苹果蠹蛾迷向防治技术效果初报*

朱虹昱[1,2] 刘 伟[1,2] 崔艮中[3] 张增福[4] 张润志[1,5**]

(1. 中国科学院动物研究所 动物进化与系统学重点实验室 北京 100101;
2. 中国科学院研究生院 北京 100049;3. 北京中捷四方生物科技有限公司 北京 100093;
4. 宁夏回族自治区农业技术推广总站 银川 750001;5. 农业虫害鼠害综合治理技术国家重点实验室 北京 100101)

摘 要 2009 至 2011 年,分别在新疆、甘肃和宁夏的 3 个实验点进行了苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*(L.)国产迷向剂的释放效果研究。结果发现,在进行了迷向处理之后,果园中雄虫平均净诱捕量下降 28.6% 至 100%,平均下降程度为 74.1%;迷向处理区中成虫平均诱捕量明显减少,对照区域则存在诱集高峰。蛀果率及树干结茧量的调查发现,2010 年和 2011 年,与对照区相比较,迷向处理区域的蛀果率下降程度分别为 32.7% 和 91.0%;2009 年,迷向处理区的树干结茧(蛹)数量比对照区平均降低 60.5%。本研究初步证实了国产迷向制剂对苹果蠹蛾具有防治效果。

关键词 苹果蠹蛾,迷向,国产制剂,效果验证

Field trials using domestic sex pheromone dispensers to disrupt *Cydia pomonella* mating behavior

ZHU Hong-Yu[1,2] LIU Wei[1,2] CUI Gen-Zhong[3] ZHANG Zeng-Fu[4] ZHANG Run-Zhi[1,5**]

(1. CAS Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Pherobio Technology Co. Ltd., Beijing 100093, China; 4. Ningxia Agricultural and Technology Extension Station, Yinchuan 750001, China; 5. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Beijing 100101, China)

Abstract The effectiveness of domestic sex-pheromone dispensers at disrupting the mating behavior of codling moths was assessed at different experimental sites between 2009 and 2011. The rate of decline of trapped male moths ranged from 28.6% to 100%, with an average of 74.1%. After mating disruption, the average number of males trapped was much higher than at the control sites, which had obvious trapping peaks. The proportion of fruit damaged in treatment and control areas in 2010 and 2011, was 32.7% and 91.0%, respectively. In 2009 there was, on average, 60.5% fewer cocoons and pupae in the trunks of fruit trees in treatment areas than in the control areas. These results suggest that domestic sex pheromone dispensers are effective in the control of codling moth in orchards.

Key words *Cydia pomonella*, mating disruption, sex pheromone dispensers, efficacy verification

在使用化学防治导致的农药残留和成虫抗性等问题逐渐突出的背景下,使用性信息素迷向防治苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*(L.)得到重视并开始逐步得以应用(Rothschild, 1982; Witzgall *et al.*, 2008)。1973 年,在苹果蠹蛾的性信息素主要成分得到鉴定之后(Roelofs *et al.*, 1971),世界上首次进行了苹果蠹蛾性信息素的迷向实验(Cardé and Minks, 1995)。

迷向又称阻断交配(mating disruption, MD),主要通过使用高浓度的性信息素进行弥散干扰,阻断和延迟害虫交配从而达到防治的目的。该防治技术具有极强的物种专一性,可同时结合其他方法进行综合防治,是进行苹果蠹蛾广域有害生物综合治理(area-wide integrated pest management,

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903042)、973 计划课题(2009CB119204)。

**通讯作者,E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn

收稿日期:2011-12-14,接受日期:2011-12-23

AW-IPM)的理论基础。目前最新数据显示,全球范围内使用迷向进行苹果蠹蛾的防治总面积为210 000 hm^2,使用人工合成信息素的总量已超过25 000 kg(倪长春,2008;Witzgall *et al.*, 2010)。

国外很多地区已进行过苹果蠹蛾的迷向实验研究(表1)。例如1978年到1979年间在美国俄勒冈州Medford地区梨园中进行的迷向实验,对苹果蠹蛾的控制效果达到了90%以上(Moffitt and Westigard, 1984);1989至1990年,在美国弗吉尼亚州的Dalevile和Criglersville开展的迷向处理达到了85%以上的控制效果(Pfeiffer *et al.*, 1993)。Judd等(1997)于1989年到1992年在加拿大不列颠哥伦比亚省Cawston进行的迷向研究结果显示,与对照果园相比,迷向处理园中信息素诱捕器的诱捕量下降了52%;在迷向果园中平均蛀果率不超过0.7%,而未进行迷向处理的果园平均蛀果率则高达48.9%。在对迷向效果进行验证时,大部分的研究主要集中在蛀果率、信息素诱捕器诱捕量以及越冬种群数量(结茧数量)等指标上。

