应用昆虫远程智能监测系统监测苹果园害虫的技术*

徐清芳[1**] 门兴元[1] 王圣楠[2] 曲诚怀[3] 曲在亮[3]
李 强[1] 张晴晴[1] 李丽莉[1***]

（1. 山东省农业科学院植物保护研究所，山东省植物病毒学重点实验室，济南 250100；
2. 济南祥辰科技有限公司，济南 251400；3. 烟台市牟平区农业技术推广中心，烟台 264100）

摘 要 **【目的】** 探索昆虫远程智能监测系统在苹果园害虫监测中的应用技术。**【方法】** 采用双机双摄图像采集系统收集每个时间段诱集昆虫的清晰图像，并传送至系统，在系统客户端进行识别记录。**【结果】** 昆虫远程智能监测系统通过平台设定参数，自动完成昆虫的诱集、灭杀、拍照、传输、收集等工作，客户端人工识别、计数较准确，与实际害虫发生吻合度高。**【结论】** 昆虫远程智能监测系统可实现苹果园多种主要害虫的远程实时监测，减少了监测的人力物力。电脑神经网络通过平台提供的昆虫图片的学习、特征提取、结构构建和模型评估，最终可实现昆虫的自动识别计数。

关键词 果园；远程监控；害虫

The potential for using remote intelligent monitoring systems to monitor insect pests in apple orchards

XU Qing-Fang[1] MEN Xing-Yuan[1] WANG Sheng-Nan[2] QU Cheng-Huai[3]
QU Zai-Liang[3] LI Qiang[1] ZHANG Qing-Qing[1] LI Li-Li[1*]

(1. Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Jinan Xiangchen Technology Co., Ltd, Jinan 251400, China; 3. Muping Agricultural Technology Service and Extention Center, Yantai 264100, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the potential for using remote intelligent monitoring systems to monitor pests in apple orchards. **[Methods]** A double image acquisition system was used to collect clear images of insects which were then transmitted for identification and recording. **[Results]** After setting appropriate parameters, the remote intelligent monitoring system could automatically trap, kill, photograph, transmit images and collect insects. Manual identification and counting were more accurate and more closely matched actual insect occurrence. [**Conclusion**] Remote intelligent monitoring systems can monitor a variety of major pests in apple orchards in real time, thereby significantly reducing human and material costs of monitoring. After training, feature extraction, structure building and model evaluation of insect images, computer software can automatically recognize and count insects.

Key words orchard; remote monitoring; pests

目前，中国的苹果园正在发生着一系列的变化。首先，集约化苹果园种植面积增加。随着农田集约化的进一步发展，新型宽行密植苹果园的种植数量逐年增多，集约化果园在种植及栽培管

*资助项目 Supported projects：苹果化肥农药减施增效技术集成研究与示范（2016YFD0201107）；山东省现代产业技术水果体系创新团队（SDAIT 06 10）；山东省重大应用技术创新项目（2017CXGC0214）；山东省农业科学院重大科技成果培育计划项目资助（2016CGPY03）

**第一作者 First author，E-mail：xqfwfr@163.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zbsli3@163.com

收稿日期 Received：2019-09-25；接受日期 Accepted：2019-10-29

理模式上与传统一家一户经营的果园有了很大的差异，防治的单位不再是小面积一家一户，而是连方成片的合作社、新型经营主体，预测预报变得尤为重要；其次，果园劳动力缺乏严重。新型果园经营者不再是种植者，而是管理者，规模化的果园种植需要大量雇佣劳动力。同时，果园劳动力正面临老龄化的问题，劳动力缺乏成为了目前果园的主要矛盾。第三，新型矮化密植苹果园病虫害的发生与传统老果园有了很大变化（邵砾群，2015；宋来庆等，2018）。因此，监测和防治上需要引入新的果园害虫监测手段，提高害虫监测效率与识别的准确性，为害虫的高效农药减量防控提供数据是支撑。

