

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2015.04.013

苹果蠹蛾在中国的扩散与危害

徐 婧¹, 刘 伟^{1,2,3}, 刘 慧⁴, 吴立峰⁴, 张润志^{1,2*}

¹中国科学院动物研究所动物进化与系统学院重点实验室, 北京 100101; ²中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; ³中国科学院大学, 北京 100049; ⁴全国农业技术推广服务中心植物检疫处, 北京 100125

摘要:【背景】苹果蠹蛾原产于欧亚大陆,是世界著名的严重危害苹果生产的入侵害虫,也是中国的重要对外检疫性有害生物。【方法】通过收集整理历史文献、资料,并于 2005~2013 年使用标准性信息素诱芯对全国各苹果、梨主产区的苹果蠹蛾发生情况进行系统监测,明确该虫在我国的分布现状及扩散历史;此外,使用特定公式对苹果蠹蛾在发生区造成的当前经济损失和扩散完成后的潜在经济损失进行了系统评估,以明确该虫在我国的现有和潜在危害。【结果】苹果蠹蛾于 1953 年首次在中国新疆被发现,目前在中国分布于新疆、甘肃、内蒙古、宁夏、黑龙江、辽宁和吉林 7 省的 144 个县(市、区、旗),主要集中在东经 74.56°~106.8°以及东经 120.02°~132.95°,发生面积约 49410 hm²;经济损失评估结果显示,苹果蠹蛾导致中国苹果和梨的潜在减产数量为 185.01 万和 81.33 万 t。【结论与意义】该虫已在中国形成东西 2 个分布区,对占据中国苹果产量 80% 的西北黄土高原(陕西为主)和渤海湾(山东、河北、辽宁为主)两大苹果主产区构成了严重威胁,须引起高度重视。

关键词: 苹果蠹蛾; 入侵生物; 中国; 分布; 扩散; 经济损失

Spread and impact of the codling moth *Cydia pomonella* (L.) in China

Jing XU¹, Wei LIU^{1,2,3}, Hui LIU⁴, Li-feng WU⁴, Run-zhi ZHANG^{1,2*}

¹Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ²State Key Laboratory of Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ⁴Plant Quarantine Department, The National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China

Abstract:【Background】Originating in Eurasia, the codling moth *Cydia pomonella* (L.) has become a notorious invasive pest that has caused severe damage to the world's pome and drupe fruit industries. This insect is also an important foreign quarantine pest in China.【Method】In order to clarify the current distribution and dispersal history of this pest, historical literature and documents were collected, and a systematic monitoring program was conducted in China's major apple and pear producing areas by using standard sex pheromone lures. The current and potential damage of codling moth to China's fruit industry were calculated using specific formulas.【Result】The codling moth was first detected in Xinjiang Province in 1953. By October, 2013, this pest was present in 144 counties in 7 Chinese provinces, including Xinjiang, Gansu, Inner Mongolia, Ningxia, Liaoning, Heilongjiang and Jilin. The main concentrations were between 74.56°E~106.8°E and 120.02°E~132.95°E. The currently infested areas cover 49410 hm². The potential yield loss in China caused by the codling moth were 1850100 tons of apple and 813300 tons of pear.【Conclusion and significance】Our study confirmed that the distribution of the codling moth in China was divided into two regions, a western and an eastern one, and this distribution pattern posed serious threat to the apple industry of the Northwest Plateau (primarily in Shaanxi Province) and Bohai Bay (primarily in Shandong, Hebei, and Liaoning provinces). Because these two regions represented the two major apple producing areas and account for 80% of apple production in China.

Key words: codling moth; invasive biology; China; distribution; spread; economic loss

收稿日期(Received): 2015-06-08 接受日期(Accepted): 2015-10-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903042)

作者简介: 徐婧, 女, 助理研究员。研究方向: 入侵害虫综合治理。E-mail: xujing@ioz.ac.cn

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn

苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 是世界著名的入侵性害虫, 严重威胁温带地区仁果类(苹果、梨)和核果类(杏、李、桃、油桃和樱桃)水果的生产。该虫原产于欧亚大陆南部地区, 19 世纪后随苹果种植栽培面积的扩大而在世界范围内传播扩散(Franck *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 1996; Shel'Deshova, 1967)。在欧亚大陆, 该虫已扩展到最初分布区以外的广阔地区, 欧洲的所有苹果种植国(Meraner *et al.*, 2008; Shel'Deshova, 1967)和亚洲的中国(张学祖, 1957)、哈萨克斯坦(Sugonyaev, 2009)、巴基斯坦(Ahmad *et al.*, 2003)、伊朗(Aghdam *et al.*, 2009)、以色列(Reuveny & Cohen, 2004)、叙利亚(Mansour, 2002)等国均有苹果蠹蛾的发生。在北美洲, 苹果蠹蛾分布北界位于加拿大南部, 南界位于美国南部与墨西哥北部(Tang *et al.*, 2007; Wearing *et al.*, 2001; Willett *et al.*, 2009)。在南半球, 苹果蠹蛾在澳洲的澳大利亚(Geier, 1963)、新西兰(Wearing, 1979)、非洲的南非(Timm *et al.*, 2006)、南美洲的阿根廷(Botto & Glaz, 2010)、乌拉圭(Nuñez & Scatoni, 2001)、巴西(Kovaleski & Mumford, 2007)、智利(Basoalto *et al.*, 2010)、秘鲁(Willett *et al.*, 2009)和哥伦比亚(Judd *et al.*, 1997)等国均有发生。

由于国际贸易和运输活动的日益增多, 那些尚无苹果蠹蛾发生的果树产区持续受到外界苹果蠹蛾传入压力的影响。1991 年, 巴西首次监测到苹果蠹蛾的地点为瓦卡里亚, 它是巴西第二大苹果产区, 其与重要港口城市阿雷格里港相距不足 200 km(Kovaleski & Mumford, 2007)。1987~1999 年, 美国加州出口到日本和韩国的樱桃中共查出苹果蠹蛾幼虫 11 头(Wearing *et al.*, 2001)。2000 年以后, 我国台湾防检部门多次从美国、法国、新西兰、智利等国进口的苹果中截获苹果蠹蛾幼虫(Hansen *et al.*, 2007; Oung, 2007; Staff, 2007; Wright, 2007)。这些迹象表明, 苹果蠹蛾正在威胁最后的苹果蠹蛾非发生区。

中国是苹果生产大国, 2012 年苹果产量和种植面积均位居世界首位, 分别为 3700.15 万 t 和 206.02 万 hm^2 , 占世界苹果产量的 48.44% 和世界苹果种植面积的 42.54% (FAOSTAT, 2015)。1953 年最早报道苹果蠹蛾在中国新疆造成危害(张学祖, 1957), 1984~1994 年中国东部地区没有苹果蠹蛾发生(National Codling Moth Cooperative Research Group, 1994)。Men *et al.* (2013) 指出, 苹果蠹蛾在新疆全

境、甘肃大部分地区及黑龙江局部地区发生。目前, 有关苹果蠹蛾在中国发生与分布的详细报道较少。因此, 本研究提供了苹果蠹蛾在中国扩散和分布的详细信息, 以及该虫对苹果、梨等造成的现有危害情况, 并根据该虫的潜在分布区研究结果, 评估其在中国的潜在危害。