表1 国内外一些苹果蠹蛾迷向实验研究结果

Table 1 Some domestic and foreign mating disruption results to the codling moth

年份 Year	地点 Location	处理区平均诱捕量 Average trapped adults in MD areas	对照区平均诱捕量 Average trapped adults in control areas	迷向率(%) Mating disrupted rate(%)	1代蛀果率(%) Injury ratio of the 1st generation in MD areas(%)	2代蛀果率(%) Injury ration of the 2nd generation in MD areas(%)	对照区1代蛀果率(%) Injury ratio of the 1st generation in control areas(%)	对照区2代蛀果率(%) Injury ratio of the 2nd generation in control areas(%)
1978	Medford, OR	0.1	2.9	96.6	—	2.9	—	22.3
1979	Medford, OR	1.2	26.2	95.4	—	14.8	—	82.4
1989	Daleville, VA	0.1	0.7	85.7	0	0.9 ± 0.6	—	39.5 ± 5.2
1989	Criglersville, VA	0.8	6.7	88.1	1.0 ± 0.8	16 ± 3.7	23.5 ± 4.7	26.5 ± 4.3
1990	Criglersville, VA	1.8	17.5	89.7	12.5 ± 3.9	17 ± 2.4	25.5 ± 4.4	20 ± 3.9
1990*	Cawston, British Columbia	27.5	105.0	73.8	—	0.21 ± 0.08	—	46.7 ± 2.7
1991	Cawston, British Columbia	2.0	—	—	—	2.40 ± 1.02	—	56.7 ± 2.67

注:* 这里选择了其中1990—1991年Cawston所有处理中的一组迷向果园及其对照的结果(Judd *et al.*, 1997)。

* The chosen is from results of one MD treatment orchards and their controls in Cawston from 1990 to 1991 (Judd *et al.*, 1997).

在我国,苹果蠹蛾迷向防治研究始于20世纪80年代。1982至1983年,中国科学院新疆化学所的余河水等(1985)使用类似普通监测用的诱芯,每年在接近1 hm^2的实验果园释放450 mg左右剂量的性信息素,获得了苹果蠹蛾交配率下降55%~75%、蛀果率下降35%~77%的防治效果。翟小伟(2009)在甘肃进行的迷向实验结果表明,使用单个信息素含量为0.25 mg的诱芯,采用88根/667m^2的悬挂密度,对于667 m^2面积的果园进行处理,达到了第1代苹果蠹蛾成虫的诱捕数量降低75%、第1代和第2代成虫蛀果率下降69%和72%、树干结茧数量下降69%和76%的控制效果。

本实验通过在不同地点3年间的迷向发散器的田间释放,获得了苹果蠹蛾性信息素迷向防治的初步确切效果,为今后我国苹果蠹蛾更广范围的综合治理工作提供了参考。

1 材料与方法

1.1 实验时间、地点及迷向设置

从 2009 年开始至 2011 年,于新疆、甘肃和宁夏进行了连续 3 年的迷向实验设置。整个实验分 5 个处理组,每个小组均设置对照果园或对照区以观察比较迷向效果。

为了保证迷向效果在整个生长季内持续有效,所有迷向设置处理均进行 2 次,第 1 次在当地苹果蠹蛾越冬代羽化高峰时(4 月底 5 月初)进行,第 2 次则在当地第 2 代羽化高峰时(7 月底 8 月初)进行,各处理迷向发散器设置密度相同(表 2)。使用迷向剂产品为北京中捷四方生物科技有限公司提供的"诱尔牌"迷向发散器,其为长约 15 cm 的封闭透明塑料软管,内含高浓度苹果蠹蛾性信息素溶液。在具体悬挂时,将该迷向发散器捆绑悬挂于树冠中上部的二三级枝条上,高度在 2 m 以上,尽量避开阳光直射,以保证达到正常的释放时间和释放效果。

表 2　2009—2011 年迷向设置情况

Table 2　Mating disruption settings between 2010—2011

年份 Year	处理组 Treatments	地点 Locations	迷向区面积 MD areas (hm^2)	迷向发散器密度(根/ hm^2) Density of dispensers	迷向区诱捕器设置数量(部) Traps amount in MD areas	对照区面积 Control areas (hm^2)	对照区诱捕器设置数量(部) Traps amount in control areas
2009	1	新疆阿克苏 Aksu, Xinjiang	0.67	13.2	12	0.67	20
	2	新疆阿克苏 Aksu, Xinjiang	1.33	6.5	6	0.33*	5
	3	新疆阿克苏 Aksu, Xinjiang	0.67	18.0	12	0.60	10
2010	4	甘肃张掖 Zhangye, Gansu	1.33	60.0	15	0.80	10
2011	5	宁夏中卫 Zhongwei, Ningxia	2.67	40.1	41	1.00	12

注:* 该对照区在迷向区域外围,此为估算面积。

* The control area is in the external of MD area, by our evaluating.

