

苹果蠹蛾的蛀果与脱果特性*

杜磊^{1,2} 刘伟^{1,2} 柴绍忠³ 杨建强³ 张润志^{1,4**}

(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. 阿拉善盟农技中心 巴彦浩特 750306; 4. 农业虫害鼠害综合治理技术国家重点实验室 北京 100101)

摘要 苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 是我国重大植物检疫性有害生物, 对苹果属以及梨属的水果生产造成严重的危害。该虫以初孵化的 1 龄幼虫蛀入果肉, 在果实内部取食为害并完成发育, 老熟幼虫在黑暗中离开果实并寻找场所结茧化蛹。为掌握苹果蠹蛾幼虫进入及脱出果实时的行为特性, 从而为实施有效的防治措施提供基础信息, 本文在内蒙古格勒布楞滩对苹果蠹蛾幼虫的蛀果与脱果特性开展了详细研究。取得的主要研究结果如下: 1) 在苹果蠹蛾种群密度较高的情况下, 单个果实平均蛀孔数可达 5.25 个, 初期蛀入果实的幼虫在 2~8 头之间; 2) 苹果及梨蛀果中的幼虫数量与蛀孔数无关, 虽然果实上的最高蛀孔数可达 14 个, 但一般情况下受害果实中的幼虫数不超过 3 个; 3) 当果实表面蛀孔数较多时(苹果超过 5 个, 梨超过 2 个), 苹果蠹蛾幼虫向种室钻蛀的行为发生偏移, 通常转入在果肉中为害; 4) 落果后 5 d 内, 落果内的幼虫近半数脱果(43.1%), 落果后 15 d 内, 落果内的幼虫几乎全部脱果(99.9%); 5) 在脱果幼虫中, 94% 选择在夜间脱果, 6% 在日间脱果; 6) 至试验结束, 蛀果中还有 64% 的幼虫滞留。以上研究结果表明, 在种群密度较高的情况下, 苹果蠹蛾幼虫存在激烈的种内竞争; 及时清除苹果蠹蛾幼虫蛀果后造成的落果对未脱果幼虫有很好的防治效果。

关键词 苹果蠹蛾, 蛀果, 落果

The behavior of *Cydia pomonella* larvae both inside and outside fruit

DU Lei^{1,2} LIU Wei^{1,2} CHAI Shao-Zhong³ YANG Jian-Qiang³ ZHANG Run-Zhi^{1,4**}

(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. Alxa League Agricultural Technology Extension Service Center, Bayanhot 750306, China;
4. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Beijing 100101, China)

Abstract The codling moth *Cydia pomonella* (L.) is an important quarantine pest in China that inflicts serious damage to apple and pear crops. The newly hatched larvae bore into the fruit, and eat the seed to complete the larval stage. The mature larvae leave the fruit at night to find suitable sites to form cocoons. In order to better understand the behavioral traits of codling moth larvae and provide basic information to improve control of this pest we studied the behavior of codling moth larvae in Gelingbulongtan in Inner Mongolia. The main results were as follows: (1) at high population densities, the average numbers of holes bored in fruit was 5.25 and the initial number of larvae that entered was 2—8; (2) The number of larvae in damaged fruit had no relationship to the numbers of holes bored in the fruit. In general, damaged fruit contained less than 3 larvae. (3) When the number of holes in fruit was high (on apples > 5, on pears > 2) larvae stopped eating seeds and began to eat pulp. (4) 43.1% of larvae left damaged apples within 5 days and 99.9% of them left within 15 days. (5) 94% of the larvae left damaged apples at night and 6% of them left during the day. (6) 64% of larvae remained in damaged apples when the study ended. These results indicate that codling moth larvae are subject to intense competition at high population density, and collecting fallen fruit will be an effective control method.

Key words *Cydia pomonella*, boring, falling fruit

* 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:2011-12-13, 接受日期:2011-12-22

苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 是世界各国高度关注、严重危害苹果生产的外来有害生物,也是我国一类进境检验性有害生物和全国检疫性有害生物(中华人民共和国动植物检疫局等, 1997; 曾大鹏, 1998; 史惠玲等, 2008; 农业部关于印发《全国苹果蠹蛾疫情防控阻截行动方案》的通知)。该虫以幼虫钻蛀到苹果、梨、桃、杏、核桃、李、樱桃、油桃等多种果树的果实内部危害,且幼虫蛀果后常常造成果实脱落或失去商品价值,因此给世界苹果、梨等水果产业造成了巨大经济损失(Phillips and Barnes, 1975; Barnes, 1991; Pasquier and Charmillot, 2003; Reuveny and Cohen, 2004)。

苹果蠹蛾幼虫的发育过程几乎完全在果实内部完成。在苹果树上,初孵的 1 龄幼虫主要依靠果实表皮散发出来的气味寻找果实(Sutherland and Hutchins, 1972)。通常情况下,幼虫不取食果实表面,而是在其上蛀孔以进入果肉,蛀孔入口处用丝封闭(Dolstad, 1978)。蛀孔通常位于花萼附近(Westigard *et al.*, 1976)。在 1 龄以后的发育过程中,幼虫取食种子及果核,几乎一直都是在苹果内部度过的,且幼虫的发育速率受与其竞争食物的其他幼虫的影响。研究发现,取食未成熟的种子的幼虫比取食果肉的幼虫的发育速率要快(Dolstad, 1978),且在不影响幼虫发育速度的条件下,一个直径 4 cm 的苹果只能养活 3 头幼虫(Ferro and Harwood, 1973)。当幼虫发育成熟之后,会从蛀果上原来的入口或另开一个新孔钻出果实。大部分幼虫在黑暗中离开果实并寻找结茧场所(Garlick and Boyce, 1940; MacLellan, 1960)。

