

浅析潜在外来入侵物种——苹浅褐卷蛾^{*}

和淑琪¹ 查涛² 陈斌¹ 蒋小龙² 桂富荣¹ 李正跃^{1**}

(1. 云南农业大学植物保护学院 昆明 650201; 2. 云南省出入境检验检疫局 昆明 650228)

摘 要 苹浅褐卷蛾 *Epiphyas postvittana* 原产澳大利亚,是澳大利亚西南部、新西兰、英国及美国多种经济作物的重要害虫,目前尚未在全球范围广泛分布。由于其地理分布范围窄、寄主植物广泛、形态鉴定困难、能够对农作物造成较大的经济危害以及具有遗传多样性等特点,目前已被多数国家列为检疫对象并提出严格的检疫要求。而2007年该虫在美国加州地区的定殖使得研究人员对该虫能够造成的危害程度引起了再次的关注。在我国,该虫也被列为对外检疫对象,但是相关报道相对较少。作为检疫性害虫,对其相关信息的综合掌握是进一步进行有害生物风险分析的基础和保障。本文详细描述了苹浅褐卷蛾的地理分布、寄主范围、发生为害与环境条件的相互关系等,以期为该虫进行进一步风险分析及对其的检疫措施的制定和实施提供重要的信息与依据。

关键词 卷蛾, 生物安全, 风险分析, 外来入侵生物

Light brown apple moth *Epiphyas postvittana* : A potential invasive species to China

HE Shu-Qi¹ ZHA Tao² CHEN Bin¹ JIANG Xiao-Long² GUI Fu-Rong¹ LI Zheng-Yue^{1**}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Yunnan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Kunming 650228, China)

Abstract *Epiphyas postvittana* is a leafroller native to Australia that is currently a serious pest in south-western Australia, New Zealand, the United Kingdom and California, USA, but has a limited geographic distribution in the rest of the world. Because of its limited geographic distribution, wide host range, complicated morphological identification, ability to inflict serious damage to crops and genetic variations, this moth is considered an actionable quarantine pest in most LBAM-free countries, including China. Its recent establishment in California, USA refocused the attention of scientists as to how serious a pest this moth could be. As a quarantined pest in most LBAM-free countries, including China, an overall review of LBAM is essential to conducting a risk analysis. However, information on the moth is relatively rare in China. Here review in detail its geographic distribution, host plant species, port identification, life cycle, crop damage, environmental factors and genetic variation related to its life history traits. Further research on its potential risk to China is urgently recommended.

Key words Tortricidae, bio-security, pest risk assessment, invasive alien species

随着全球贸易和旅游的快速发展,外来物种通过人为途径传播的可能性也随之增大;而全球气候变暖的大环境又增加了外来物种在新栖息地定殖及扩散的可能性,并使其成为外来入侵物种(invasive alien species)(Dukes and Mooney, 1999),这个比例大约为外来物种的1%(Williamson, 1996)。外来入侵物种能对经济和

环境造成巨大的影响,包括:1. 当气候环境合适其发生时,种群数量剧增造成农作物减产减收;2. 对外来入侵物种的根除及防治非常困难,投入巨大,收效甚微;3. 通过竞争或者食物链关系,外来入侵物种有可能威胁到本地物种尤其是稀有物种的生存甚至引起灭绝。因此,掌握潜在外来入侵物种的地理分布、传播方式和发生规律等信息是进行

* 资助项目:国家自然科学基金项目(30860069)。

**通讯作者, E-mail: lizhengyue@263.net

收稿日期:2010-11-02,接受日期:2010-12-13

风险分析,制定和实施正确、合理的检疫措施的前提和保障。

苹浅褐卷蛾,英文名 light brown apple moth (简称 LBAM),拉丁名 *Epiphyas postvittana* 属鳞翅目,卷蛾科。该虫原产澳大利亚,目前是澳大利亚、新西兰及英国等国水果和花卉上的重要害虫 (Wearing *et al.*, 1991)。过去近 5 年来,随着苹浅褐卷蛾不断的入侵、定殖于新的入侵地区并造成严重的危害和经济损失,引起了各国生物安全部门和科学家的再次关注。而目前我国对苹浅褐卷蛾相关报道和文献资料相对较少,这对准确分析该虫潜在风险极为不利。本文结合所做的苹浅褐卷蛾分子快速鉴定及适生性分析等研究,阐述了苹浅褐卷蛾当前地理分布、寄主范围、为害特征以及影响其种群动态的相关因素和研究现状,以期为该虫进一步风险分析和制定有效检疫措施提供参考。