1.2　迷向效果验证方法

1.2.1　性信息素诱捕器调查　在果园中所有区域内按照 1 部/667 m^2 的密度悬挂苹果蠹蛾三角式诱捕器(设置见表 2)。诱捕器中的诱剂为美国 BRI(Bedoukian Research Inc.)公司合成的苹果蠹蛾信息素(反, 反 - 8, 10 - 十二碳二烯 - 1 - 醇),纯度约为 97%;诱芯为反口小橡皮塞,形状中空,每个重约 0.3 ~ 0.5 g,由中国科学院动物研究所研制生产(专利号:CN201217257);每个诱芯中性信息素的含量为 1 mg,采用微量注射器滴定法制备。诱捕器为白色三角粘胶式诱捕器(中捷四方生物科技有限公司生产),由钙塑瓦楞板制成,其横向截面为边长 18 cm 的等边三角型,其纵向长度为 25 cm,底部放置粘虫胶板(长 25 cm × 宽 18 cm)。每周固定时间调查诱捕器雄性成虫诱捕数量,并及时进行诱捕器诱芯和胶板的更换和维护,以保证监测结果的可靠。

1.2.2　蛀果率调查　在果树结实期,每月固定时间(6 月至 9 月月中)在果园迷向处理区及对照区抽样检查蛀果率情况。根据果园面积大小抽取不同数量的果树进行调查,大约按照 1 株/667 m^2 的调查密度进行。调查时,在选取果树的上下两层各随机抽取 50 个果实,检查果实是否已被蛀食。

1.2.3　树干结茧(蛹)数量调查　在 2009 年的处理 1 ~ 3 中,在所有果园内分别按对角线(前期)和棋盘式(后期)的方式每周抽取 10 株果树,进行全株的老翘树皮刮除操作。操作时详细检查并记录树干及侧枝树皮下出现的茧、蛹、幼虫、茧壳、蛹壳、死蛹的数量,以期了解果园内苹果蠹蛾虫口数量的变化情况。

2 结果与分析

2.1 诱捕器调查

在 3 年的调查过程中,各个处理组和对照组相比较,苹果蠹蛾雄性成虫平均净诱捕量下降为 28.6% ~100%,平均下降程度为 70.2%。3 个调查地区的平均净诱捕量分别下降 64.3%、72.4% 和 85.7%(表 3)。

表 3 迷向果园及处理区平均净诱捕量比较

Table 3 Comparison of average trapping amount between mating disruption orchards and control areas

时间地点 Date and locations	处理 Treatments	平均净诱捕量 Average net trapped amount		净诱捕量降低(%) Decline of net trapped amount
		迷向 MD	对照 Control	
新疆 2009 Xinjiang 2009	处理 1 Treatment 1	0	0.03 ± 0.01**	100.0
	处理 2 Treatment 2	0.5 ± 0.3	1.3 ± 0.3	64.3
	处理 3 Treatment 3	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	28.6
甘肃 2010 Gansu 2010	处理 4 Treatment 4	1.1 ± 0.3	3.9 ± 1.5*	72.4
宁夏 2011 Ningxia 2011	处理 5 Treatment 5	0.01 ± 0.01	0.07 ± 0.03	85.7

注:* 差异显著(*t* 检验) represents significant difference by *t* test ($P < 0.05$); ** 差异极显著(*t* 检验) represents extramely significant difference by *t* test ($P < 0.01$)。

从实验果园苹果蠹蛾诱集平均数的图表(图 1)可以看出,每个处理组的迷向果园(图 1 中实线)在进行了第 1 次迷向处理之后,诱捕器诱捕到的成虫数量明显减少;在第 2 次进行处理之后,除了处理 3 之外,迷向果园内再没有成虫诱捕高峰出现。而在对照区内,均可以看到有明显的成虫诱捕高峰存在(图 1 中虚线)。

2.2 蛀果率调查

蛀果率调查结果显示,处理组 1 和 3 中,迷向处理区和对照区的平均蛀果率在 2 个处理中分别为 0.3% 和 0.05%,以及 3.4% 和 0.03%,均出现迷向处理区蛀果率明显高于对照区域的情况;处理组 2 由于无对照区,因此没有比较结果;在处理组 4 和 5 中,迷向处理区域和对照区相比较,蛀果率均呈正常下降趋势,迷向处理区和对照区的蛀果率在 2 个处理中分别为 34.5% 和 51.3%,以及 1.0% 和 11.1%,在迷向处理区内蛀果率均有所下降,下降率分别为 32.7% 和 91.0%(图 2)。