Garlick 和 Boyce (1940) 的研究发现,大部分第 1 代幼虫在果实落地之前就已经离开果实,但是第 2 代幼虫中的很大一部分在果实落地之前并未离开果实。由于幼虫可以在落果中继续发育,因此近几年在我国各地进行的苹果蠹蛾综合防控工作中,大多都将清理果园中地面的落果作为一项重要的农业防治措施(张文军, 2008; 柴武高等 2009; 戴德成, 2009; 张玉梅和李树森, 2010)。这一防治措施的目的在于将蛀果内的幼虫在脱果之前消灭,所以防治的关键点是防治措施施行之初是否还存在果内幼虫,因此研究苹果蠹蛾幼虫在果实落地时的脱果持续时间显得尤为重要。

为掌握苹果蠹蛾幼虫在果实中的活动特性,

从而为开展有效的防治措施提供基础信息,本研究首先对苹果蠹蛾幼虫蛀果后果实的受害特征进行了定量描述,明确在资源稀少的情况下,幼虫蛀果特性的变化,以及这种变化对苹果蠹蛾种内竞争的影响;随后将树冠上的蛀果采下模拟落果,对落果中幼虫的脱果时间以及脱果后的爬行特性开展了深入研究。

1 材料与方法

1.1 苹果蠹蛾蛀果特性研究

本研究在内蒙古自治区阿拉善左旗格棱布楞滩的两处果园(北纬 38°43'50.9", 东经 105°33'42.7")中进行。其中果园 1 面积为 1.33 hm² 左右,主要栽种黄元帅苹果、苹果梨以及杏等少量杂果。该果园于 2008 年首次发现苹果蠹蛾,由于该果园属于半废弃果园,因此近 2 年苹果蠹蛾种群密度急剧增长。2010 年由于春季低温等原因,果园中挂果量非常稀少,多数苹果树的挂果数量不足 100 个,梨树的挂果量相对较多。同时期诱捕器监测结果显示,该果园中苹果蠹蛾的数量较高,越冬代成虫的羽化盛期从 5 月 13 日一直持续到 6 月 4 日。果园 2 面积 2.67 hm²,主要栽种品种为苹果梨,该果园于 2007 年首次发现苹果蠹蛾。

根据幼虫发育的时间,在 2010 年 6 月下旬第 1 世代幼虫蛀果高峰期在果园采集苹果和梨树上的蛀果,带回室内进行仔细的剖查。剖查时,记录每个果实表面的蛀孔数量,之后将果实剖开,检查果实的种室,记录每个果实中的幼虫数量,幼虫发育程度、种室中种子的数量以及被取食的种子数量。

在剖果过程当中,对每个幼虫的发育状况进行简单归类,其中体色黄白色,体长不足老熟幼虫一半的幼虫作为发育早期的幼虫;体色粉红色至暗红色之间,体长超过老熟幼虫一半的幼虫作为发育中后期的幼虫。

此外,在剖果时对每个蛀果上的 2 个受害特征进行记录,一是幼虫是否对果肉进行了穿食,即幼虫在种室及主要蛀道之外的果肉中钻蛀形成了其他蛀道,对果肉造成更多的损害;第 2 个特征是幼虫是否蛀入果实的种室之中。这 2 个受害特征分别以 2 组 2 分值数据表示。

按照各项指标计算不同类型的果实所占的比例,分析各个指标间存在的潜在关系,利用 SPSS17.0 对各项指标之间的相互关系进行统计分

析。

1.2 苹果蠹蛾脱果特性研究

本研究于2010年8月下旬至9月中旬,在本文1.1中所述的果园1中进行。

从果园中采集具有苹果蠹蛾危害特征的受害果实共460个,带回实验室后按每60个1组分为8组(由于数量不足,有一组仅有40个蛀果),将8组受害果置于地面,在每组果实外面的地面上涂上边长70 cm,宽度约5 cm的粘虫胶胶环,阻止脱果的幼虫逃逸。