1 材料与方法

1.1 历史文献整理

20 世纪 50~70 年代, 苹果蠹蛾在我国分布的信息主要来源于张学祖(1957、1960)和中华人民共和国农业部(2015)。

1.2 苹果蠹蛾的监测

使用苹果蠹蛾性信息素诱捕器对苹果蠹蛾进行监测。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, 每个质量为 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), 由钙塑瓦楞版制成, 其横向截面为边长 18 cm 的等边三角形, 其纵向长度为 25 cm, 底部放置粘虫胶板(长 25 cm×宽 18 cm)。

2005~2013 年, 对全国苹果生产区的苹果蠹蛾进行了监测, 每个县(市)设 5~10 个固定监测点, 每个监测点设置 6 个诱捕器; 此外, 在公路、果汁加工厂、苹果贸易市场等容易传入的地方, 部署补充监测点。诱捕器安放高度保持在 1.5~2.0 m。每年 4~10 月份进行监测调查, 每周检查诱蛾情况, 每 4 周更换一次诱芯和粘胶片。当监测发现苹果蠹蛾成虫后, 对附近 30 km 内的果园进行剖果调查, 以确认苹果蠹蛾是否真正定居或是偶然携带传入。

1.3 经济损失评估

经济损失评估包括当前经济损失评估和扩散完成后的潜在经济损失评估 2 个部分。损失组分包括产量损失和防治费用。

经济损失按照以下方法计算:

$$E = A + C, A = Y \times r \times (1 - e) \times a \times i \times P, C = S \times C_u \times i \times a$$

其中, E 表示经济损失, A 表示产量损失(苹果和梨), C 表示防治费用, Y 表示作物产量, r 表示防

治前产量损失率(按 50% 计算)(巴哈提古丽, 2009; 张学祖, 1957), e 表示防效(按 90% 计算)(秦占毅等, 2007), a 表示适生系数[指适生程度, 该系数与损失率相关; 当前损失计算中该系数为 1, 潜在损失计算中参照杨瑞(2008)的方法确定不同省份的适生系数(表 1)], i 表示发生面积系数[指发生面积占区域面积的比例系数; 当前损失计算中该系数为 1, 潜在损失计算中以适生面积除以该省行政面积获得(杨瑞, 2008; 表 1)], P 表示市场价格[苹果按 $5829 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ (954 美元 $\cdot \text{t}^{-1}$, 根据 2012 年人民币兑美元平均汇率 6.11 转换为人民币单位, 下同), 梨按 $5328 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ (872 美元 $\cdot \text{t}^{-1}$) 计算(FAOSTAT, 2015)], S 表示分布区作物面积[当前分布区数据来源于有关省区植保部门, 潜在分布区数据来源于中国农业年鉴编辑委员会(2013); 表 1], C_u 表示单位面积防治成本(中国当前苹果蠹蛾发生省份的实际防治费用按 $1650 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 计算)。

2 结果与分析

2.1 地理分布

截至 2013 年 10 月, 苹果蠹蛾已在中国 7 省区的 144 个县(市、区、旗)内发生, 总发生面积约为 49410 hm^2 , 其具体分布情况详见表 2。在新疆境内, 苹果蠹蛾的发生县(市)共有 85 个, 发生面积约为 29493 hm^2 , 占该区 2012 年苹果、梨、杏这 3 种主要寄主总种植面积(344079 hm^2)的 8.57%。在甘肃境内, 苹果蠹蛾的发生县(市)共有 27 个, 发生面积约为 16866 hm^2 , 占该省 2012 年苹果和梨总种植面积(320200 hm^2)的 5.27%。在内蒙古境内, 苹果蠹蛾的发生县(市、旗)共有 4 个, 发生面积约为 230 hm^2 , 占该区 2012 年苹果和梨总种植面积(25600 hm^2)的 0.90%。在宁夏境内, 苹果蠹蛾的发生县(市)共有 3 个, 发生面积约为 1667 hm^2 , 占该区 2012 年苹果和梨总种植面积(41800 hm^2)的 0.40%。在黑龙江境内, 苹果蠹蛾的发生县(市)为 21 个, 发生面积约为 744 hm^2 , 占该省 2012 年苹果和梨总种植面积(15600 hm^2)的 4.77%。在辽宁境内, 苹果蠹蛾的发生县(市)共有 3 个, 发生面积约为 220 hm^2 , 占该省 2012 年苹果和梨总种植面积(112700 hm^2)的 0.20%。在吉林境内, 苹果蠹蛾仅

在珲春市发生, 发生面积约为 190 hm^2 , 占该省 2012 年苹果和梨总种植面积(27300 hm^2)的 0.70%。

从经度上分析, 在东经 90° 以西, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 79 个, 发生省份仅为新疆。在东经 $90^\circ \sim 110^\circ$, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 40 个, 发生省份包括新疆、甘肃、宁夏以及内蒙古。在东经 120° 及以东, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 25 个, 发生省份包括辽宁、黑龙江和吉林。苹果蠹蛾在我国的最东端发生点为黑龙江的虎林市, 经度为东经 132.95° ; 最西端发生点为新疆乌恰县, 经度为东经 74.56° (表 2、图 1)。

从纬度上分析, 在纬度 $35^\circ \sim 40^\circ$, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 55 个, 发生省份包括甘肃、内蒙古、宁夏以及新疆。在纬度 $40^\circ \sim 45^\circ$, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 63 个, 发生省份包括甘肃、内蒙古、新疆、辽宁、吉林和黑龙江。在纬度 45° 往北, 苹果蠹蛾发生县(市)有 26 个, 发生省份包括黑龙江及新疆。苹果蠹蛾在我国的最南发生点为甘肃兰州市西固区, 纬度为北纬 35.89° , 已进入陕西省苹果主产区的边缘; 最北发生点为新疆哈巴河县, 纬度为北纬 48.04° (表 2、图 1)。

从海拔上分析, 在海拔 500 m 以下, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 34 个, 发生省份包括新疆、辽宁、吉林和黑龙江。在海拔 500~1000 m, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 27 个, 发生省份包括新疆、内蒙古和黑龙江。在海拔 1000~1500 m, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 57 个, 发生省份包括新疆、甘肃、宁夏和内蒙古。在海拔 1500~2000 m, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共为 16 个, 发生省份包括新疆、甘肃及内蒙古。在海拔 2000 m 以上, 苹果蠹蛾的发生县(市)一共有 10 个, 包括甘肃的 7 个县(市、区)和新疆的 3 个县(市、区)。苹果蠹蛾在我国的最低发生点为新疆的吐鲁番市, 海拔高度 -38 m; 最高发生点为甘肃肃南县, 海拔高度为 3200 m (表 2)。

2.2 扩散路线和阶段

苹果蠹蛾在中国的扩散路线主要有 2 条: (1) 新疆—甘肃一线由西北地区向东朝中国中部地区延伸(称为西部路线, 图 1A); (2) 黑龙江—吉林一线由东北地区向华东地区延伸(称为东部路线, 图 1A)。

表 1 苹果蠹蛾当前分布区和潜在分布区的苹果和梨的产量(万 t)、种植面积(万 hm²)及当前经济损失和潜在经济损失(百万元·年⁻¹)
Table 1 Production (×10⁴ t) and cultivated area (×10⁴ hm²) of apples and pears in currently infested areas and areas potentially subject to infestation, and the current economic loss and potential economic loss (×10⁶ RMB per year) of each region