生产上通常使用的害虫监测方法有黑光灯（裴海英等，2002；江幸福等，2009；Ni *et al.*，2012；Jiang *et al.*，2013；侯蕾蕾等，2015）、粘板（于法辉等，2010；陈汉杰等，2012）、自动性诱捕器、手动性诱捕器和糖醋液（樊涛和任永忠，2009；刘文旭等，2014；李丽莉等，2015）等，这些手段都能实现目标害虫的监测，但各有优缺点。传统的虫情测报灯就是利用昆虫对黑光灯的趋性研发出来的，已应用于金龟子、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner、盲蝽、草地螟 *Loxostege stieticat*is L.等农林害虫预测预报中（江幸福等，2009），可实现自动开关灯和定时收集昆虫，但统计的是诱集昆虫的总量，且一般 7 d 收集 1 次带回室内鉴定识别。这种方法虽减少了人工用量，但在监测的时效性上有所延迟，虫体也因为长时间的活动导致不易辨认；在温度高的夏天，还会出现腐烂变质的现象，大大降低害虫识别精度。自动性诱捕器可以实现目标害虫的自动监测，达到了省工省力精准监测的效果，但监测人不能直观的看到图像，若自动监测系统出现问题，监测人员不能及时发现。手动性诱捕器都需要监测人频繁的到田间观察计数，虽然可以直观的发现问题，但费工费力、不宜推广。与水盆诱捕器相比，粘板可以实现对一些害虫的直观监测，对害虫的保存也更好，是目前应用比较多的诱捕方法，但对寄生性天敌的杀伤力相对较大。应运而生的昆虫远程智能监测系统与传统的虫情测报灯工作原理基本一致，光源为黑光灯，但客户可根据监测目标通过系统平台设定参数，创新性的在系统中引入双机双摄图像采集系统，将设定时间段内诱集的昆虫进行远景与近景拍摄，并将图片传送至系统，用户可以在信息服务平台系统客户端进行查看，不到果园就可以很直观的看到果园昆虫的发生情况，实现昆虫远程监测。同时，当昆虫进入监测系统时完成高温灭杀，保证虫体完整性，易于保存、鉴定和数据校正（封洪强和姚青，2018）。收集的虫源可以委托昆虫智能虫情测报灯附近的农户帮忙收集和储存或邮寄，不需要专业人士必须到果园，减少了人工，提高了效率，同时可以对多种上灯害虫实现监测。

本研究利用烟台栖霞苹果主产区设置的昆虫智能虫情测报系统，通过网络平台开展果园诱集害虫的识别、统计和记录，并抽选害虫样本进行人工识别比对，旨在探讨昆虫远程智能监测系统在苹果园昆虫监测中的应用价值及应用潜力，为其在果园中的害虫监测中提供理论数据。

1　材料与方法

1.1　试验仪器

昆虫远程智能测报系统（济南祥辰科技有限公司提供）。

1.2　试验地点及仪器参数设置

试验于 2018 年 7 月 7 日至 2018 年 9 月 20 日在山东省烟台市栖霞市泉源丰粟基地进行（121°E，37°N）。苹果园是 4 年生矮化密植园，栽培品种为“烟富 3”，栽培的密度为 1.2 m× 4.0 m，年防治病虫害 6-8 次，周围 66.7 hm^2 均为苹果园，大都是 4-8 年的小树。安装地点有持续的常用电源，在果园管理者住宿的院落旁边，方便后期虫源的收集与灯的维护。

根据害虫的上灯规律，系统远程设置每天 19:50 左右开灯，凌晨 04:50 左右关灯，极端天气断电。图片拾取间隔期为 40 min。监测系统每

隔 40 min 采用双机双摄图像拾取 1 次，远距离（图 1）和近距离（图 2）照片各 1 张，并上传照片至病虫害信息服务平台，客户端照片可以放大或缩小。昆虫每次进入，系统自动完成高温灭杀，每次拍摄后仪器自动清理、保存所有虫体。每天诱集的昆虫委托果农早上 8:00 之前收集，带回室内于-20 ℃冰箱中保存，并标记好收集日期，一周顺丰冷链寄送 1 次，备数据比对。