从8月25日开始,每天2次检查每个胶环上粘获的苹果蠹蛾幼虫数量、每天记录的时间分别为8:00和20:00。调查持续20 d,在实验结束之

前抽取3组进行剖果调查,调查时记录每个果实中苹果蠹蛾老熟幼虫的数量。

对数据进行简单的统计分析,做诱捕量,脱果量随时间变化的序列图,以及单日脱果比率和脱果状态图,分析苹果蠹蛾幼虫脱果耗时以及脱果最终状态。

2 结果与分析

2.1 蛀孔数量与幼虫数量的关系

对于苹果,单果最高蛀孔数可达14个,平均每个果实上的蛀孔数为5.25个。初期进入果实的幼虫数集中在2~8头之间,这部分果实约占总蛀果数的88.06%(图1)。

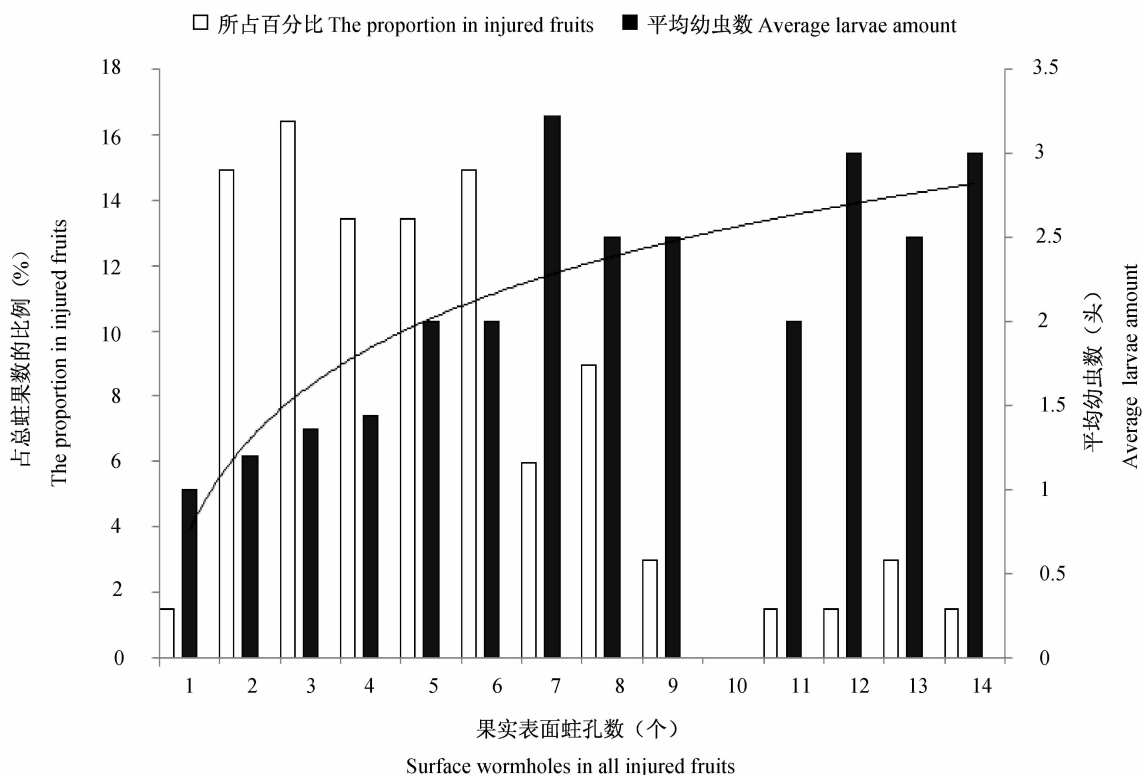


图1 苹果树蛀果果实表面蛀孔数占总蛀果数的比例及其与内部幼虫的关系

Fig.1 Proportion of surface wormholes in all injured fruits and its relationship with inner larvae in apple trees

剖查结果显示,被蛀果实中的幼虫数量相对稳定(图1),平均每个蛀果的幼虫数为1.87头,利用卡方检验的方法对蛀孔数与平均幼虫数量的关系进行检验,结果表明具有不同蛀孔数的果实中实际具有的幼虫数大致相等($\chi^2 = 2.923$; $P = 0.939$)。

进一步分析发现,果实表面蛀孔数与其中具有的幼虫数仍有微弱的相关性。在表面蛀孔数为1至7时,果实中的平均幼虫数量仍呈现出缓慢上升的趋势(图1);但当蛀孔数超过7个后,幼虫数量不再随着蛀孔数的增加而上升,一般情况下受害果中的幼虫数不超过3个。