省份 Province	产量 Production				面积 Cultivated area				a	i	产量损失 Yield loss				防治费用 Control cost				合计 Total										
	苹果 Apple		梨 Pear		苹果 Apple		梨 Pear				苹果 Apple		梨 Pear		苹果 Apple		梨 Pear		苹果 Apple		梨 Pear		合计 Total						
	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential			当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential	当前 Current	潜在 Potential					
陕西 Shaanxi	0.00	965.09	0.00	89.69	0.00	64.52	0.00	4.86	0.90	1.00	0.00	2531.48	0.00	215.04	0.00	2746.52	0.00	958.12	0.00	72.17	0.00	1030.29	0.00	3489.60	0.00	287.21	0.00	3776.81	
山东 Shandong	0.00	871.04	0.00	119.09	0.00	27.96	0.00	4.25	0.75	1.00	0.00	1903.98	0.00	237.94	0.00	2141.93	0.00	346.01	0.00	52.59	0.00	398.60	0.00	2249.99	0.00	290.54	0.00	2540.53	
河北 Hebei	0.00	311.46	0.00	445.05	0.00	23.57	0.00	19.40	0.85	1.00	0.00	771.59	0.00	1007.77	0.00	1779.36	0.00	330.57	0.00	272.09	0.00	602.65	0.00	1102.16	0.00	1279.86	0.00	2382.01	
甘肃 Gansu	9.79	185.62	1.68	32.05	1.50	28.39	0.19	3.63	0.95	1.00	28.53	513.94	4.47	81.11	33.00	595.05	24.70	445.01	7.37	56.90	32.07	501.91	53.23	958.95	11.84	138.01	65.07	1096.97	
山西 Shanxi	0.00	375.24	0.00	66.36	0.00	15.07	0.00	3.51	0.75	1.00	0.00	820.23	0.00	132.59	0.00	952.82	0.00	186.49	0.00	43.44	0.00	229.93	0.00	1006.72	0.00	176.02	0.00	1182.74	
辽宁 Liaoning	0.23	263.41	0.16	154.72	0.01	13.90	0.01	9.88	0.80	0.90	0.66	552.75	0.42	296.77	1.08	849.52	0.20	165.13	0.69	117.37	0.89	282.51	0.86	717.88	1.11	414.14	1.97	1132.02	
新疆 Xinjiang	12.79	82.10	22.22	95.01	1.31	8.39	1.64	7.02	0.95	1.00	37.28	227.32	59.20	240.45	96.48	467.77	21.57	131.51	97.68	110.04	119.25	241.55	58.84	358.83	156.89	350.49	215.73	709.32	
河南 Henan	0.00	436.70	0.00	104.39	0.00	17.88	0.00	5.20	0.25	1.00	0.00	318.19	0.00	69.52	0.00	387.71	0.00	73.76	0.00	21.45	0.00	95.21	0.00	391.95	0.00	90.97	0.00	482.92	
宁夏 Ningxia	2.05	48.94	0.00	1.42	0.00	41.63	0.00	4.06	0.00	0.95	1.00	5.98	135.50	0.00	3.59	5.98	139.10	2.76	62.39	0.00	3.14	2.76	65.52	8.74	197.89	0.00	6.73	8.74	204.62
云南 Yunnan	0.00	32.24	0.00	41.63	0.00	4.06	0.00	5.22	0.35	1.00	0.00	32.89	0.00	38.82	0.00	71.70	0.00	23.45	0.00	30.15	0.00	53.59	0.00	56.33	0.00	68.96	0.00	125.30	
江苏 Jiangsu	0.00	60.12	0.00	74.82	0.00	3.43	0.00	3.94	0.20	1.00	0.00	35.04	0.00	39.86	0.00	74.91	0.00	11.32	0.00	13.00	0.00	24.32	0.00	46.36	0.00	52.87	0.00	99.23	
安徽 Anhui	0.00	38.66	0.00	106.93	0.00	1.55	0.00	3.73	0.20	1.00	0.00	22.53	0.00	56.97	0.00	79.51	0.00	5.12	0.00	12.31	0.00	17.42	0.00	27.65	0.00	69.28	0.00	96.93	
四川 Sichuan	0.00	48.83	0.00	96.03	0.00	3.29	0.00	8.33	0.20	0.80	0.00	22.77	0.00	40.93	0.00	63.70	0.00	8.69	0.00	21.99	0.00	30.68	0.00	31.46	0.00	62.92	0.00	94.38	
北京 Beijing	0.00	10.30	0.00	16.26	0.00	0.78	0.00	0.91	0.80	1.00	0.00	24.02	0.00	34.65	0.00	58.67	0.00	10.30	0.00	12.01	0.00	22.31	0.00	34.31	0.00	46.67	0.00	80.98	
内蒙古 Inner Mongolia	0.06	14.37	0.15	7.49	0.01	1.81	0.02	0.75	0.75	0.80	0.19	25.13	0.40	11.97	0.58	37.10	0.13	17.92	0.66	7.43	0.79	25.34	0.32	43.05	1.06	19.40	1.37	62.44	
湖北 Hubei	0.00	1.06	0.00	53.64	0.00	0.20	0.00	3.73	0.25	1.00	0.00	0.77	0.00	35.72	0.00	36.50	0.00	0.83	0.00	15.39	0.00	16.21	0.00	1.60	0.00	51.11	0.00	52.71	
黑龙江 Heilongjiang	0.52	15.07	0.32	3.73	0.04	1.16	0.03	0.40	0.70	0.80	1.51	24.60	0.84	5.56	2.36	30.16	0.66	10.72	1.39	3.70	2.05	14.41	2.17	35.31	2.24	9.26	4.41	44.58	
天津 Tianjin	0.00	4.96	0.00	3.62	0.00	0.47	0.00	0.41	0.85	1.00	0.00	12.29	0.00	8.20	0.00	20.48	0.00	6.59	0.00	5.75	0.00	12.34	0.00	18.88	0.00	13.95	0.00	32.83	
吉林 Jilin	0.23	16.67	0.00	11.26	0.02	1.36	0.00	1.37	0.40	0.60	0.68	11.66	0.00	7.20	0.68	18.86	0.31	5.39	0.00	5.43	0.31	10.81	0.99	17.05	0.00	12.62	0.99	29.67	
贵州 Guizhou	0.00	2.49	0.00	21.72	0.00	0.96	0.00	4.81	0.10	0.80	0.00	0.58	0.00	4.63	0.00	5.21	0.00	1.27	0.00	6.35	0.00	7.62	0.00	1.85	0.00	10.98	0.00	12.83	
青海 Qinghai	0.00	0.59	0.00	0.47	0.00	0.17	0.00	0.09	0.25	1.00	0.00	0.43	0.00	0.31	0.00	0.74	0.00	0.70	0.00	0.35	0.00	1.05	0.00	1.13	0.00	0.66	0.00	1.79	
西藏 Tibet	0.00	0.44	0.00	0.12	0.00	0.13	0.00	0.01	0.20	1.00	0.00	0.26	0.00	0.06	0.00	0.32	0.00	0.43	0.00	0.03	0.00	0.46	0.00	0.69	0.00	0.10	0.00	0.78	
合计 Total	25.67	3785.40	24.52	1545.50	3.05	223.03	1.89	91.65			74.83	7987.94	65.33	2569.69	140.16	1057.63	50.33	2801.69	1078.00	883.06	158.12	3684.75	125.15	10789.63	173.13	3452.75	298.28	14242.38	

a 表示适生系数[指适生程度,该系数与损失率相关;当前损失计算中该系数为 1,潜在损失计算中参照杨瑞(2008)的方法确定不同省份的适生系数];i 表示发生面积系数[指发生面积占区域面积的比
例系数;当前损失计算中该系数为 1,潜在损失计算中以适生面积除以该省行政面积获得(杨瑞,2008)]。