图 1 远距离图
Fig. 1 Long distance picture

图 2 近距离图
Fig. 2 Short distance picture

1.3 图像的识别、昆虫标记、数量统计

每天 8:30 固定的专业人员登陆病虫害信息服务平台系统客户端识别昆虫种类、记录昆虫数量。昆虫识别参考《北京灯下蛾类图谱》（丁建云和张建华，2016）、《北京蛾类图谱》（虞国跃，2014）、《王家园昆虫》（虞国跃和王合，2016）、《中国昆虫生态大图鉴》（张巍巍和李元胜，2011）和《中国园林害虫》（徐公天和杨志华，2007）等书籍。害虫的种类和数量通过平台进行计算机自动分类与统计，平台管理员也可以点开图片观察到诱集的主要害虫种类及数量（图 3）。

虫情记录 更多

	害虫名称	数量
1	瓢虫	5
2	棉铃虫	6
3	暗黑鳃金龟	9
4	雀纹天蛾	1
5	格庶尺蛾	3

图 3 标记图和虫情记录图
Fig. 3 Mark picture and insect record picture

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理，将每天诱集的害虫种类分别统计，远程识别和人工识别的昆虫种类的数量比较，参考 Morista-Horn 相似性指数（钱迎倩和马克平，1994）。

$$C_{MH}=2\sum(an_i\times bn_i)/(d_a+d_b)\times aN\times bN,$$

$$d_a=\sum(an_i\times an_i)/(aN\times aN),$$

$$d_b=\sum(bn_i\times bn_i)/(bN\times bN)。$$

aN 为远程识别群落的物种数；bN 为人工识别群落的物种数；an_i 为远程识别群落中第 i 物种的个体数；bn_i 为人工识别群落中第 i 物种的个体数。

用 SPSS 19.0 软件对远程识别数据和人工识别数据做线性回归。

2　结果与分析

2.1　栖霞虫情测报灯诱集的害虫种类

根据系统拍摄的图片，平台人工识别的统计结果见表 1。7 月 7 日到 9 月 20 日，共诱集到 8 目 107 种约 29 326 头害虫，包括鳞翅目、鞘翅目、半翅目、直翅目、膜翅目、螳螂目、蜻蜓目和脉翅目，其中鳞翅目种群数量最多，有 86 种，总数量为 22 409 头。

2.2　栖霞虫情测报灯诱集的天敌种类

诱集到的主要天敌及数量见表 2。诱集到的主要天敌为瓢虫、食蚜蝇、草蛉和螳螂。其中瓢虫数量最多，约为 222 头。

表 1　诱集的害虫种类及数量

Table 1　Species and quantities of insect pests trapped

种类 Species	鳞翅目 Lepidoptera	鞘翅目 Coleoptera	直翅目 Orthoptera	半翅目 Hemiptera	膜翅目 Hymenoptera	其他目 Other items
数量（种）Quantity (species)	86	5	4	4	1	1
总数量（头）Total quantity (ind.)	22 409	5 090	1 151	737	88	158

表 2　诱集的天敌及数量

Table 2　Species and quantities of insect pests trapped

分类 Classification	瓢虫 Ladybug	食蚜蝇 Syrphidae	草蛉 Grasshopper	螳螂 Mantis
数量（头）Quantity (ind.)	222	50	22	13

2.3　栖霞苹果园远程识别与人工识别主要害虫种类及数量比较

选择 3 d 的灯诱昆虫进行现场人工识别，主要害虫的数量及比较统计如表 3。

2 种方法识别的大型主要害虫的种类无显著差异，8 月 3 日、8 月 22 日、9 月 3 日人工识别昆虫群落和远程识别昆虫群落的 Morista-Horn 相似性指数分别为 0.99、0.93 和 0.98，表明远程识别与人工识别的种类和数量均有很好的复合性。