对于梨,最多蛀孔数为 4 个,表面具有 1~2 个蛀孔数的果实占总蛀果数的 87.5%,一般情况下受害果中的幼虫数不超过 2 个(图 2)。

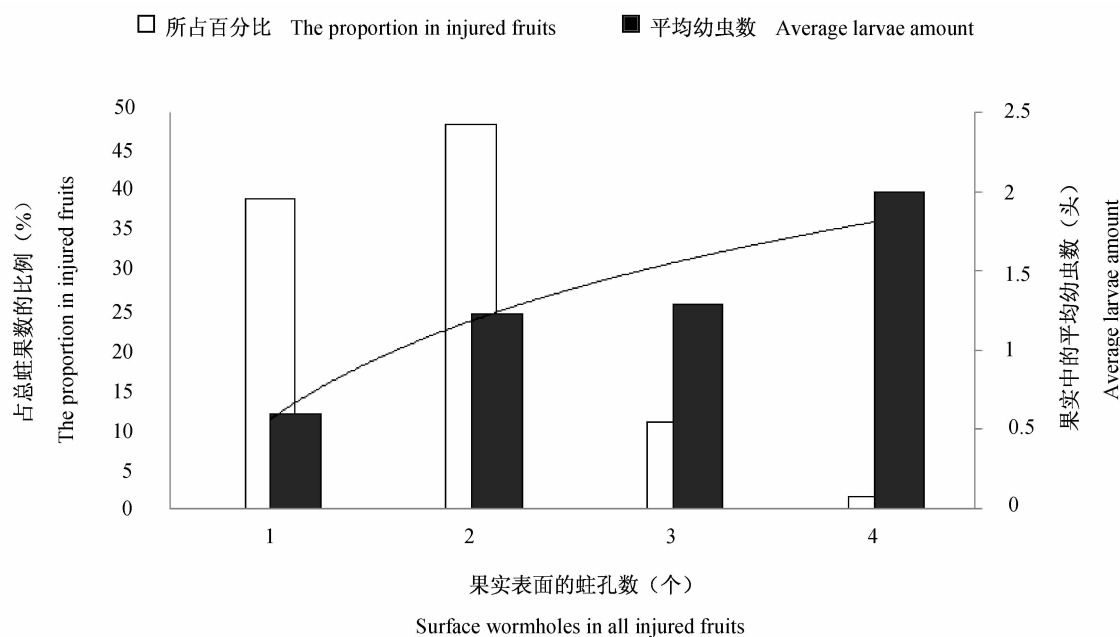


图 2 梨树蛀果果实表面蛀孔数占总蛀果数的比例及其与内部幼虫的关系

Fig. 2 Proportion of surface wormholes in all injured fruits and its relationship with inner larvae in pear trees

2.2 受害果实内的幼虫数量

苹果蛀果中的有虫率为 94.03%,而梨蛀果中的有虫率为 82.50%。有 2 头幼虫的果实在苹果蛀果总数中所占比例最高,为 41.79%;而具有 1 头幼虫的果实在梨蛀果中所占比例最高,为 71.67%(图 3)。

在存在多头幼虫的苹果果实当中,同时出现 2 头以上发育中后期幼虫的果实占调查蛀果总数的 19.04%;在梨果上,这个数值为 11.36%。表明在相似比例的苹果果实和梨果实中,2 头苹果蠹蛾幼虫在对种子资源的竞争中共同存活下来。

2.3 幼虫数量与果实受害程度的关系

对于苹果,ANOVA 检验发现表面蛀孔的数量与果实受害程度之间存在相关性 ($F = 23.854$, $Sig. = 0.000$),当表面蛀孔数超过 5 个时,幼虫停止向种室钻蛀转而在果肉中为害;由于果实内部含有幼虫的数量不符合正态分布,因此对果内幼虫数量的比较采用 Mann-Whitney 法(Z 检验)进行非参数检验,发现果实受害程度与果实中实际幼虫的数量关系不明显 ($Z = -1.962$, $Asymp. Sig.$

(2-tailed) = 0.050)。

对于梨,由于表面蛀孔的数量与内部幼虫数量均不符合正态分布,因此对两者与穿食程度的关系均用 Mann-Whitney 法进行非参数检验。结果发现果实穿食程度与表面蛀孔数以及果实穿食程度与内部幼虫数之间均有密切关系(表面蛀孔数比较结果: $Z = -4.453$, $Asymp. Sig. (2-tailed) = 0.000$;内部幼虫数量比较结果: $Z = -4.725$, $Asymp. Sig. (2-tailed) = 0.000$);当果实表面蛀孔数超过 2 个时,幼虫即会对果肉进行穿食。这表明,蛀孔增加时,苹果蠹蛾由种室危害转为果肉危害,这可能是其的一种有效避免种内竞争的策略。

种室遭到苹果蠹蛾彻底破坏的果实在蛀果中所占的比例最高(图 4)。种子遭到破坏的程度与果实的大小和质地有关;对果实直径较大、果肉柔软的苹果来说,种子受破坏的比例相对较高。对果实表面蛀孔数、果实内部幼虫数以及穿食果肉与否这 3 个指标与果实内被取食的种子数分别进行比较,发现在苹果果实上,种子被取食的数量与上述 3 个特征有比较明显的关系。但在梨树的蛀果当中,这种关系却均不显著(表 1)。

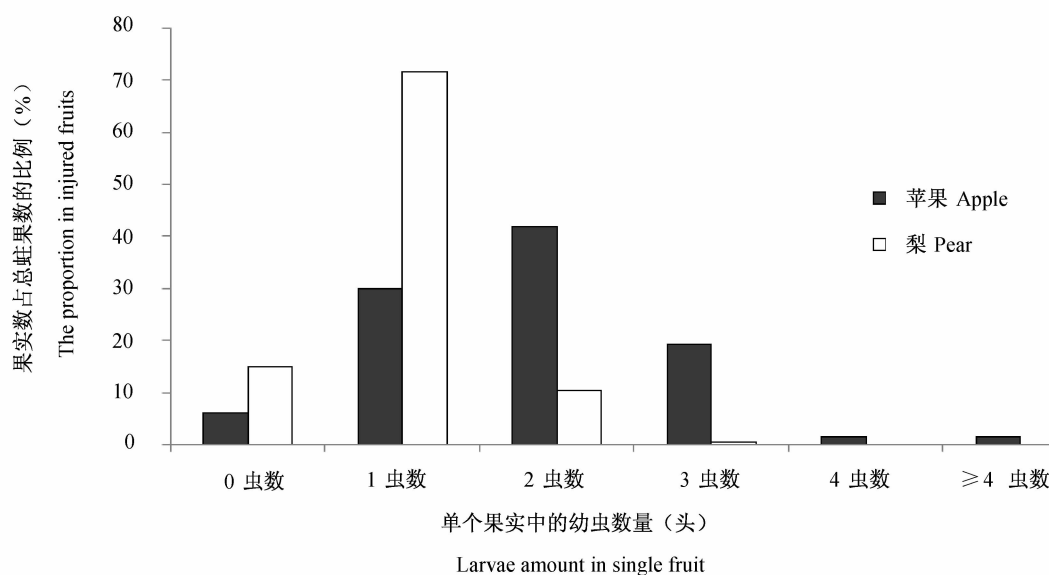


图 3 含有不同幼虫数量的蛀果占总蛀果数的比例

Fig. 3 Proportions of the wormy ones with different number of larvae inside in all injured fruits