2.3 树干结茧(蛹)数量调查

该项调查主要针对 2009 年的处理 1 ~ 3 进行,其他的处理中则未进行该项调查。在处理 1 中,迷向果园的树干结茧(蛹)数量为平均(4.2 ± 1.6)头/10 株,对照区平均数量则为(10.7 ± 2.9)头/10 株,对照区比迷向处理区的树干结茧(蛹)数量降低了 60.5%(图 3)。处理 2 由于无对照果园而仅有处理区故未进行比较;在处理 3 的处理区内,树干结茧(蛹)数量反而出现了上升的情况。

3 讨论

3.1 迷向验证方法及效果

苹果蠹蛾成虫交配受到众多因素的影响,如信息素混合情况、释放率以及在空气中的浓度等。准确测量这些因素数据即可得知迷向确切的效果(Bengtsson *et al.*, 1994)。但是这些数据的获取需要高级实验仪器的测定,在田间非常不便,因此常使用如交配率等容易调查的生物学、行为学数据作为迷向效果的直接证明。当然在实际应用中,对于交配率的调查也比较困难。苹果蠹蛾的生态学特征表明,对可孵化卵数量动态的调查对

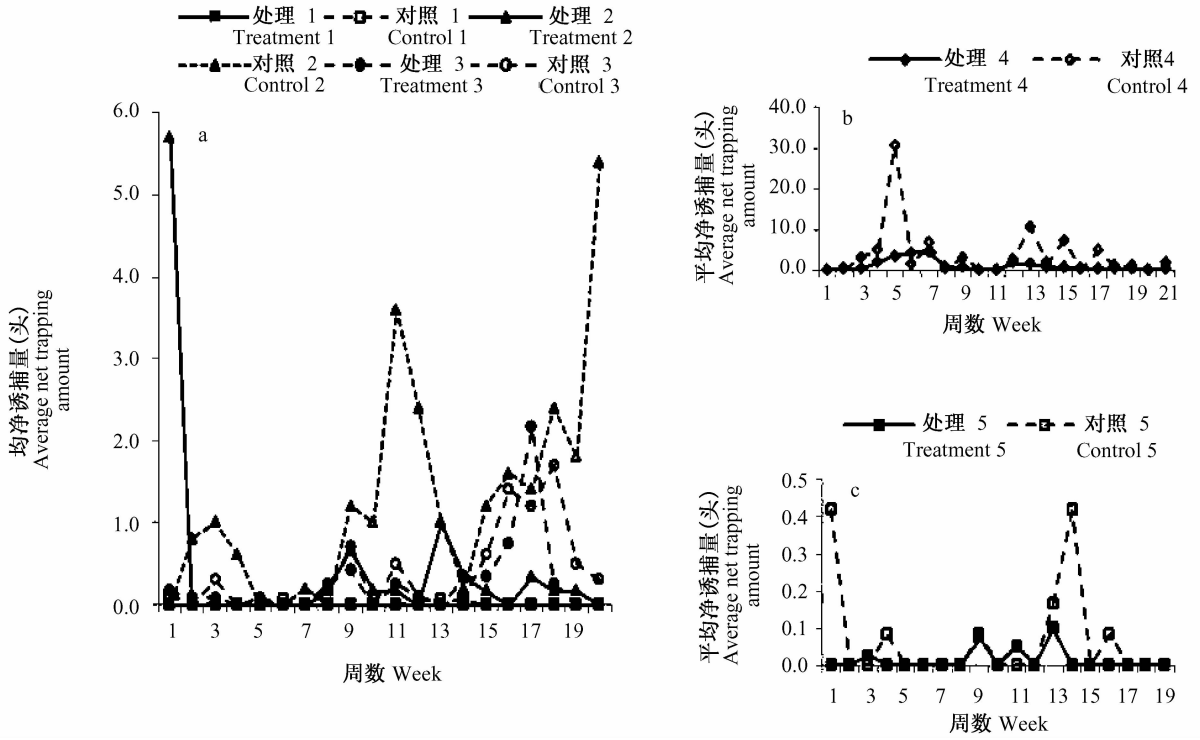

图 1　2009—2011 年迷向处理净诱捕量变化

Fig. 1　Net amount variation in mating disruption area (2009—2011)

a. 2009 新疆; b. 2010 甘肃; c. 2011 宁夏。

a. 2009 Xinjiang; b. 2010 Gansu; c. 2011 Ningxia.