对远程识别数据和人工识别数据进行线性回归，结果显示 3 d 的符合性均很好，R^2 值分别为 0.981 8、0.885 4 和 0.986 3，3 个曲线均趋近于理想曲线 $Y=X$。

3　结论与讨论

目前，随着农业集约化种植程度的提高，随之而来的害虫防治带来的生态环境压力的也日益增加，害虫精准监测是减少农药使用量的关键环节，做到害虫的监测精准，才能实现用药精准，减少化学农药的使用量，保护生态环境及消费者健康。我国利用信息技术在智能化测报工具研发方面进行了大胆的尝试，取得了比较明显的进步，但由于害虫生态环境复杂，一些关键技术未取得突破，田间害虫数据采集还以人工为主（刘万才等，2015；刘万才，2017）。远程虫情测报系统的应用大大减少了专业技术人员的工作量。苹果园的应用结果表明，远程虫情测报系统对果园发生大部分害虫，尤其是具有迁移性、突发性、光趋性昆虫可以起到监测预警作用。平台可以直观的描述不同昆虫的发生时间及上灯节律，为害虫的预测预报提供了很好的技术支持。与传统虫情测报灯相比具有更好的时效性，能在监测第 2 天就比较直观、准确的监测到昆虫发生种类、发生数量等。同时，系统还会根据专业人员的识别标记自动统计昆虫数量，进一步减少了人力投入，提高了效率，而且更值得关注的是，系统后台电脑会自动学习昆虫在影像中的各种形态，为实现昆虫计算机自动识别积累数据。从专业人士

表 3 远程识别与人工识别主要害虫种类和数量比较

Table 3 Comparison of the species and number of major pests between remote identification and artificial identification

日期（月-日）Date(month-day)	08-03		08-22		09-03	
种类 Species	远程识别 Remote identification	人工识别 Artificial identification	远程识别 Remote identification	人工识别 Artificial identification	远程识别 Remote identification	人工识别 Artificial identification
茶翅蝽 *Halyomorpha halys*	33	36	3	5	0	0
麻皮蝽 *Erthesina fullo*	27	31	0	3	3	4
红缘灯蛾 *Amsacta lactinea*	13	19	5	6	0	0
棉铃虫 *Helicoverpa armigera*	12	16	2	6	4	5
蝼蛄 *Gryllotalpa* spp.	5	8	5	7	28	31
瓢虫 Coccinellidae	5	10	2	5	13	17
蟋蟀 Gryllidae	1	3	9	14	29	36
暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela*	2	3	1	3	0	1
草蛉 *Chrysopa perla*	1	2	0	0	1	4
白雪灯蛾 *Spilosoma niveus*	1	2	0	2	0	2
苹小卷叶蛾 *Adoxophyes orana*	0	0	0	0	3	7
螳螂 *Mantodea*	0	0	1	1	0	0
人纹污灯蛾 *Spilarctia subcarnea*	0	1	0	0	0	0
食蚜蝇 Syrphidae	0	0	0	0	0	2
Morista-Horn 相似性指数 Similarity index of Morista-Horn	0.99		0.93		0.98	

需求量上来看，如果实现多种害虫的监测，传统的系统普查的方法，需要大量专业人员到田间调查害虫，用工大，用时长，而且单次调查覆盖面小，效率低，不能实现每天监测。而远程智能测报系统中 1 个监测点仅需要 1-2 个专业人士和 1 个虫源收集的非专业人士就可以完成，通过网络图片识别，数据统计明确害虫发生的种类和数量。从我们的结果可以看出，远程识别和人工识别在数量的准确性上还有待提高，造成这种差异的原因可能是因为虫体在视野下的状态造成的，正面很好辨认，反面或者侧面就会增加识别的误差，如果重叠则更加增加了识别的难度；再就是摄像头的像素，也是造成差异的一个原因；其次还有虫体的大小，大的虫体好辨认，小的不好辨认。但从 Morista-Horn 相似性指数来看，相似度很高，基本能反应出主要害虫的发生情况，能够及时做出预测预警。