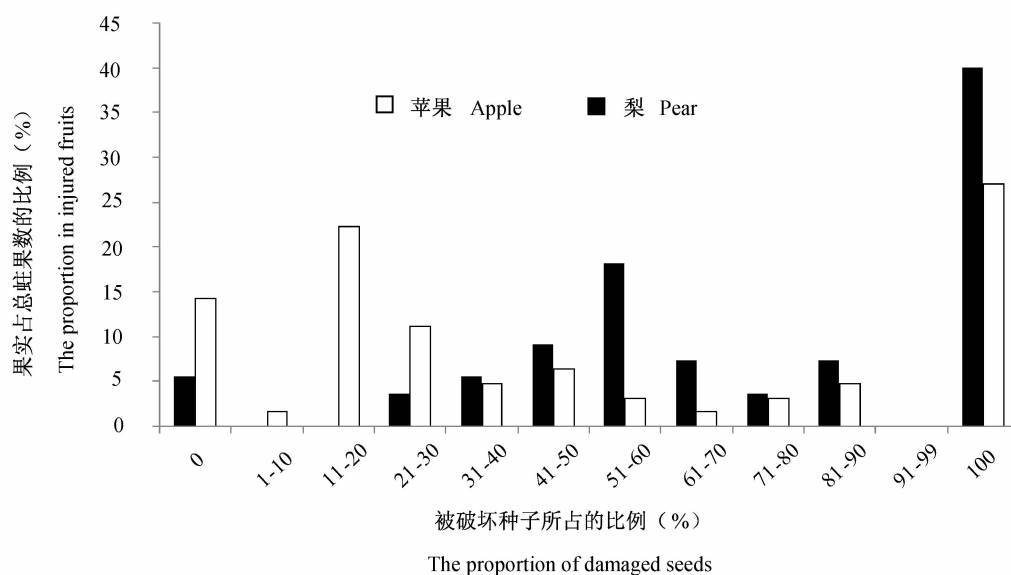


图 4 种子破坏比例不同的蛀果占总蛀果数的比例

Fig. 4 Proportions of the wormy ones with different seed ruin levels in all injured fruits

2.4 幼虫脱果耗时

当蛀果落地后,第 1 天脱果幼虫数为 12 头,随后逐渐下降,第 20 天脱果幼虫数仅为 2 头(表 2)。表明当蛀果掉落的第 1 天,老熟幼虫向外爬向的量最大,而第 20 天时,基本所有幼虫完成了脱果(图 5)。计算每一时间段脱果幼虫所占比例

发现,在实验开始进行后的 5 d 内,43.1% 的幼虫完成了脱果;实验开始进行后的 10 d 内,75% 的幼虫完成了脱果;实验开始进行后的 15 d 内,99.9% 的幼虫完成了脱果;实验开始进行后的 20 d 内,100% 的幼虫完成了脱果(图 6)。

表 1 蛀孔数、幼虫数及穿食果肉特征 3 个指标与取食种子数之间关系的检验结果
Table 1 Comparison of the surface wormholes, inside lava numbers and fresh boring behavior with the seeds foraged (ANOVA)

测试项目 Test items	检验方法 Test methods	显著性 (Sig.)	
		苹果 Apple	梨 Pear
蛀孔数—取食种子数 Number of wormholes on fruit surface-Number of wormy seeds	ANOVA	0.001	0.186
幼虫数—取食种子数 Number of larvae in fruit-Number of wormy seeds	ANOVA	0.004	0.262
穿食果肉与否—取食种子数 Penetrate fresh or not-Number of wormy seeds	ANOVA	0.024	0.094

表 2 苹果蠹蛾诱捕量
Table 2 The daily capture number of codling moth in sticky traps

日期 Date	时间段 Time	
	8:00—20:00	20:00—8:00
2010. 8. 24	0	12
2010. 8. 25	0	10
2010. 8. 26	0	8
2010. 8. 27	0	7
2010. 8. 28	1	3
2010. 8. 29	0	11
2010. 8. 30	1	2
2010. 8. 31	1	3
2010. 9. 1	0	7
2010. 9. 2	1	4
2010. 9. 3	0	7
2010. 9. 4	0	2
2010. 9. 5	0	3
2010. 9. 6	0	4
2010. 9. 7	1	2
2010. 9. 8	0	1
2010. 9. 9	0	4
2010. 9. 10	1	1
2010. 9. 11	0	3
2010. 9. 12	0	2

对一天中各时间段的脱果幼虫数进行分析发现,20:00 至 8:00 所捕得的幼虫占脱果幼虫总数的 94%,而 8:00 至 20:00 捕得的幼虫仅占 6%,夜间脱果幼虫数远远大于日间脱果幼虫数(图 7)。