1 苹浅褐卷蛾作为潜在入侵生物的相关特征及研究现状

1.1 地理分布

苹浅褐卷蛾原产澳大利亚西南部,最初分布于昆士兰州 (Queensland),新南威尔士州 (New South Wales),维多利亚州 (Victoria),南澳大利亚州 (South Australia) 包括塔斯纳尼亚岛 (Tasmania) 等地,于 1968 年传播到西南部的西澳大利亚州 (Western Australia) (Danthanarayana, 1975a; Geier and Springett, 1976; Geier and Briese, 1981),目前仅在其北领地州 (North Territory) 尚未有分布记录。由于地理位置靠近澳大利亚,新西兰成为该虫最早传入定殖的国家,自 1891 年传入至今已在其境内广泛分布 (Shaw *et al.*, 1994)。1953 年传入英格兰,最初的分布局限于英格兰西南部的德文郡 (Devon) 和康沃郡 (Cornwall),目前也已经分布于英国各地 (Porter, 2001; Fountain and Cross, 2007)。1956 年分别传入新喀里多尼亚 (New Caledonia) 和夏威夷 (Danthanarayana, 1975a)。2007 年 3 月,美国农业部动植物卫生检验局 (APHIS) 确认了苹浅褐卷蛾在加利福尼亚州定殖,此后的 9 个月内使用性诱剂诱捕雄成虫共计 15 594 头 (Varela *et al.*, 2008)。根据美国农业部 (USDA) 2010 年 1 月公布的数据,该虫目前已在加州 17 个城市分布,其中 9 个城市实施检疫,而

其根除苹浅褐卷蛾的计划尚未能实现。2008 年,瑞典检测到苹浅褐卷蛾的分布是迄今为止该虫最新的入侵记录 (Suckling and Brockerhoff, 2010)。

1.2 寄主植物范围

苹浅褐卷蛾是一种极度多食性的害虫,最初取食澳洲本土常绿植物,如金合欢属植物 (*Acacias* spp.) (Danthanarayana, 1975a)。随着农业耕作及其自身对环境的适应能力,其取食范围逐渐趋于多样化。1975 年在澳大利亚记录有该虫的 28 个科 73 种寄主植物,其中包括多种外来植物种类 (Danthanarayana, 1975a); 1981 年增加至 55 科 123 种 (Geier and Briese, 1981)。Wearing 等于 1991 年统计认为该虫能危害超过 55 科的 250 多种植物,该数据接近 Thomas (1989) 统计的 265 种寄主植物。最新的统计数据表明,该虫能够取食 121 科 363 属约 500 种植物 (Suckling and Brockerhoff, 2010)。而根据美国农业部的数据,苹浅褐卷蛾可能对包括美国本土植物物种在内的 2 000 余种植物造成危害,其中包括多种果树、花卉和木材,但这一数据尚未得到进一步科学验证。目前,该虫常见的寄主植物主要包括苹果、梨、葡萄、柑橘、草莓、猕猴桃、黄瓜及辣椒等水果和蔬菜;菊科、百合及兰科等多种观赏花卉和植物;以及生长初期的松树林等林木 (Thomas, 1974; Danthanarayana *et al.*, 1995)。

在气候条件适宜的情况下,寄主范围广泛的种类更有可能在新的区域定殖 (Peacock and Worner, 2008)。苹浅褐卷蛾的寄主植物种类从单一的本地寄主植物物种增加到多种寄主植物甚至多种外来植物物种,表明该虫在新栖息地取食为害尚未有记录的寄主植物的潜力极大。由于澳大利亚和新西兰气候多变,造成寄主植物在时间、空间上的不连续性 (不同寄主植物在不同时间、地点生长),很有可能是导致苹浅褐卷蛾为适应这样的寄主分布而形成多食性的取食习性的主要原因 (Geier and Briese, 1981; Danthanarayana *et al.*, 1995)。由此说明,苹浅褐卷蛾对不同的环境条件具有较高的适应能力,取食多种寄主的习性及其潜在扩大的寄主范围增加了其潜在的风险性。