于了解其种群数量的变化非常重要(Wearing, 1979)。本实验 3 年的调查过程中,主要使用蛀果率调查作为迷向的直接证据反映迷向的最终效果,辅以诱捕器(由于设置区域在处理区域外围,故未进行蛀果率调查,所以试验数据缺对照 2)的使用作为迷向效果的间接和快速反映,并针对幼虫动态进行结茧情况调查以获知迷向效果的间接影响(仅处理组 1 ~ 3)。蛀果率的结果证实,除去一些初始条件不理想、果树种植情况混杂、存在梨小食心虫共同发生的果园之外(处理组 1 ~ 3),迷向处理区域内的果园蛀果率均呈正常的下降趋势。果树品种和梨小食心虫对于蛀果率调查的影响主要存在于个别栽种有黄元帅、砀山梨等易遭苹果蠹蛾和梨小食心虫共同危害的果园,并且主要发生在新疆的处理组内。由于新疆阿克苏地区历来是库尔勒香梨、红富士苹果等果树的常规种植区,并且梨小食心虫的发生危害一直较为严重(林伟丽等,2006;巴哈提古丽,2009),因此难免出现此种影响。对于诱捕器的诱捕结果证实,在迷向处理之后,处理组和对照组比较均发生不同程度的诱捕量下降,并使成虫发生高峰消失,这在所有迷向处理果园中均能明显看到。另外从树干结茧数量的结果可以看出,除处理组 1 得到迷向区结茧数量有大幅下降之外,处理组 3 仍出现了相反的情况。综合几项调查结果,可知单一使用诱捕器进行迷向效果的监测并不完全可靠,Witzgall 等(2008)也明确表示,仅通过诱捕器监测到的种群数量减少无法准确判断迷向的实际效果。但实际上在具体的调查中,单一使用任何一种方法进行迷向效果监测均不完全可靠,必须分别针对蛀果率、产卵、结茧等情况共同进行调查,才能较为可靠的说明迷向效果,否则很容易出现某一个因素引起的数据偏差,而导致实验结果与实际效果存在明显差异的情况。

3.2　迷向应用的前提条件和限制因素

在应用迷向时,将人工合成的苹果蠹蛾性信息素尽可能大范围地施放在苹果蠹蛾危害的果园内,保持空气中有持续的、足够浓度的用以有效迷

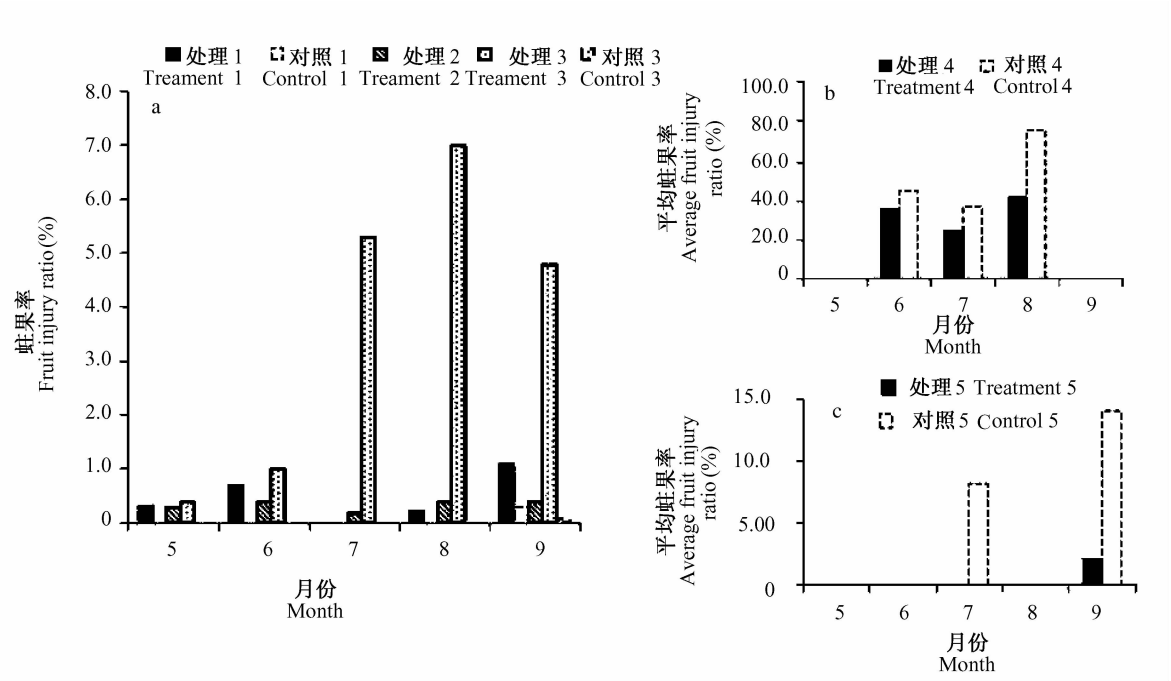

图 2 2009—2011 年迷向处理蛀果率变化

Fig. 2 Fruit injury ratio variation in mating disruption area between (2009—2011)

a. 2009 新疆; b. 2010 甘肃; c. 2011 宁夏。

a. 2009 Xinjiang; b. 2010 Gansu; c. 2011 Ningxia.