2.5 脱果幼虫爬行特性

截止到实验结束,树冠蛀果中有 20% 的幼虫爬出果堆,16% 的幼虫爬出果堆但在果间结茧,

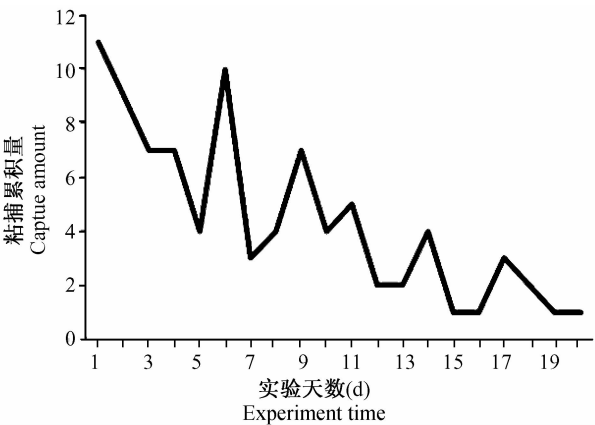


图 5 苹果蠹蛾多天胶环粘捕数量
Fig.5 The consecutive sticky trap of the codling moth

64% 的幼虫滞留于果内。这表明,64% 的幼虫没有进行爬行,36% 的幼虫进行了爬行。在进行爬行的幼虫中,55% 有向外爬行的倾向,而 45% 的幼虫没有向外爬行。表明落果中的大部分幼虫爬行能力或倾向并不强(图 8)。

3 讨论

3.1 苹果蠹蛾幼虫在果实内的竞争关系

由于本研究所调查的果园中苹果挂果量不高,而苹果蠹蛾发生严重,因此多数蛀果上都受到了数头苹果蠹蛾幼虫的危害。但调查发现,一个直径 4 cm 的果实最多容纳 3 头幼虫,这与前人的研究结果相一致(Ferro and Harwood, 1973);究其原因,很可能是果实中有限的种子数量限制了过多幼虫的发育。

调查中还发现,在苹果树上,蛀果表面的平均蛀孔数为 5.25 个,而平均幼虫数只有 1.86 个;但在梨树上,蛀果表面的平均蛀孔数为 1.55 个,平

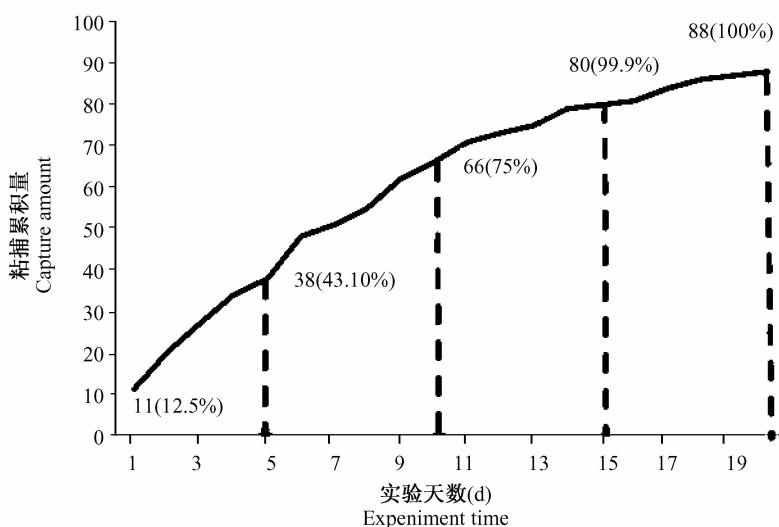


图 6 苹果蠹蛾多天持续脱果累积量

Fig. 6 The consecutive leaving damage fruit of the codling moth

途中虚线表明 5, 10, 15, 20 d 的脱果比率。

Dotted line represents the leaving proportion in 5, 10, 15, 20 days.

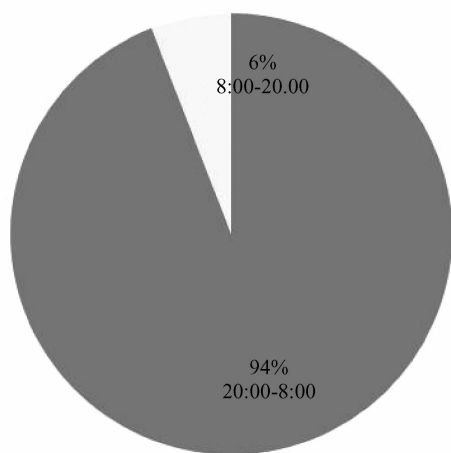


图 7 单日脱果时间比率

(6% 日间脱果; 94% 夜间脱果)

Fig. 7 The proportion of the leaving time in a single day (6% in the day; 94% in the night)

均幼虫为 0.98 个。根据发育时间推断,此时脱果的老熟幼虫尚属少数,因此多数蛀孔为 1 龄幼虫蛀入形成。这一结果表明在苹果上,有超过一半的幼虫中途离开果实或在果实内部死亡;而在梨上,由于初期单个果实蛀入的幼虫较少,存活情况要好一些。