"a" is the coefficient of suitability [represents the degree of suitability and has a relationship with the loss rate. For the estimation of current economic loss (CEL) "a" was assigned a value of 1. For the estimation
of potential economic loss (PEL), the values for the different provinces were determined according to the suitability analysis of Yang (2008)]; "i" is the coefficient for the infested area [represents the proportion of the
total area that is infested. For the estimation of CEL, "i" was assigned a value of 1. For the estimation of PEL, the values for the different provinces were calculated by dividing the area suitable for the codling moth (Yang
2008) by the total administrative area].

表2 苹果蠹蛾在中国的分布情况

Table 2 The distribution of codling moth in China

省份 Province	县/市/旗 [纬度, 经度, 平均海拔高度 (m)] County/city [latitude, longitude and average altitude (m)]	首次发现时间 ^b Year of first detection	发生面积 ^b Infested area (hm ²)
新疆 Xinjiang	库尔勒市 Korla (41.68°, 86.06°, 935) 阿克苏市 Aksu (41.15°, 80.32°, 1108), 拜城县 Baicheng (41.82°, 81.85°, 1254), 额敏县 Emin (46.54°, 83.64°, 521), 巩留县 Gongliu (43.47°, 82.22°, 774), 和布克赛尔县 Hoboksar (46.80°, 85.70°, 1323), 霍城县 Horgas (44.17°, 80.47°, 692), 和田县 Hotan (37.15°, 79.92°, 1340), 和田市 Hotan Shi (37.15°, 79.92°, 1340), 伽师县 Jiashi (39.49°, 76.80°, 1201), 喀什市 Kashi (39.50°, 75.99°, 1324), 库车县 Kuqa (41.68°, 82.97°, 1036), 奎屯县 Kuytun (44.45°, 84.94°, 438), 轮台县 Luntai (41.79°, 84.29°, 962), 玛纳斯县 Manas (44.30°, 86.22°, 469), 墨玉县 Moyu (37.30°, 79.70°, 1331), 尼勒克县 Nilka (43.82°, 82.50°, 1138), 莎车县 Shache (38.44°, 77.22°, 1230), 鄯善县 Shanshan (42.84°, 90.24°, 413), 沙湾县 Shawan (44.32°, 85.57°, 560), 塔城市 Tacheng (46.77°, 82.99°, 569), 特克斯县 Tekes (43.22°, 81.82°, 1227), 吐鲁番市 Turpan (42.90°, 89.19°, -38), 乌鲁木齐市 Urumqi (43.75°, 87.60°, 937), 乌苏市 Usu (44.47°, 84.69°, 430), 温宿县 Wensu (41.29°, 80.22°, 1135), 沙雅县 Xayar (41.24°, 82.85°, 978), 新和县 Xinhe (41.54°, 82.64°, 1007), 新源县 Xinyuan (43.42°, 83.27°, 963), 伊宁县 Yining (43.99°, 81.60°, 798), 伊宁市 Yining Shi (43.92°, 81.34°, 657), 裕民县 Yumin (46.20°, 82.99°, 725) 阿合奇县 Akqi (40.90°, 78.42°, 2326), 阿克陶县 Akto (39.15°, 75.92°, 1321), 阿拉尔市 Alear (40.50°, 81.00°, 1100), 阿勒泰市 Altay (47.84°, 88.20°, 1196), 阿图什市 Artux (39.70°, 76.14°, 1324), 阿瓦提县 Awant (40.62°, 80.37°, 1049), 巴楚县 Bachu (39.79°, 78.54°, 1121), 巴里坤县 Barkol (44.42°, 93.51°, 1650), 博湖县 Bohu (41.97°, 86.55°, 1052), 博乐市 Bole (44.95°, 82.14°, 521), 布尔津县 Burqin (47.69°, 86.99°, 488), 昌吉市 Changji (44.04°, 87.30°, 561), 福海县 Fuhai (47.15°, 87.52°, 496), 阜康市 Fukang (44.15°, 87.97°, 568), 富蕴县 Fuyun (47.04°, 89.49°, 925), 哈巴河县 Habahe (48.04°, 86.44°, 521), 哈密市 Hami (42.84°, 93.47°, 765), 和静县 Hejing (42.30°, 86.37°, 1094), 和硕县 Hoxu (42.22°, 86.85°, 1066), 呼图壁县 Hutubi (44.20°, 86.90°, 510), 吉木乃县 Jeminay (47.42°, 85.87°, 1021), 吉木萨尔县 Jimsar (44.00°, 89.19°, 726), 精河县 Jinghe (44.65°, 82.94°, 272), 柯坪县 Kalpin (40.54°, 79.04°, 1178), 洛浦县 Lop (37.14°, 80.19°, 1332), 麦盖提县 Markit (38.94°, 77.64°, 1176), 民丰县 Minfeng (37.07°, 82.65°, 1423), 木垒县 Mori (43.80°, 90.35°, 1348), 皮山县 Pishan (37.67°, 78.30°, 1344), 察布查尔县 Qapqal (43.84°, 81.14°, 599), 且末县 Qiemo (38.17°, 85.50°, 1248), 青河县 Qinghe (46.70°, 90.37°, 1316), 策勒县 Qira (37.04°, 80.77°, 1368), 奇台县 Qitai (44.02°, 89.354°, 755), 若羌县 Ruoqiang (39.02°, 88.19°, 901), 石河子市 Shihezi (44.30°, 86.00°, 449), 疏附县 Shufu (39.240°, 75.82°, 1365), 疏勒县 Shule (39.39°, 76.04°, 1272), 图木舒克市 Tiumchouq (39.80°, 79.02°, 1080), 托克逊县 Toksun (42.77°, 88.65°, 9), 托里县 Toli (45.20°, 83.04°, 1500), 温泉县 Wenquan (44.97°, 81.10°, 1276), 乌恰县 Wuqia (39.80°, 74.56°, 2890), 乌什县 Wushi (41.19°, 79.22°, 1440), 焉耆县 Yanqi (42.04°, 86.59°, 1057), 叶城县 Yecheng (37.89°, 77.37°, 1349), 英吉沙县 Yengisar (38.95°, 76.15°, 1291), 伊吾县 Yiwu (43.32°, 94.65°, 1862), 岳普湖县 Yopurga (39.20°, 76.80°, 1202), 尉犁县 Yuli (41.35°, 86.24°, 889), 于田县 Yutian (36.87°, 81.65°, 1420), 泽普县 Zepu (38.20°, 77.25°, 1274), 昭苏县 Zhaosu (42.67°, 80.45°, 1900)	1953^a 1953~1957^a 1987 年之前 Before 1987	29493
甘肃 Gansu	敦煌市 Dunhuang (40.14°, 94.69°, 1139) 瓜州县 Guazhou (40.47°, 95.65°, 1153) 玉门市 Yumen (39.82°, 97.59°, 2215) 肃州区 Suzhou (39.74°, 98.52°, 1463) 金塔县 Jinta (39.99°, 98.89°, 1270) 高台县 Gaotai (39.39°, 99.84°, 1345) 临泽县 Linze (39.14°, 100.15°, 1464) 甘州区 Ganzhou (38.94°, 100.44°, 1486) 民乐县 Minle (38.44°, 100.84°, 2306) 肃南县 Sunan (38.28°, 100.58°, 3200) 山丹县 Shandan (38.77°, 101.10°, 1767) 嘉峪关市 Jiayuguan (39.80°, 98.24°, 1698) 兰州市七里河区 Qilihe district, Lanzhou (36.00°, 103.85°, 1540) 兰州市西固区 Xigu district, Lanzhou (35.89°, 103.92°, 1560) 永昌县 Yongchang (38.24°, 101.97°, 1993) 民勤县 Minqin (38.62°, 103.10°, 1370) 兰州市城关区 Chengguan district, Lanzhou (36.04°, 103.51°, 1509)	1987 1994 1994 1995 1999 2003 2004 2005 2005 2006 2006 2006 2007 2007 2007 2007 2008	16866