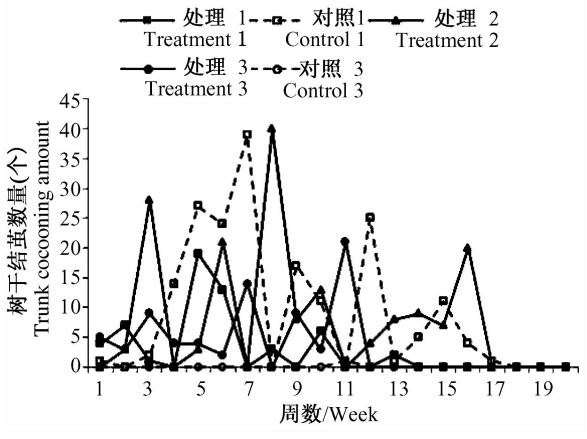

图 3 2009 年处理组 1 ~ 3 的树干结茧情况

Fig. 3 Trunk cocooning of treatment 1—3 in 2009

向的弥散信息素是必要的前提条件。理想状态下,果园中果树各个部位附近的空气中都应充满性信息素的气味(Rothschild, 1982; Witzgall *et al.*, 2008)。Charmillot(1990)和 Cardé 和 Minks(1995)也曾经提出过一些迷向需要严格控制的前提理论条件,如对实验果园面积、隔离防止受孕雌蛾迁入、设置缓冲区、果树种植情况、初始种群数量密度、无其他控制措施干扰以及在同一地点长期进行释放等都有严格的规定,因为任何一个因素都有可能导致最后迷向的失败。所有这些条件的限制反应了迷向的可行性,但是事实上,拥有所有这些条件的果园在实际应用中很难找到。

迷向在更大的范围内会更有效,这是由于在更大的范围内能够减少怀卵雌蛾迁入处理区域的数量,同时也在于均匀的信息素弥散能够更容易达成(从而产生更好的效果)。不完全的信息素弥散,特别是在作物边缘区域的信息素浓度不均,是阻断交配的一大阻碍(Koch *et al.*, 1997)。这点已被空气信息素浓度的田间触角电位测定所证实(Milli *et al.*, 1997)。边缘效应在大面积范围内进行处理的时候会变得可以忽略。Thomson 等(1999)认为苹果蠹蛾控制的最佳地点应具备信息素均匀弥散的地形条件, 至少 1 hm^2 大的正方形而非细长条的栽有小树的平坦果园最为理想。本实验选择的迷向果园的最小面积(加对照区)至少为 1.33 hm^2 左右,最大可达 3.33 hm^2 以上,并且在果园的边缘均进行了迷向发散器的加倍悬挂处理,以隔离怀卵雌虫的迁飞进入。但是在一些发

生情况较为严重的处理区如处理 3 的果园,受周围其他危害果园的影响较大。

较低的种群数量是有效迷向的一个主要的前提条件(Cardé and Minks, 1995)。每公倾越冬幼虫 1 000 头是使用单一迷向进行苹果蠹蛾防治的阈值,否则就应该结合颗粒体病毒以及适当的化学防治等其他手段,才能起到较好的防治效果(Charmillot, 1990; Barnes *et al.*, 1992; Knight *et al.*, 1995; Gut and Brunner, 1998; Thomson *et al.*, 1999; Witzgall *et al.*, 2008)。此外,应用迷向法防治苹果蠹蛾需要在孤立果园中进行,以避免或排除已交配雌蛾的迁入(McDonough *et al.*, 1994; Welter *et al.*, 2005)。本实验中选择的迷向果园,尤其是处理 3 和 4 中的果园,均存在初始虫口密度偏高的问题。因此迷向信息素在空气中的弥散作用很容易被高密度下苹果蠹蛾成虫间通过其他如视觉等通讯手段代替,从而造成防治效果的降低。但是在高密度种群数量的果园内,迷向效果更加能够通过蛀果率以及诱捕器诱捕数量较高的下降幅度得以体现,但是需要辅助其他防治手段如适量的化学农药喷洒和物理、农业防治措施的应用,将整个果园的苹果蠹蛾危害情况有效降低到经济阈值之下。

影响迷向作用效果的自然因素主要为空气流动、降水及日光。在生长季大风频繁的实验果园,迷向发散器释放出的信息素无法完整的弥散至果树的各部位的空气中,因此会出现迷向的"空白"区域。降水的影响与风的影响相类似,且降水能够将叶片及植株上附着的少量信息素也冲刷干净。日光实质上是与高温一同作用的,迷向发散器内信息素的释放速率在它们的共同影响下会明显加快,且日光直射还能促使某些迷向剂的分解。Witzgall 等(2008)提到,次优的天气情况,比如阴天、多云时,信息素处理的效果会比夏天日照强烈时更好。本实验在设置迷向发散器时均已考虑到天气等影响,尽量将其悬挂于荫凉遮蔽的内部枝条之上,以减少以上因素的影响。