由于苹果内部环境相对稳定,又没有天敌的捕食,因此多数在其中死亡的幼虫是由于种内竞

争中的自残及营养不良造成的。但在剖果过程中,仅在 3 例中发现了死亡的幼虫,而其中只有 1 例是发育中后期的幼虫因自残致死。根据上述调查结果可以推断,果实中自残死亡的多为低龄幼虫,由于其体形较小,所以无法从残骸中区分;而同一果实内处于发育中后期的幼虫之间几乎不存在自残行为。

3.2 苹果蠹蛾对苹果与梨的蛀果方式差异

在苹果的蛀果中,单个蛀果的蛀孔数和其中的平均幼虫数都要显著的高于梨蛀果,尤其是具有 2 头以上幼虫数的蛀果比例要远高于梨的蛀果。这一结果一方面可能是由于苹果果实体积较大造成的;另一方面,也可能是由于梨果多汁,在蛀果当中大量汁液渗出容易在果实内部形成缺氧及霉变等小环境,从而增加了苹果蠹蛾的死亡率。后者可能也是梨树蛀果中有虫率小于苹果树的一个原因。

从取食种子数量来看,由于梨果实的体积较小,因此苹果蠹蛾更多的时间在果芯活动,这使其对果芯的破坏更加严重。这可能也是在梨蛀果中,幼虫数量及穿食现象与取食种子数量的关系不如苹果显著的原因。

3.3 苹果蠹蛾种群大小的估计

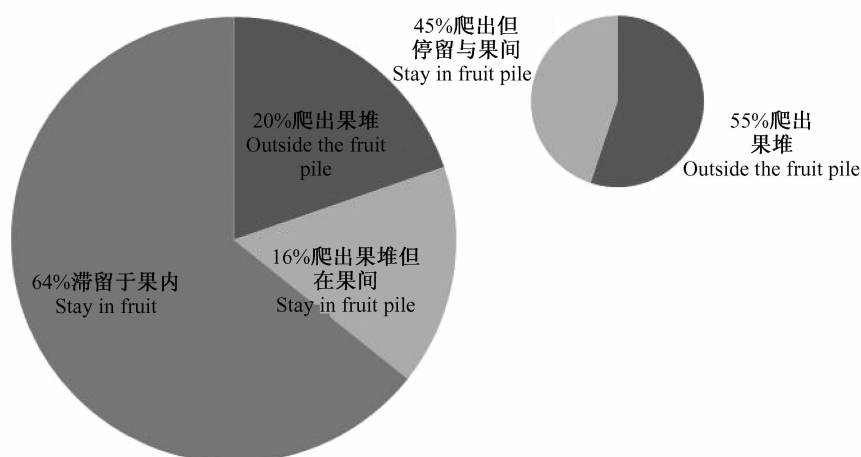


图 8 实验结束后树冠蛀果幼虫的脱果状态

Fig. 8 The leaving status of the larvae from damage fruit after the experiment

从果实表面蛀孔数、果实内部幼虫数、内部取食种子数等数个指标来看,目前尚没有哪个指标能够定量地反映出发生地苹果蠹蛾种群的大小,但是通过蛀孔数以及果实的穿食程度可以反映出当地苹果蠹蛾种内竞争的剧烈程度。随着生长季的进行以及果实的生长,果实中幼虫的数量及多幼虫蛀果的比例会相应地发生变化,这些变化如何影响到种群的大小以及种内的竞争关系,以及幼虫转果危害对调查结果的影响,这些问题仍需要进行进一步的深入研究。

3.4 掌握落果中幼虫脱果时间在苹果蠹蛾防治中的意义

落果清除一直是一项重要的苹果蠹蛾防治手段(张文军,2008;柴武高,2009;戴德成,2009;张玉梅和李树森,2010)。Steiner(1929)研究发现,落果中的苹果蠹蛾幼虫只有小部分回到树干作茧,Wearing和Skilling(1975)发现在整个果园,脱果幼虫有10%在地面寻找作茧位置,而地面寻找作茧位置的幼虫中有25%会回到原树寻找作茧位置。根据已有的研究,树干上有33.3%~57.0%的幼虫来源于落果(Van Leeuwen, 1929; Cutright, 1937; Eyer, 1937; Woodside, 1941)。上述研究结果均表明,落果清除在对于整个苹果蠹蛾种群的防治中占有重要的地位,如果在合适的时间内将落果清除,对于种群的防治效果可能达到30%以上。同时,由于落果中也有相当一部分幼虫滞留作茧,清除落果可有效消灭这一部分虫

源。

但是这项防治措施的实施有着重要的前提条件,那就是在清除落果时,苹果蠹蛾幼虫必须还没有脱果爬行寻找其他位置作茧,因此确定落果中幼虫的脱果时间,以及脱果幼虫占落果中幼虫总数的比例对于实际防治具有指导意义。

本文的研究结果表明,在蛀果落地后的5 d内进行清除落果,可使防治效果达到56.9%以上,10 d后清除落果,防效下降到25%,而15 d后清除落果,防效只有1%,几乎没有任何作用。如果能在蛀果落地当天就清除所有的落果,防效可达87.5%以上,但是在实际生产中,由于人力和财力的限制,这样频繁的防治显然是不可能的,应该尽量在落果高峰期每隔5 d清除一次园中落果。