1.3 口岸截获的形态鉴定

苹浅褐卷蛾成虫前翅鳞片花纹有多种形式变化,且极易与卷蛾科的其他害虫种类相混淆,形态

鉴定相对较为困难,准确的形态鉴定常需要对其雌虫生殖器进行解剖(Dugdale *et al.*, 2005);而口岸上截获的主要是其非成虫虫态,即卵、幼虫和蛹,这使对该虫的形态鉴定更为困难。除此之外,在澳大利亚和新西兰,苹浅褐卷蛾虽然是主要的卷蛾科害虫,但是田间常与其它卷蛾科害虫混合发生,如澳大利亚的 *E. pulla* 和 *E. xyloides*,新西兰的 *Ctenopseustis obliquana*, *Planotortrix excessana* 和 *P. notopaea* (Geier and Springett, 1976; Suckling *et al.*, 1998; Brockerhoff *et al.*, 2002)。苹浅褐卷蛾成虫还能够和田间与 *E. pulla* 和 *E. xyloides* 成虫进行交配产生后代(Geier and Springett, 1976)。这样的混合发生和种间配育现象使得口岸上对苹浅褐卷蛾的形态鉴定更为复杂、困难。误检和漏检可能是该虫目前在美国加州定殖及在英国广泛分布的主要原因之一(Fountain and Cross, 2007; Suckling and Brockerhoff, 2010)。

澳大利亚和新西兰发展了多项针对苹浅褐卷蛾的检疫处理技术研究(邱宝利和陈燕平, 2006)。然而,由于该虫形态鉴定非常困难,对口岸检疫仍然是一个严峻的挑战。例如,美国自 1984—2003 年近 20 年间仅截获 55 批次苹浅褐卷蛾(或 *Epiphyas* 属卷蛾),而日本仅 2000 年 7 月至 2001 年 6 月一年间就截获共 63 批次(Takahashi, 2002)。口岸截获率从一个方面突出反映了口岸检疫的重要性,一旦发生错误鉴定,造成漏检,其单雌能迅速建立种群,潜在的风险也随之增加。

口岸检疫鉴定需要快速、准确的结果,从而有效降低有害生物带来的潜在风险,传统的形态鉴定具有很大的局限性,新的检疫方法成为解决这一问题的关键。细胞色素 *c* 氧化酶(COI)基因已经被广泛应用于检疫性害虫的快速鉴定,尤其对卵、幼虫及蛹等虫态的鉴定(Armstrong and Ball, 2005; Ball and Armstrong, 2006)。研究表明,不同分布区域采集的苹浅褐卷蛾 COI 基因种间差异小于 2.3% (Barr 未发表数据),而与其他近缘种的差异则大于 7% (Barr, 2007),因此条形码技术能够用于苹浅褐卷蛾快速、准确的鉴定,以降低该虫的入侵风险。结合形态分类建立口岸准确、快速的分子生物学鉴定体系是当务之急。

1.4 发生与危害

适宜的气候条件下,苹浅褐卷蛾可终年发生,

夏、冬季无休眠、滞育期,仅减缓生长发育速度,多以幼虫在杂草或寄主植物的落叶落果中越冬(Danthanarayana, 1975a; Geier and Briesse, 1981; Wearing *et al.*, 1991)。该虫在澳大利亚南部一年发生 3~4 代(Wearing *et al.*, 1991)。新西兰南部坎特伯雷地区一年发生 2 代;中部地区一年发生 3 代;北部如奥克兰,一年发生 4 代,并且世代重叠现象严重(Hortnet, 2000)。

越冬代成虫在 10 月产卵,卵聚产于寄主植物光滑的叶片上表皮或果实表面,卵块 4~96 粒不等(Danthanarayana, 1975a; Powell and Common, 1985; Wearing *et al.*, 1991)。雌虫产卵力受温度和寄主植物影响显著,而最大潜在出生率大约为 1 492 粒/雌(Danthanarayana, 1983)。幼虫约 1~2 周孵化,多分散于叶片背面取食,一般 2 龄期开始卷叶筑巢为害(Danthanaranaya, 1975a)。幼虫一般 6 个龄期(偶见 4、5 或 7 龄)(Danthanaranaya, 1975a)。卵于蛹期已发育成熟,成虫羽化后既可产卵(Gu and Danthanarayana, 1990a)。成虫羽化后 3 d 内如果补充以水分则产卵力及寿命显著增加(Gu and Danthanarayana, 1990b)。