续表 2

省份 Province	县/市/旗 [纬度 , 经度 , 平均海拔高度 (m)] County/city [latitude , longitude and average altitude (m)]	首次发现时间 ^b Year of first detection	发生面积 ^b Infested area (hm ²)
内蒙古 Inner Mongolia	兰州市宁安区 Ning'an district, Lanzhou (36.17° , 103.72° , 1540)	2008	230
	景泰县 Jingtai (37.17° , 104.04° , 1645)	2008	
	皋兰县 Gaolan (36.34° , 103.97° , 1690)	2008	
	凉州区 Liangzhou (37.91° , 102.76° , 1632)	2008	
	白银区 Baiyin (36.55° , 104.20° , 1697)	2008	
	古浪县 Gulang (37.28° , 102.51° , 2387)	2009	
	永登县 Yongdeng (36.44° , 103.16° , 2122)	2009	
	金川区 Jinchuan (38.49° , 102.32° , 2000)	2010	
	靖远县 Jingyuan (36.74° , 104.73° , 2000)	2012	
	红古区 Honggu (36.30° , 103.05° , 1980)	2012	
宁夏 Ningxia	额济纳旗 Ejin Qi (41.97° , 101.07° , 953)	2006	1667
	阿拉善左旗 Alxa Zuoqi (38.84° , 105.69° , 1555)	2008	
	乌海市渤海湾區 Bohaiwan district, Wuhai (39.67° , 106.80° , 1093)	2009	
	阿拉善右旗 Alxa Youqi (40.18° , 102.44° , 1300)	2010	
黑龙江 Heilongjiang	中卫市沙坡头区 Shapotou district, Zhongwei (37.59° , 105.19° , 1230)	2008	744
	青铜峡 Qingtongxia (37.94° , 105.99° , 1136)	2009	
	中宁县 Zhongning (37.49° , 105.67° , 1186)	2009	
	东宁县 Dongning (44.05° , 131.12° , 129)	2006	
	海林市 Hailin (44.59° , 129.35° , 261)	2007	
	虎林市 Hulin (45.79° , 132.95° , 93)	2007	
	鸡东县 Jidong (45.29° , 131.05° , 285)	2007	
	鸡西市鸡冠区 Jiguan district, Jixi (45.30° , 130.95° , 234)	2007	
	鸡西市恒山区 Hengshan district, Jixi (45.13° , 130.91° , 410)	2007	
	鸡西市城子河区 Chengzihe district, Jixi (45.37° , 131.02° , 250)	2007	
	林口县 Linkou (45.127° , 130.24° , 275)	2007	
	密山市 Mishan (45.54° , 131.84° , 147)	2007	
	牡丹江市东安区 Dong'an district, Mudanjiang (44.59° , 129.60° , 241)	2007	
	牡丹江市阳明区 Yangming district, Mudanjiang (44.58° , 129.78° , 230)	2007	
	牡丹江市爱民区 Aimin district, Mudanjiang (44.68° , 129.54° , 235)	2007	
	牡丹江市西安区 Xi'an district, Mudanjiang (44.49° , 129.58° , 240)	2007	
	宁安市 Ning'an (44.35° , 129.47° , 254)	2007	
	集贤县 Jixian (46.81° , 131.14° , 200)	2012	
	宝清县 Baoqing (46.40° , 132.40° , 100)	2012	
	勃利县 Boli (45.92° , 130.81° , 550)	2012	
	佳木斯市 Jiamusi (46.80° , 130.28° , 326)	2012	
	肇州县 Zhaozhou (45.83° , 125.30° , 150)	2013	
	七台河市新兴区 Xinxing district, Qitaihe (45.81° , 130.89° , 354)	2013	
	七台河市桃山区 Taoshan district, Qitaihe (45.76° , 130.99° , 220)	2013	
辽宁 Liaoning	海城市 Haicheng (40.83° , 122.78° , 300)	2012	220
	绥中县 Suizhong (40.29° , 120.02° , 17)	2013	
	建昌县 Jianchang (40.34° , 120.32° , 368)	2013	
吉林 Jilin	珲春市 Hunchun (42.87° , 130.37° , 42)	2009	190
总发生面积 Total infested acreage (hm ²)			49410

^a 根据张学祖 (1957) 整理; ^b 其余发现时间和发生面积由全国农业技术推广服务总站及各地植保站提供。
^a Reported by Zhang (1957); ^b The other year of first detection and the size of infested area were provided by the national agro-tech extension and service center and corresponding plant protection stations.

西部路线:以首发地库尔勒市为中心扩散至整个新疆果业产区(图 1B),然后随果品运输传入甘肃省敦煌市,在甘肃境内沿东南方向逐渐扩散至瓜州县、玉门市、肃州区、金塔县、高台县、临泽县、甘州区、民乐县、肃南县、山丹县、嘉峪关市、兰州市(七里河区、西固区、城关区和宁安区)、永昌县、民勤县、景泰县、皋兰县、凉州区、白银区、鼓浪县、永登县、金川区、靖远县、红古区等 27 个县(市、区),在甘肃省内扩散的后期,传入与甘肃交界的内蒙古额济纳旗、阿拉善左旗、乌海市渤海湾区、阿拉善右

旗以及宁夏的中卫市沙坡头区、青铜峡市和中宁县(图1C)。在这一条扩散线路中,经过34年的时间,苹果蠹蛾由最初发现的新疆库尔勒向东扩散了782 km进入甘肃敦煌,平均每年扩散约21.8 km。

在传入甘肃后,23年间苹果蠹蛾在该省内自西向东扩散了1180 km,扩散速度为 $51.3\text{ km}\cdot\text{年}^{-1}$,特别是2006年以后,扩散速度加快至 $112.8\text{ km}\cdot\text{年}^{-1}$ 。

