H, Chen CY, 2014. Life table study of the effects of sublethal concentrations of thiamethoxam on *Bradysia odoriphaga* Yang and Zhang. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 111(1): 31–37.

Zhang P, Mu W, Liu F, He M, Luo MM, 2015a. Adsorption and leaching of thiamethoxam in soil. *Environmental Chemistry*, 34(4): 705–711. [张鹏, 慕卫, 刘峰, 贺敏, 罗梅梅, 2015a. 噻虫嗪在土壤中的吸附和淋溶特性. 环境化学, 34(4): 705–711.]

Zhang P, Zhao YH, Han JK, Zhai YB, Mu W, Liu F, 2015b. Control effects of thiamethoxam and clothianidin against *Bradysia odoriphaga* with different application methods. *Journal of Plant Protection*, 42(4): 645–650. [张鹏, 赵云贺, 韩京坤, 翟永彪, 慕卫, 刘峰, 2015b. 不同施药方式下噻虫嗪和噻虫胺对韭菜迟眼蕈蚊的防治效果. 植物保护学报, 42(4): 645–650.]

Zhou FY, Zhu GD, Zhao HP, Wang Z, Xue M, Li XX, Xu HQ, Ma XD, Liu YY, 2016. Sterilization effects of adult-targeted baits containing insect growth regulators on *Delia antiqua*. *Scientific Reports*, (6): 32855.

Zhu GD, Ma XD, Xue M, Ji GX, Luo Y, Sun X, 2016. Toxicity of botanic insecticide to *Bradysia odoriphaga* larvae and application value assessment. *Northern Horticulture*, (22): 135–139. [祝国栋, 马晓丹, 薛明, 纪桂霞, 罗茵, 孙夏, 2016. 植物源杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊幼虫毒力及应用价值评价. 北方园艺, (22): 135–139.]

Zhuang QY, Zhang SC, Zhai YF, Yu Y, Zhou XH, 2015. Control efficiency of different types and formulation of insecticide against *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang. *China Plant Protection*, 35(3): 78–80. [庄乾营, 张思聪, 翟一凡, 于毅, 周仙红, 2015. 不同农药种类及剂型防治韭菜迟眼蕈蚊效果比较. 中国植保导刊, 35(3): 78–80.]