苹浅褐卷蛾以幼虫通过取食植株嫩芽、叶片、花蕾和果实造成直接危害(主要为春、夏世代幼虫),并可通过传播真菌病害造成间接为害。幼虫主要在果实表面取食危害,有时蛀入果实内部(Geier and Briesse, 1981)。在澳大利亚,幼虫取食造成的产量损失在 5%~20% 之间,严重时达 30%;在新西兰,苹浅褐卷蛾直接危害的产量损失估计在 12%~70% 之间,不施用化学农药的条件下损失一般在 50% (Wearing *et al.*, 1991),而传播真菌病害造成的损失占水果产量的 16.5% (Bailey *et al.*, 1997)。在新西兰,幼虫种群数量较高时,产量损失在每公顷 2 000 纽币(Bailey *et al.*, 1996)。而 Lo 和 Murrel(2000)估计为每公顷损失在 60~360 纽币之间。APHIS(2009)统计表明,在美国 15 个受感染县苹浅褐卷蛾造成的年平均作物损失和防治费用高达 1.6~6.4 亿美元,目前尚未有具体作物损失的数据。

1.5 传播及扩散能力

飞行能力是反映有害生物传播和迁移能力之一。当环境条件发生变化,不再适宜有害生物的生存时,较强的飞行能力使有害生物迁移到新的

栖境得以存活 (Tauber *et al.*, 1986.)。因此,飞行能力也作为有害生物风险评估中一个重要的基本指标 (IPPC, 2004)。

苹浅褐卷蛾成虫的自身飞行能力相对较弱,成虫平均飞行距离不到 54.8 m,大部分的飞行距离小于 100 m,最大为 600 m (Suckling *et al.*, 1994)。但该虫能够依靠风力顺风飞行进行远距离的传播,飞行高度可达 20 m (Gu and Danthanarayana, 1990a)。苹浅褐卷蛾成虫两性之间飞行能力存在差异,雌虫较雄虫相比飞行距离远,但时间较短 (Gu and Danthanarayana, 1990a; Suckling *et al.*, 1994),雌虫飞行时间在羽化后 3 ~ 5 d 最长,雄虫则在 5 ~ 9 d (Gu and Danthanarayana, 1990a)。苹浅褐卷蛾飞行高峰期一般在日落 2 ~ 3 h (21:00 左右)和日出前 3 ~ 4 h (Danthanarayana, 1976a)。飞行高峰期是交配行为发生高峰期,因此,其飞行行为主要与繁殖有关。苹浅褐卷蛾的飞行受环境条件如温度和风速等的影响而产生季节性变化。飞行的温度阈值在 8 ~ 28°C 之间,而湿度对其影响不大,成虫在相对湿度 60% 下飞行能力最强 (Danthanarayana and Gu, 1992)。雨天或风速大于 2.8 m/s 则不能起飞 (Danthanarayana, 1976b)。

2 影响苹浅褐卷蛾种群动态及适生力的主要因素

2.1 外部因素

苹浅褐卷蛾的种群数量和分布随季节发生明显的波动,主要的影响因素包括温、湿度和寄主植物的种类、数量、质量及可获得性,自然天敌及幼虫密度等。其中,温度和寄主植物对该虫种群动态具有显著的、可预测性的影响。这些因素对预测该虫在新栖境的潜在分布是非常重要的。

2.1.1 气候条件 昆虫属于变温动物,其生长发育受气候因素的影响,尤其是温度 (Atkinson, 1994)。本文重点讨论温度和湿度对苹浅褐卷蛾种群数量、分布及生物学习性的影响。

温暖而潮湿的气候有利于苹浅褐卷蛾的生长发育,干燥炎热的气候导致该虫种群数量的显著降低。例如 1973 和 1976 年在澳大利亚 Victoria 州气候较为炎热而干燥,苹浅褐卷蛾种群数量维持在一个很低的水平,相对种群密度仅为 1974 和 1975 年的约 10% (Danthanarayana, 1983)。季节

性气候变化也对该虫的种群发育有较强的影响,春季和夏季世代与秋—冬季世代相比种群数量较大,是作物造成重要损失的季节 (Danthanarayana, 1975b)。