若实现害虫的智能监测，昆虫远程智能监测系统还需要在以下几方面进一步的研发提高。一是图像识别应加入专家鉴定系统。目前图像识别主要是依靠专业人员完成，没有专业知识的人不能完成此项工作，可根据前期鉴定数据及图片数据，在害虫标记统计环节加入昆虫目录及多种昆虫的标准图像，让没有专业知识的人也可以完成此项工作。随着平台数据的累计，后台电脑神经网络会自动优化昆虫识别模型及参数，最终实现系统主要害虫的自动识别与计数，完成目标害虫自动化的监测。二是调整图像拾取的时间间隔及照相机像素。目前图片的拾取时间是固定的，每隔 40 min 拾取一次，但在虫量大发生时，易造成虫体的重叠，不易被识别，降低监测的准确性，因此应根据虫源上灯的数量自动调整图片拾取的间隔时间，并将虫体通过微颤展开，减少重叠率，提高识别的准确性。另外，从摄像头的像素

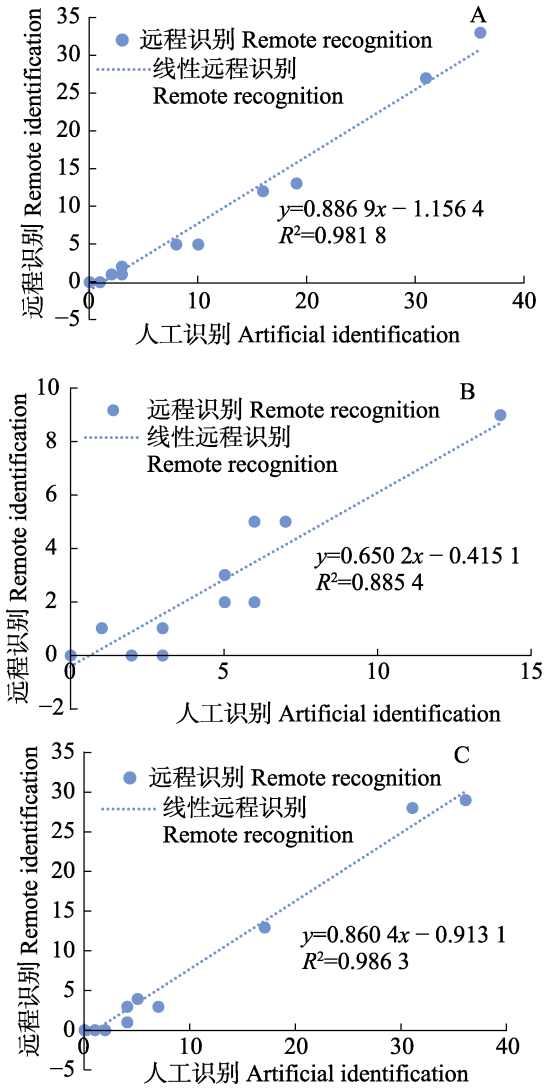

图 4　远程识别数据和人工识别数据线性回归结果
Fig. 4　Linear regression results of remote recognition data and manual recognition data

A. 8 月 3 日；B. 8 月 22 日；C. 9 月 3 日。
A. August 3; B. August 22; C. September 3.

方面再深入研究，增加图像的清晰度。三是优化引诱光源。本研究所用的光源基本都是黑光灯，诱集的昆虫除害虫外，还有天敌。因此，未来害虫的精准监测需优化光源，研发目标害虫的特定光源，减少非目标害虫的干扰及对天敌昆虫和栖息昆虫的诱杀，更大限度的提高识别准确性及诱集防控效率。四是开灯时间的精准：根据主要害虫的发生规律提供不同目标害虫开关灯时间，仅在目标害虫高发时间段开灯，根据上灯节律确定诱集的时间段，减少对昆虫物种平衡的破坏减少无效开灯，保护生态平衡。五是需明确果园灯诱目标害虫数量与果园实际发生量的关系，以实现昆虫远程智能监测系统对害虫发生的精准测报。灯诱害虫数量并不一定代表果园害虫发生数量及被害率，需要进一步开展主要害虫的上灯数量与果园发生量的关系，同时调查果园被害率，用目标害虫上灯率为指标提供防治时间，以达到精准监测及防控的目的。