对一天中的脱果时间进行分析后发现,94%的幼虫选择夜间脱果,仅6%选择日间脱果,这与Garlick和Boyce(1940)及MacLellan(1960)的研究结果相一致。但是,苹果蠹蛾在果实内部处于黑暗环境,其究竟是通过什么感知日夜变化,且为何只在夜间脱果仍有待进一步的研究。这种独特的行为可能是由昼夜温度变化所诱导的,也可能是苹果蠹蛾幼虫遗传自成虫的夜行性活动规律所造成的,但这些推断仍需严谨的实验证明。

研究还发现,蛀果落地后,64%的幼虫选择滞留蛀果内,这意味着除了越冬代,在1、2代的防治过程中,落果清除将对这部分幼虫有极好的防治效果。大部分幼虫爬行能力或倾向并不强,这可

能是由于果堆的松散的间隙形成适合苹果蠹蛾幼虫作茧的地点,结茧的苹果蠹蛾幼虫散发聚集素吸引同种幼虫作茧所致。这一结果更体现了清除落果在苹果蠹蛾防治中的重要性,由于有相当一部分幼虫躲藏于苹果内部,化学防治措施对这部分幼虫不能起到防治效用,只有清除落果才能彻底消灭这部分虫源。

综上所述,在落果后 5 d 内对其进行清除,能对苹果蠹蛾将起到良好的防治效果。

致谢:在本项研究中,内蒙古自治区植保植检站刘家骥副站长、郭静敏科长为野外实验选点提供了帮助。中国科学院动物研究所任立老师在标本处理中提供了帮助,刘宁老师为实验数据分析和材料准备提供帮助,在此一并表示感谢。

参考文献 (References)

- Barnes MM, 1991. Codling moth occurrence, host race formation and damage// van der Geest LPS, Evenhuis HH (eds.). *Tortricid Pests: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Amsterdam: Elsevier. 313—327.
- Cutright CR, 1937. Codling moth biology and control investigations. *Bulletin (Ohio Agricultural Experiment Station)* no. 583. Ohio: Ohio Agricultural Experiment Station. 1—45.
- Dolstad KD, 1978. Biology and control of the codling moth in the Pacific Northwest. Master thesis. Burnaby: Simon Fraser University. 11.
- Eyer JR, 1937. Ten years' experiments with codling moth bait traps, light traps, and trap bands. *Bulletin (New Mexico College of Agriculture and Mechanic Arts. Agricultural Experiment Station)* no. 253. Las Cruces N. M.: Agricultural Experiment Station of the New Mexico College of Agriculture and Mechanic Arts. 1—67.
- Ferro D, Harwood RF, 1973. Intraspecific larval competition by the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Environ. Entomol.*, 2(5):783—789.
- Garlick WG, Boyce HR. 1940. A note on the habits of mature codling moth larvae. *Can. Entomol.*, 72:87.
- McLellan CR, 1960. Cocooning behaviour of overwintering codling moth larvae. *Can. Entomol.*, 92(6):469—478.
- Pasquier D, Charmillot PJ, 2003. Effectiveness of twelve insecticides applied topically to diapausing larvae of the codling moth, *Cydia pomonella* L. *Pest Manag. Sci.*, 60(3):305—308.
- Phillips PA, Barnes MM, 1975. Host race formation among sympatric apple, walnut, and plum populations of the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 68(6):1053—1060.
- Revveny H, Cohen E 2004. Resistance of the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae) to pesticides in Israel. *J. Appl. Entomol.*, 128(9/10):645—651.
- Steiner LF, 1929. Miscellaneous codling moth studies. *J. Econ. Entomol.*, 22(4):648—654.
- Sutherland ORW, Hutchins RFN, 1972. α -Farnesene, a natural attractant for codling moth larvae. *Nature*, 239(5368):170.
- Van Leeuwen ER, 1929. Life history of the codling moth in northern Georgia. Technical bulletin (United States Department of Agriculture) no. 90. Washington: United States Department of Agriculture. 1—95.
- Wearing CH, Skilling L, 1975. Integrated control of apple pests in New Zealand 4. Survival of fifth-instar larvae of codling moth on the ground. *N. Z. J. Zool.*, 2(2):245—55.
- Westigard PH, Gentner L, Butt BA, 1976. Codling moth: egg and first instar mortality on pear with special reference to varietal susceptibility. *Environ. Entomol.*, 5(1):51—54.
- Woodside AM, 1941. Studies of codling moth cocooning habits. *J. Econ. Entomol.*, 34(3):420—424.
- 柴武高, 段志山, 张其展, 吴海燕, 2009. 民乐县苹果蠹蛾的发生与综合防治. *甘肃农业科技*, (5):58—59.
- 戴德成, 2009. 奎屯垦区苹果蠹蛾的发生及综合防治. *农村科技*, (1):27—28.
- 史惠玲, 王培新, 李鹏飞, 任引朝, 2008. 苹果蠹蛾入侵陕西的风险分析. *陕西林业科技*, (4):76—80.
- 曾大鹏, 1998. 中国进境森林植物检疫对象及危险性害虫. 北京:中国林业出版社. 168—171.
- 张文军. 苹果蠹蛾综合防治技术. *农业科技与信息*, (17):31.
- 张玉梅, 李树森, 2010. 苹果蠹蛾的生物学特性及综合防控措施. *甘肃农业科技*, (1):51—52.
- 中华人民共和国动植物检疫局, 农业部植物检疫实验所, 1997. 中国进境植物检疫有害生物选编. 北京:中国农业出版社. 23—26.