温度能够影响苹浅褐卷蛾的适生度,例如幼虫及蛹的发育历期、不同发育时期虫体的重量、成虫寿命、产卵量、孵化率及产卵历期等 (Danthanarayana, 1975b; Danthanarayana, 1976c; Gu and Danthanarayana, 1992b; Danthanarayana *et al.*, 1995)。试验数据表明,苹浅褐卷蛾的发育起点温度为 7 ~ 7.5°C,上限温度为 30.7 ~ 33°C,最适温区在 15 ~ 25°C 之间,在 20°C 左右发育最适温度 (Danthanarayana, 1975a; Geier and Briese, 1981; Danthanarayana *et al.*, 1995)。平均有效积温为 673.6 日·度,最低值为 620.5 日·度 (Danthanarayana, 1975a)。

湿度对苹浅褐卷蛾种群数量影响相对较小。从该虫的地理分布分析,年降水量大于 500 mm 能满足其种群发育的要求 (Geier and Briese, 1981; Wearing *et al.*, 1991; Danthanarayana *et al.*, 1995)。研究表明,苹浅褐卷蛾的种群在年平均相对湿度为 60% ~ 71% 时增长速率最快,而年降雨量在 600 ~ 800 mm,海拔相对较高 (500 ~ 1000 m) 的条件下种群增长速率也较快 (Danthanarayana and Gu, 1992; Danthanarayana *et al.*, 1995)。成虫羽化 3 d 后如果能够补充水份,则其产卵力、寿命及体重显著增长 (Gu and Danthanarayana, 1990a),这从一定程度上解释了湿润的环境条件有利于该虫生长的现象。

气候条件可影响寄主植物的分布和数量。澳大利亚和新西兰的气候条件具有较高的异质性,从时间和空间上影响了寄主植物的分布和可获得性 (Danthanarayana, 1983; Danthanarayana and Gu, 2000),从而对苹浅褐卷蛾的种群动态等造成间接的影响。

2.1.2 寄主植物 寄主植物的品种、数量、质量、发生时间及持续性等均影响到苹浅褐卷蛾的种群动态,如蛹重、成虫体长和产卵力等。Danthanarayana (1975a) 测试了 4 种苹浅褐卷蛾的寄主植物,其中在寄主植物酸模 (dock, *Rumex* 酸模属植物) 上取食的幼虫发育历期短,蛹重及成虫产卵力均显著高于取食其它 3 种寄主的幼虫。该寄主同样也能显著影响到成虫重量 (Gu and

Danthanarayana, 1992b), 发育历期及最适发育温度 (Tomkin *et al.*, 1989; Danthanarayana *et al.*, 1995), 产卵力和飞行能力 (Danthanarayana, 1976c), 幼虫对化学杀虫剂谷速松 (azinphosmethyl) 的抗药性 (Robertson *et al.*, 1990) 及天敌寄生率 (Suckling *et al.*, 2001) 等。苹浅褐卷蛾寄主植物多, 目前仅对少数常见寄主植物对其生长发育的影响进行了研究。寄主植物对苹浅褐卷蛾适生性的影响很有可能是植物体内营养物质的不同造成的, 但目前尚未有相关报道。

Danthanarayana (1983) 在实验室条件下检测了苹浅褐卷蛾幼虫对 13 种不同寄主植物的偏好。研究表明, 酸模 (dock) 是其最嗜好的寄主植物, 而该寄主的连续性 (可获得性) 显著影响了苹浅褐卷蛾种群数量。取食嫩叶的个体发育要比取食衰老叶片的个体好 (Geier and Briese, 1980a; Gu and Danthanarayana, 1992b; Mo *et al.*, 2006)。然而, 苹浅褐卷蛾可以终年连续发生, 且冬季取食落叶或冷冻干燥的树叶的幼虫发育与用新鲜树叶饲喂的幼虫发育无显著差别 (Tomkins *et al.*, 1989; Geier and Briese 1980a)。

2.1.3 自然天敌 苹浅褐卷蛾在澳大利亚及新西兰均有多类天敌, 包括捕食性、寄生性天敌及细菌和病毒等, 对控制其种群数量起到重要作用, 其中以捕食性和寄生性天敌的影响最大。例如, 蜘蛛类及螳螂类等捕食性天敌能造成卵和 1 龄幼虫较高的死亡率 (可分别高达 92.1% 和 90.7%) (Danthanarayana, 1983)。寄生蜂 *Apanteles tasmanicus* 对越冬代幼虫的寄生率可达 50% (Suckling *et al.*, 1987)。苹浅褐卷蛾的最适生长温度较低可能是为了避开天敌发生高峰期的一种适应 (Geier and Briese, 1981)。然而农药的频繁施用造成天敌种群数量的急剧下降甚至消失, 使天敌对控制该虫的作用大大减弱。