昆虫远程智能测报系统将智能化的、信息化引入害虫的自动监测中，已经向害虫智能测报迈出了第一步。田间害虫种类繁多，我们要重点突破主要害虫监测关键技术的研究，以提高虫害智能监测的精度及效率，为保证苹果产业绿色可持续发展贡献力量。

参考文献 (References)

Chen HJ, Zhang JY, Tu HT, Han LX, Wang HY, Zhu SW, 2012. Ecological effects of yellow sticky board on trapping insects in apple and pear orchards. *Journal of Fruit Science*, 29(1): 86–89. [陈汉杰，张金勇，涂洪涛，韩立新，王红艳，朱守卫，2012. 苹果、梨园悬挂黄色粘板诱虫的生态效应. 果树学报，29(1): 86–89.]

Ding JY, Zhang JH, 2016. Atlas of Moths under Beijing Lanterns. Beijing: China Agriculture Press. 1–282. [丁建云，张建华，2016. 北京灯下蛾类图谱. 北京：中国农业出版社. 1–282.]

Fan T, Ren YZ, 2009. Trapping and killing techniques of pests in orchards. *Modern Agricultural Science and Technology*, (11): 135. [樊涛，任永忠，2009. 果园害虫诱杀技术. 现代农业科技，(11): 135.]

Feng HQ, Yao Q, 2018. Automatic identification and monitoring technology of agricultural pests. *Plant Protection*, 44(5): 127–133. [封洪强，姚青，2018. 农业害虫自动识别与监测技术. 植物保护，44(5): 127–133.]

Hou LL, Shi LL, Peng CH, Chen LZ, Lei CL, 2015. Monitoring of population dynamics of *Elthemidea* sp. and *Apolygus lucorμm* in vegetable fields by black light lamp. *Journal of Hubei Agricultural Sciences*, 54(7): 1600–1602. [侯蕾蕾，石萍丽，彭传华，陈丽珍，雷朝亮，2015. 黑光灯对蔬菜地中黑盲蝽和绿盲蝽种群动态的监测. 湖北农业科学，54(7): 1600–1602.]

Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, 2009. Comparison of monitoring and control effects of Jiaduo insect situation monitoring lamp and common black light lamp on meadow borer population. *Plant Protection*, 35(2): 109–113. [江

幸福, 罗礼智, 张蕾, 康爱国, 张跃进, 姜玉英, 2009. 佳多虫情测报灯和普通黑光灯对草地螟种群监测与防治效果比较. 植物保护, 35(2): 109–113.]

Jiang JA, Lin TS, Yang EC, Tseng CL, Chen CP, Yen CW, Zheng XY, Liu CY, Liu RH, Chen YF, Chang WY, Chuang CL, 2013. Application of a web-based remote agro-ecological monitoring system for observing spatial distribution and dynamics of *Bactrocera* dorsalis in fruit orchards. *Precision Agriculture*, 14 (3): 323–342.

Li LL, Guo TT, Men XY, Chen H, Sun TL, Xia XJ, Yu Y, 2015. Comparison of trapping efficiency of sugar-vinegar liquidand sex pheromone on *Grapholita molesta* (Busck). *Shandong Agricultural Sciences*, 47(12): 85–87. [李丽莉, 郭婷婷, 门兴元, 陈浩, 孙廷林, 夏小菊, 于毅, 2015. 性诱剂和糖醋液对梨小食心虫诱集效果比较. 山东农业科学, 47(12): 85–87.]