3.3　迷向剂型剂量的选择

在苹果蠹蛾信息素中,除主要成分反,反 -8,10 - 十二碳二烯 -1 - 醇外,还含有其他几种不同的几何异构体。而目前被广泛使用的苹果蠹蛾迷向发散器均含有反,反 -8,10 - 十二碳二烯 -1 - 醇、十二碳 -1 - 醇、十四碳 -1 - 醇这 3 种化合物,但后 2 种物质在田间的诱集作用还未得到证实。不饱和单键烷醇如反 -8 - 十二烷醇和反 -9 - 十二烷醇等物质添加到苹果蠹蛾信息素发散器的配方当中时,可能会提高干扰交配的效果(Brown *et al.*, 1992; Knight *et al.*, 1995)。一般的思维均认为,越是接近天然信息素的化合物应当具有更好的迷向效果。但是最新的研究显示,使用较纯的反,反 -8,10 - 十二碳二烯 -1 - 醇作为迷向主要制剂效果更好、成本更低(Witzgall *et al.*, 2010)。唯一需要注意的是苹果蠹蛾雄性成虫可能对于该单一组分发生耐受性适应从而降低迷向效果。

关于信息素释放剂量,普遍的标准是在一个生长季内达到 10 ~ 100 g/hm^2 的释放量,即空气中的浓度弥散水平至少高于 1 ng/m^3(Bengtsson *et al.*, 1994; Cork *et al.*, 2008)。目前苹果蠹蛾迷向的释放剂量标准为 500 ~ 1 000 个发散器/公顷(封闭聚乙烯小管),即可达到有效的防治效果(McDonough *et al.*, 1992; Pfeiffer *et al.*, 1993)。Witzgall 等(2008)建议,在整个苹果蠹蛾生长季内的迷向信息素释放量应至少达到 100 g/ hm^2 才能取得较好的效果。

本实验中使用的苹果蠹蛾迷向发散器为北京中捷四方生物科技有限公司生产的封闭中空聚氯乙烯小管,内部充满了苹果蠹蛾信息素溶液(2009 年处理 1 ~ 3 使用的迷向发散器产品内部充满的是含有苹果蠹蛾信息素和梨小食心虫信息素的混合溶液,对苹果蠹蛾及梨小食心虫均有效果)。该产品未标明具体的信息素含量,但据该公司数据,该发散器的建议使用密度为 60 根/667 m^2,有效释放时间为 2 个半月至 3 个月之间。

3.4　迷向时机的确定

一般来讲,使用迷向法进行控制苹果蠹蛾时,在每个生长季内的首次处理时间应和当地越冬代成虫的羽化时间相吻合,即略微提前进行释放。按照物候来说,在果园果树的扬花期进行迷向剂释放即可。当然,通过当地之前较稳定的正常气象条件计算卵孵化需要的有效积温,并减去其卵发育所需历期同样可以获知迷向剂设置的准确时间点。对于越冬代进行的迷向处理,是整个生长季内最为重要的一次。但 Cardé 和 Minks(1995)

也指出,迷向的效果有时与每年世代数有一定关系。在我国苹果蠹蛾发生地区,由于一般 1 年发生 2 ~3 代,因此 1 年进行 2 次迷向释放是比较合理而又经济的选择。本实验即均采取该方法进行。

致谢:本实验得到了甘肃省植保植检站蒲崇建站长、姜红霞科长,张掖市植保植检站张建朝站长以及新疆阿克苏地区林科所孙世国所长的大力支持。另外,在实验的具体开展和实施中得到了中国科学院动物研究所杜磊博士以及内蒙古农业大学满沛同学的协助,外来物种鉴定与控制研究组的刘宁老师也提供了很多实验材料准备以及数据分析等方面的帮助,在此一并表示感谢!

参考文献(References)

Barnes MM, Millar JG, Kirsch PA, Hawks DC, 1992. Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) control by dissemination of synthetic female sex pheromone. *J. Econ. Entomol.*, 85(4):1274—1277.

Bengtsson M, Karg G, Kirsch PA, Löfqvist J, Sauer A, Witzgall P, 1994. Mating disruption of pea moth (*Cydia nigricana* F.) (Lepidoptera: Tortricidae) by a repellent blend of sex pheromone and attraction inhibitors. *J. Chem. Ecol.*, 20(4):871—887.

Brown DF, Knight AL, Howell JF, Sell CR, Krysan JL, Weiss M, 1992. Emission characteristics of a polyethylene pheromone dispenser for mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.*, 85(3): 910—917.