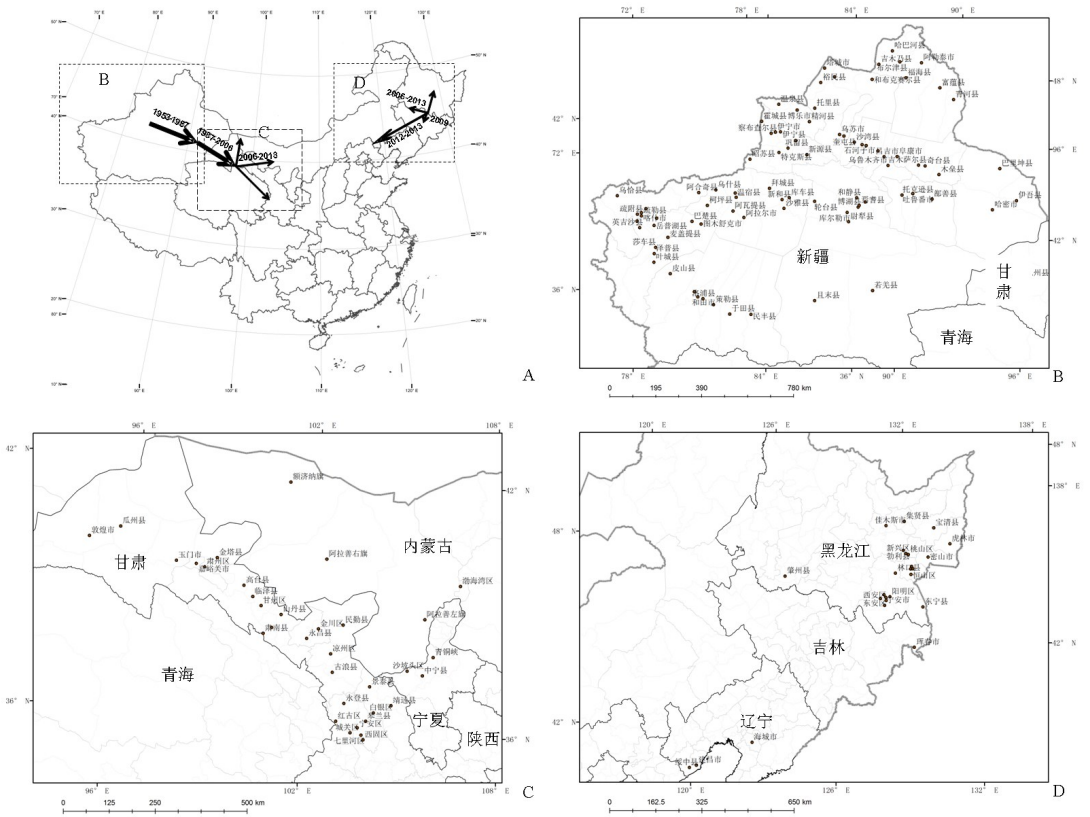


图1 苹果蠹蛾在中国的3个扩散阶段及在不同地区的具体扩散路线

Fig.1 Illustration of the 3 stages of dispersal for codling moth in China and their dispersal routes into the different regions

- A.扩散阶段与路线,第一阶段为1987年之前,第二阶段为1987~2006年,第三阶段为2006年至今;
B.新疆;C.甘肃、内蒙古及宁夏;D.辽宁、吉林及黑龙江。
A. Expansion stages and routs, stage 1 is before 1987, stage 2 is 1978~2006, stage 3 is from 2006 to now;
B. Xinjiang; C. Gansu, Inner Mongolia and Ningxia; D. Liaoning, Jilin and Heilongjiang.

东部路线:苹果蠹蛾于2006年首先在中俄交界的黑龙江省东宁县发生,随后迅速向西扩散至海林市、虎林市、鸡东县、鸡西市(鸡冠区、恒山区及城子河区)、林口县、密山县、牡丹江市(东安区、阳明区、爱民区及西安区)、宁安市、集贤县、宝清县、勃利县、肇州县、佳木斯市、七台河市(新兴区及桃山区)等21个县(市、区),向南扩散进入吉林省珲春县(图1D)。在这一条扩散路线中,经过短短1年时间,苹果蠹蛾就向西扩散至距东宁县300多km的海林市,向北扩散至距东宁县200多km的虎林市;在向黑龙江省各地扩散的同时,2009年苹果蠹蛾向南扩散至吉林省珲春市,年扩散距离约72 km。2012年后,东部地区的苹果蠹蛾分布范围呈现跳跃式扩张:向北,2012年苹果蠹蛾最远扩散至距虎林

市200 km的集贤县;向南,2012年在距离吉林省珲春市900多km的辽宁省海城市突发苹果蠹蛾疫情,2013年,辽宁省的苹果蠹蛾以海城市为原点,继续向西扩散,相继入侵距海城市200多km的绥中县和距海城市约300 km的建昌县。

苹果蠹蛾在中国的扩散过程主要分为3个阶段。第一阶段为1987年之前,苹果蠹蛾仅在中国新疆的85个县(市)发生(表2、图1)。新疆地域广阔,并且各地的果树种植区之间有众多的沙漠、草地和高山等自然屏障阻隔,因此,在这一阶段,苹果蠹蛾很可能是随中长距离的人类活动进行传播扩散。

第二阶段为1987~2006年,苹果蠹蛾突破了在新疆—甘肃之间以荒漠与戈壁为主的自然屏障,进入甘肃省(表2、图1)。苹果蠹蛾种群的自然扩散

及中短距离的人为传播是这一阶段的主要扩散方式,但由于甘肃中部适宜苹果蠹蛾生存的果树种植区狭长,对其扩散起到一定的挟制作用。这一阶段苹果蠹蛾由西向东的扩散速度相对较慢,平均年扩散距离为 30 km 左右。

第三阶段为 2006 年至今,苹果蠹蛾在除甘肃、新疆以外的省份特别是中国东部出现(表 2、图 1)。在这一阶段中,由于新发地区通常采取高强度的防治措施,短距离的自然扩散明显受到遏制,但中长距离的传播明显增强,每年平均传播距离在 100 km 以上,有时会在发生区几百公里之外出现新的疫情,表明苹果蠹蛾的传播扩散与日益密集的果品调运活动之间存在着重要联系。

2.3 苹果蠹蛾对中国苹果产业的危害

2.3.1 当前经济损失

苹果蠹蛾当前在中国造成的经济损失达 2.98 亿元·年⁻¹,其中产量损失为 1.40 亿元·年⁻¹,防治费用为 1.58 亿元·年⁻¹(表 1)。

从各分布省份分析,新疆的经济损失最为严重,其次为甘肃,这 2 个省经济损失之和占当前总经济损失的 94.14%。从损失组分分析,除新疆、内蒙古外,其余各省份的产量损失均高于防治费用。从作物分析,甘肃、宁夏和吉林 3 个省的苹果损失高于梨;辽宁、新疆、内蒙古 3 个省的梨损失高于苹果,而黑龙江省的 2 种作物损失基本相等。苹果上,各省的产量损失均大于防治费用;梨上,除宁夏和吉林无损失,其余各省产量损失均小于防治费用。当前,7 个苹果蠹蛾发生省份在苹果上的产量损失总数大于防治费用,而在梨上的产量损失总数小于防治费用。此外,7 个省在苹果上的产量损失总数大于梨,而在苹果上的防治费用总数则低于梨。