Liu WC, liu J, Zhong TR, 2015. Development and suggestions on development and application of new forecasting tools. *China Plant Protection*, 35(8): 40–42. [刘万才,刘杰,钟天润, 2015.新型测报工具研发应用进展与发展建议. 中国植保导刊, 35(8): 40–42.]

Liu WC, 2017. Advances in modern forecasting tools for crop diseases and pests in China. *China Plant Protection*, 37(9): 29–33. [刘万才, 2017. 我国农作物病虫害现代测报工具研究进展. 中国植保导刊, 37(9): 29–33.]

Liu WX, Ran HF, Lu ZY, Liu XX, Li JC, Zhang QW, Sheng CF, 2014. Study on the trapping effect of sex attractant and sugar and vinegar solution on *Grapholita molesta* (Busck) of peach garden. *China Plant Protection*, 34(10): 43–46. [刘文旭, 冉红凡, 路子云, 刘小侠, 李建成, 张青文, 盛承发, 2014. 性诱剂与糖醋液组合对桃园梨小食心虫的诱捕效果研究. 中国植保导刊, 34(10): 43–46.]

Ni H, Yan S, Liu XX, Zhang QW, 2011. Cryptochromes mRNA expression under mating and black light treatment on *Helicoverpa armigera*. *Plant Diseases and Pests*, 2(3): 20–23, 30.

Pei HY, Yu HC, Tan GZ, Chen SJ, 2002. Investigation on moth species under black light in Harbin. *Journal of Northeast Agricultural University*, 31(4): 346–351. [裴海英, 于洪春, 谭贵忠, 陈士军, 2002. 哈尔滨市黑光灯下蛾类种类调查. 东北农业大学学报, 31(4): 346–351.]

Qian YQ, Ma KP, 1994. Theory and Methods of Biodiversity Research. Beijing: China Science Press. 161. [钱迎倩, 马克平, 1994. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社. 161.]

Shao LQ, 2015. Techno-economic evalution on high-density dwarfing cultivation pattern of apple in china. Doctoral dissertation. Shaanxi: Northwest A&F University. [邵砾群, 2015. 中国苹果矮化密植集约栽培模式技术经济评价研究. 博士学位论文. 陕西: 西北农林科技大学.]

Song LQ, Zhao LL, Li ML, Liu MY, Tang Y, Sun YX, Zhang XY, Jiang ZW, 2018. Present situation, existing problems and suggestions of new dwarf rootstock apple orchard in Yantai city. *Yantai Fruits*, (3): 26–29. [宋来庆, 赵玲玲, 李美玲, 刘美英, 唐岩, 孙燕霞, 张学勇, 姜中武, 2018. 烟台市新植矮砧苹果园发展现状、存在问题与建议. 烟台果树, (3): 26–29.]

Xu GT, Yang ZH, 2007. Garden Pests in China. Beijing: China Forestry Publishing House. 166–303, 344–367. [徐公天, 杨志华, 2007. 中国园林害虫. 北京:中国林业出版社. 166–303, 344–367.]

Yu FH, Xia CX, Li CL, Zhang HY, 2010. The trapping effect of different color plates on thrips in citrus orchard and the trapping effect of blueboard. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47 (5): 945–949. [于法辉, 夏长秀, 李春玲, 张宏宇, 2010. 不同色板对柑橘园蓟马的诱集效果及蓝板的诱捕效果. 昆虫知识, 47(5): 945–949.]

Yu GY, 2014. Atlas of Peking Moth. Beijing: Science Press. 2–478. [虞国跃, 2014. 北京蛾类图谱. 北京: 科学出版社. 2–478.]

Yu GY, Wang H, 2016. Insects in Wangjiayuan. Beijing: Science Press. 101–202, 230–458. [虞国跃, 王合, 2016. 王家园昆虫. 北京:科学出版社. 101–202, 230–458.]

Zhang WW, Li YS, 2011. Insect Ecology in China. Chongqing: Chongqing University Press. 239–378, 413–612. [张巍巍, 李元胜, 2011. 中国昆虫生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社. 239–378, 413–612.]