Cardé RT, Minks AK, 1995. Control of moth pests by mating disruption: Successes and constraints. *Annu. Rev. Entomol.*, 40(1):559—585.

Charmillot PJ, 1990. Mating disruption technique to control codling moth in western switzerland // Ridgway RL, Silverstein RM, Inscoe MN (eds.). Behavior-modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants. New York & Basel: Marcel Dekker Inc. 165—182.

Cork A, De Souza K, Hall DR, Jones OT, Casagrande E, Krishnaiah K, Syed Z, 2008. Development of pvc-resin-controlled release formulation for pheromones and use in mating disruption of yellow rice stem borer, *Scirpophaga incertulas*. *Crop Prot.*, 27(2):248—255.

Gut LB, Brunner JF, 1998. Pheromone-based management of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in washington apple orchards. *J. Agric. Entomol.*, 15(4):387—405.

Judd GJR, Gardiner MGT, Thomson DR, 1997. Control of codling moth in organically-managed apple orchards by combining pheromone-mediated mating disruption, post-harvest fruit removal and tree banding. *Entomol. Exp. Appl.*, 83(2):137—146.

Knight AL, Howell JF, McDonough LM, Weiss M, 1995. Mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with polythylene tube dispensers: Determining emission rates and the distribution of fruit injuries. *J. Agric. Entomol.*, 12(2/3):85—100.

Koch UT, Lüder W, Clemenz S, Cichon LI, 1997. Pheromone measurements by field eag in apple orchards. *IOBC Wprs. Bull.*, 20:181—190.

McDonough LM, Aller WC, Knight AL, 1992. Performance characteristics of a commercial controlled-release dispenser of sex pheromone for control of codling moth (*Cydia pomonella*) by mating disruption. *J. Chem. Ecol.*, 18 (12):2177—2189.

McDonough LM, Davis HG, Chapman PS, Smithhisler CL, 1994. Codling moth (*Cydia pomonella*): Disruptants of sex pheromonal communication. *J. Chem. Ecol.*, 20 (1): 171—181.

Milli R, Koch UT, de Kramer JJ, 1997. Eag measurement of pheromone distribution in apple orchards treated for mating disruption of *Cydia pomonella*. *Entomol. Exp. Appl.*, 82 (3):289—297.

Moffitt HR, Westigard PH, 1984. Suppression of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) population on pears in southern oregon through mating disruption with sex pheromone. *J. Econ. Entomol.*, 77(6):1513—1519.

Pfeiffer D, Kaakeh W, Killian J, Lachance M, Kirsch P, 1993. Mating disruption for control of damage by codling moth in virginia apple orchards. *Entomol. Exp. Appl.*, 67 (1):57—64.

Roelofs W, Comeau A, Hill A, Milicevic G, 1971. Sex attractant of the codling moth: Characterization with electroantennogram technique. *Science*, 174(4006):297—299.

Rothschild G, 1982. Suppression of mating in the codling moth with synthetic sex pheromone and other compounds // Kydonieus AF, Beroza M (eds.). Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems. Boca Raton, FL: CRC Press. 117—143.

Thomson DR, Gut LJ, Jenkins JW, 1999. Pheromones for Insect Control: Strategies and successes // Hall FR, Menn JJ

(eds.). Biopesticides: Use and Delivery. New Jersey: Humana Press. 385—412.

Wearing C, 1979. Integrated control of apple pests in new zealand 10. Population dynamics of codling moth in Nelson. *New Zeal. J. Zool.*, 6:165—199.

Welter SC, Pickel C, Millar JG, Cave F, Van Steen wyk RA, Dunley J, 2005. Pheomone mating disruption offers selective management options for key pests. *Calif. Agr.*, 59(1):16—22.

Witzgall P, Kirsch P, Cork A, 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.*, 36(1):80—100.

Witzgall P, Stelinski L, Gut L, Thomson D, 2008. Codling moth management and chemical ecology. *Annu. Rev. Entomol.*, 53(1):503—522.

巴哈提古丽, 2009. 苹果蠹蛾在新疆地区的危害情况与防治措施. 防护林科技, 4:118—120.

林伟丽, 于江南, 薛光华, 王永平, 2006. 新疆阿克苏地区苹果蠹蛾和梨小食心虫消长规律的研究. 新疆农业科技, 43(2):100—102.

倪长春, 2008. 世界上交配干扰剂的利用状况. 世界农药, 30(1):31—32.

余河水, 臧冰, 吴江, 马纪宣, 1985. 苹果蠹蛾性信息素迷向防治的初步研究. 中国果树, 1:39—42.

翟小伟, 2009. 苹果蠹蛾发生规律和化学生态调控技术. 硕士毕业论文. 泰安:山东农业大学.