2.3.2 潜在经济损失

苹果蠹蛾在中国扩散完成后的潜在经济损失达 142.42 亿元·年⁻¹,其中潜在产量损失为 105.57 亿元·年⁻¹,潜在防治费用为 36.85 亿元·年⁻¹(表 1)。

从各分布省份分析,陕西的潜在经济损失最严重,其次为山东、河北,这 3 个省的潜在经济损失均超过 20 亿元·年⁻¹;甘肃、山西、辽宁 3 个省的潜在经济损失也超过 10 亿元·年⁻¹;上述 6 个省经济损失之和占潜在总经济损失的 85.04%。此外,潜在经济损失在 1 亿元·年⁻¹以上、10 亿元·年⁻¹以下的省份包括新疆、河南、宁夏和云南 4 个省;其余 12 个省的潜在经济损失均在 1 亿元·年⁻¹以下。

从损失组分分析,除贵州、青海和西藏外,其余各省的潜在产量损失均大于防治费用。潜在产量损失超过 10 亿元·年⁻¹的省份包括陕西、山东和河北 3 个省,在 1 亿~10 亿元·年⁻¹的省份包括甘肃、山西、辽宁、新疆、河南和宁夏 6 个省,其余 13 个省均小于 1 亿元·年⁻¹;潜在防治费用超过 10 亿元·年⁻¹的省份仅陕西,在 1 亿~10 亿元·年⁻¹的省份包括山东、河北、甘肃、山西、辽宁和新疆 6 个省;其余 15 个省均小于 1 亿元·年⁻¹。

从作物分析,除河北、云南、江苏、北京、四川、安徽、湖北和贵州 8 个省,其余省份苹果上的潜在经济损失均大于梨,部分省份苹果上的潜在损失远超过梨,如宁夏苹果上的损失是梨的 29.41 倍,陕西为 12.15 倍;同时,部分省份梨上的潜在损失远超过苹果,如湖北梨上的损失是苹果的 31.94 倍,贵州为 5.94 倍;新疆 2 种作物上的潜在损失基本相等(苹果上损失仅为梨的 1.02 倍)。苹果上,除湖北、贵州、青海和西藏 4 个省外,其余省份的潜在产量损失均大于潜在防治费用;梨上,除贵州和青海 2 个省外,其余省份的潜在产量损失均大于潜在防治费用。不论是苹果还是梨,潜在产量损失总数(22 个省总和)都大于潜在防治费用总数(22 个省总和),且苹果上的潜在产量损失和潜在防治费用均大于梨。

3 讨论

苹果蠹蛾信息支持系统(Codling moth information support system;<http://ipmnet.org/>)认为,该虫在中国分布于新疆和浙江,浙江的报道早被证实是错误的(全国苹果蠹蛾研究协作组,1994)。Wearing *et al.* (2001)指出,苹果蠹蛾在中国的分布省区为青海、宁夏、陕西、新疆和甘肃;本研究证实,苹果蠹蛾在中国陕西省和青海省并没有分布,且宁夏是 2008 年才首次发现苹果蠹蛾传入。前人错误的报道,特别是将中国最大的苹果产区陕西省列为苹果蠹蛾发生区,可能会对中国的苹果出口造成严重的负面影响。值得关注的是,近几年随着我国研究者在国际刊物上发表论文数量的增加,国际社会对中国苹果蠹蛾发生情况的了解程度也日益提高。如 2010 年欧洲和地中海植物保护组织(EPPO)在其开发的植物检疫数据检索系统(EPPO's plant quarantine data retrieval system)中,将中国的河北、湖北、吉林、辽宁和浙江 5 个省列为“尚未证实的发生区”,但 2015 年该系统已将上述五省定为“无效记录”,仅保留新疆、甘肃、宁

夏、内蒙古和黑龙江 5 个省为苹果蠹蛾发生区。

苹果蠹蛾自 20 世纪 50 年代传入中国以来,对中国的苹果和梨等水果生产造成了严重危害。早在 1992 年,苹果蠹蛾就被列为《中华人民共和国进境植物检疫危险性病、虫、杂草名录》(中华人民共和国农业部,1992)中的一类害虫,并且被列为全国农业植物检疫性有害生物(中华人民共和国农业部,2009)。由此看出,在中国,苹果蠹蛾的发生、扩散和危害得到了人们非常密切的关注和重视。

中国在苹果蠹蛾未发生地区,以及扩散可能的前沿地区,主要使用检疫措施进行阻截,对虫情进行动态监测,并对大众进行宣传引导。对苹果蠹蛾发生区进行产地检疫,并对从发生区运出地域界限的成品果实采取调运检疫。在产地内发现危害,即严禁果品运出发生区,根据危害状况确定采取销毁处理还是就地消化。在产地外一旦发现虫情,就直接销毁,严防疫情危害其他地区。

在苹果蠹蛾发生区仍然以化学防治为主。新疆、甘肃等苹果蠹蛾发生区普遍使用溴氰菊酯、氯氰菊酯、高渗苯氧威等高效低毒农药进行防治,取得了较好的效果,但由于农药对于环境的污染和虫体抗药性的增强,化学防治的应用范围逐渐减小。除化学防治外,农业防治(主要为清理果园、刮除树皮及树干束草诱集越冬幼虫)和物理防治(悬挂频振式杀虫灯诱杀成虫)也是苹果蠹蛾发生区常用的方法。

此外,2004 年中国的苹果蠹蛾非疫区建设正式启动,主要区域为包括陕西、山东等省在内的黄土高原、环渤海苹果优势产区,总面积达到了 133.3 万 hm^2 (樊民周和周靖华,2007)。另外,在划定非疫区的同时,将甘肃等发生省份作为缓冲区采取严格的防治措施,防止苹果蠹蛾经由这些地区进入非疫区发生危害。

本文在进行苹果蠹蛾损失评估时仅考虑苹果和梨 2 类水果的损失,其他受危害水果如杏等由于危害较轻或产量极少未予以考虑。同时,防治费用也主要考虑化学防治和人工防治,信息素等无公害防治的费用因目前使用较少而未考虑。

中国苹果蠹蛾分布省份的当前经济损失仅占潜在经济损失的一小部分:新疆占 30.41%,黑龙江占 9.90%,甘肃占 5.93%,吉林占 3.34%,内蒙古占 2.20%,宁夏占 0.43%,辽宁占 0.17%。可见,即使当前分布省份,苹果蠹蛾仍有很大的扩散危害空间,加大这些省份的防治力度对于非发生地区的苹

果和梨的生产具有非常重要的意义。中国苹果生产大省陕西、山东,梨生产大省河北,遭受苹果蠹蛾的潜在经济损失最严重。这 3 个省苹果和梨的产量损失分别占本省农业生产值的 3.26%、0.66% 和 0.61%。苹果蠹蛾在中国的潜在危害可高达近 20 亿美元 $\cdot$ 年 $^{-1}$,是目前中国 2 类水果出口值[约 10 亿美元 $\cdot$ 年 $^{-1}$ (FAOSTAT,2015)]的 2 倍。由此可见,即使在严格防控的情况下,未来苹果蠹蛾可在中国造成的损失也非常巨大。

本文采用 50%的减产率和 90%的防效得到苹果蠹蛾导致的苹果和梨的潜在减产数量为 185.01 万 t 和 81.33 万 t。倘若苹果蠹蛾危害更严重,减产率将达到 80%(巴哈提古丽,2009),则潜在减产数量可达 296.01 万 t 和 130.13 万 t。目前,苹果蠹蛾仅在中国局部地区发生,受影响地区的苹果和梨产量仅为 25.67 万 t 和 24.52 万 t。换言之,在中国,占世界苹果产量 48.11%和梨产量 67.94%的地区尚未遭受苹果蠹蛾入侵。在这些地区建立苹果蠹蛾非疫区,对保护中国的苹果和梨产业具有重大意义。

参考文献

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, (3): 122–124.

樊民周, 周靖华. 2007. 苹果非疫区建设的探索和思考. 植物保护, 33(3): 96–98.

林伟, 林长军, 宠金. 1996. 生态因子在苹果蠹蛾地理分布中的作用. 植物检疫, 10(1): 1–7.

秦占毅, 刘生虎, 岳彩霞, 张家银. 2007. 苹果蠹蛾的危害及综合防治技术. 落叶果树, (2): 40–41.

全国苹果蠹蛾研究协作组. 1994. 查明我国东部地区无苹果蠹蛾发生. 植物保护学报, 21(2): 169–175.

杨瑞. 2008. 苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 在中国的适生性研究. 杨凌: 西北农林科技大学.

张学祖. 1957. 苹果蠹蛾 (*Carpocapsa pomonella* L.) 在我国的新发现. 昆虫学报, 7(4): 467–472.

张学祖. 1960. 伊宁苹果蠹蛾 (*Carpocapsa pomonella* L.) 之研究. 昆虫学报, 10(1): 40–53.

中国农业年鉴编辑委员会. 2013. 中国农业年鉴 2012. 沈阳: 辽宁教育出版社.

中华人民共和国农业部. 1992. 中华人民共和国进境植物检疫危险性病、虫、杂草名录. http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=93049.

中华人民共和国农业部. 2009. 全国农业植物检疫性有害生物名单. <http://www.mofcom.gov.cn/article/b/g/200604/20060401852064.shtml>.

中华人民共和国农业部. 2015. 农业部办公厅关于印发《全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录(2014)》和

- 《各地区发生的全国农业植物检疫性有害生物名单 (2014)》的通知. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201506/t20150604_4634137.htm.
- Aghdam H R, Fathipour Y, Radjabi G and Rezapanah M. 2009. Temperature-dependeng development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology*, 38: 885–895.
- Ahmad K F, Shah W H and Jilali S. 2003. Phenology of codling moth, *Cydia pomonella* L. (Tortricidae: Lepidoptera) on apple trees in Kashmir-Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*, 19: 239–243.
- Basoalto E, Miranda M, Knight A L and Fuentes-Contreras E. 2010. Landscape analysis of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) distribution and dispersal within typical agroecosystems dominated by apple production in central Chile. *Environmental Entomology*, 39: 1399–1408.
- Botto E and Glaz P. 2010. Potential for controlling codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) in Argentina using the sterile insect technique and egg parasitoids. *Journal of Applied Entomology*, 134: 251–260.
- FAOSTAT. 2015. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- Franck P, Reyes M, Olivares J and Sauphanor B. 2007. Genetic differentiation in the codling moth: comparison between microsatllite and insecticide resistant markers. *Molecular Ecology*, 16: 3554–3564.
- Geier P W. 1963. The life history of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in the Australian capital territory. *Australian Journal of Zoology*, 11: 323–367.
- Hansen J D, Watkins M A, Heidt M L and Anderson P A. 2007. Cold storage to control codling moth larvae in fresh apples. *HortTechnology*, 17: 195–198.
- Judd G J R, Gardiner M G T and Thomson D R. 1997. Control of codling moth in organically-managed apple orchards by combining pheromone-mediated mating disruption, post-harvest fruit removal and tree banding. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 83: 137–146.
- Kovaleski A and Mumford J. 2007. Pulling out evil by the root: the codling moth *Cydia pomonella* eradication programme in Brazil//Vreysen M J B, Robinson A S and Hendrichs J. *Area-wide Control of Insect Pests, from Research to Field Implementation*. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 591–601.
- Mansour M. 2002. Effects of gamma radiation on codling moth (*Cydia pomonella*, Lepidoptera: Tortricidae) fertility and reproductive behaviour//IAEA. *Evaluation of Lepidoptera Population Suppression by Radiation Induced Sterility*, 61–68.
- Men Q L, Chen M H, Zhang Y L and Feng J N. 2013. Genetic structure and diversity of a newly invasive species, the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in China. *Biological Invasions*, 15: 447–458.
- Meraner A, Brandstätter A, Thaler R, Aray B, Unterlechner M, Niederstätter H, Parson W, Zelger R, et al. 2008. Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: I. Ancient clade splitting revealed by mitochondrial haplotype markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 825–837.
- National Codling Moth Cooperative Research Group. 1994. Investigation reveals no distribution of codling moth in the east of China. *Acta Phytophylacica Sinica*, 21: 169–175.
- Núñez S and Scatoni I. 2001. Current pest management status in IFP in Uruguay. *Integrated Fruit Production IOBC/wprs Bulletin*, 24: 259–263.
- Oung A. 2007. *Ban on Imported Apples Imposed over Moth Larvae*. <http://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2007/10/19/2003383783>.
- Reuveny H and Cohen E. 2004. Resistance of the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae) to pesticides in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 128(9–10): 645–651.
- Shel'Deshova G G. 1967. Ecological factors determining distribution of the codling moth *Lapspeyresia pomonella* L. in the Northern and Southern Hemispheres. *EntoMolecular Review*, 46: 349–361.
- Staff W. 2007. *Council Halts Chilean Apple Imports after Moth Larva Appears*. <http://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2007/05/08/2003359963>.
- Sugonyaev E S. 2009. IPM programs in commonwealth of independent states and Russia//Peshin R and Dhawan A K. *Integrated Pest Management: Dissemination and Impact*. 2nd ed. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 455–479.
- Tang J, Wang S and Johnson J A. 2007. Biology and thermal death kinetics of selected insects//Tang J, Mitcham E, Wang S and Lurie S. *Heat Treatments for Postharvest Pestcontrol: Theory and Practice*. Trowbridge, UK: Crwmwell Press, 133–161.
- Timm A E, Geertsema H and Warnich L. 2006. Gene flow among *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) geographic and host populations in South Africa. *Journal of Economic Entomology*, 99: 341–348.
- Wearing C H. 1979. Integrated control of apple pests in New Zealand 10. population dynamics of codling moth in Nelson. *New Zealand Journal of Zoology*, 6: 165–199.
- Wearing C H, Hansen J D, Whyte C, Miller C E and Brown J. 2001. The potential for spread of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) via commercial sweet cherry fruit: a critical review and risk assessment. *Crop Protection*, 20: 465–488.
- Willett M J, Neven L and Miller C E. 2009. The occurrence of codling moth in low latitude countries: validation of pest distribution reports. *HortTechnology*, 19: 633–637.
- Wright A. 2007. *Codling Moth Found on New Zealand Apples in Taiwan*. <http://www.biosecurity.govt.nz/media/14-04-07/moth.htm>.