2.1.4 种群密度 苹浅褐卷蛾幼虫一般分散取食为害, 然而当其种群密度达到一定数量时, 2~3 只幼虫会共享一个丝巢 (nest), 共同在其内取食为害, 这种现象被称为低密度群集现象 (low-density larval crowding)。低密度群集性能产生低适生度的个体 (即个体及质量小, 产卵率低), 但是个体飞行能力却相应增强, 从而降低了单位面积内虫口密度, 增加了危害的范围 (Danthanarayana *et al.*, 1982)。低密度群集性是该虫对环境条件高度适

应的一个体现。

2.2 内在因素

如前所述, 苹浅褐卷蛾的外部形态及飞行能力存在显著的种间差异, 这样的种间差异还表现在该虫的生理学特性及种群数量上。除此之外, 在相同的饲养条件下 (如, 相同的饲养温、湿度及寄主植物), 不同地理种群在性比, 对核型多角体病毒 (nuclear polyhedrosis virus, NPV) 的抗性 & 一些重要的生活史特征 (如发育历期、成虫体重、成虫寿命及产卵力等) 上都存在差异 (Geier and Briese, 1980b; Gu and Danthanarayana, 2000a)。这样的差异和种群变化, 除了受外部因素的影响之外, 基因组成也是一个重要的内部因素。

苹浅褐卷蛾种内基因差异的研究报道极少。通过对苹浅褐卷蛾飞行能力的定量基因分析发现其飞行能力的差异与生活史特性显著相关 (Gu and Danthanarayana, 1992a), 并且来自澳大利亚坎布拉和墨尔本种群的飞行能力均具有遗传可能性 (Gu and Danthanarayana, 1992c)。对 2 个种群 6 个生活史特性的进一步研究同样表现出明显的遗传可能性 (Gu and Danthanarayana, 2000b)。除此之外, 来自澳大利亚和新西兰的苹浅褐卷蛾种群的 5 个生活史特征及飞行能力的研究发现, 种群间存在表型可塑性, 并且种群间各个特征差异显著, 存在显著的遗传相关性 (Gu and Danthanarayana, 2000a)。这些遗传相关性说明, 环境因素和适生性特征之间从遗传上是相互作用的, 或者说, 环境条件通过一个或多个共同的基因来影响该虫的适生性特征 (Via, 1983)。而性比及对核型多角体病毒的抗性差异表明这种差异是有遗传基础的。苹浅褐卷蛾田间种群的性比一般为 1:1。然而, Geier 和 Briese (1977) 发现了可遗传的“Q-条件”个体, 即种群内该类型的雌虫产下的后代全部或者大部分为雌虫, 而不同地理种群内“Q-条件”个体所占比例差异显著。“Q-条件”个体的存在, 使得澳大利亚大陆上苹浅褐卷蛾性比显著偏向于雌虫, 而其 Tasmania 岛上该虫性比则偏向于雄虫 (Geier and Briese, 1978)。侵染苹浅褐卷蛾的核型多角体病毒是一种澳大利亚特有的病毒, 广泛分布于苹浅褐卷蛾发生为害的区域。实验室饲养的及 Tasmania 岛上的苹浅褐卷蛾种群, 其幼虫对该病毒的抗性明显高于澳大利亚其

它区域的苹浅褐卷蛾种群,并且具有遗传可能性 (Geier and Briese, 1979)。

苹浅褐卷蛾自然种群间存在的差异很有可能是该虫对澳大利亚气候异质性的一种适应性进化 (Gu and Danthanarayana, 2000a)。苹浅褐卷蛾广泛的寄主范围,表型可塑性及对环境的适生能力等特性,都将提高该虫在新的栖境下定殖并扩散的风险 (Booy *et al.*, 2000)。

3 小结

早在 1995 年, Danthanarayana 等就提出随着国际贸易及旅游的增长,苹浅褐卷蛾传入其他国家的危险性需要给予重视和重新审核。自 2000 年以来苹浅褐卷蛾不断入侵和扩大其分布范围进一步验证了这一必要性。虽然目前仅在澳大利亚西南部、新西兰、英国及美国有严重危害的报道,苹浅褐卷蛾多食性、生物学特性的多样性等体现了该虫正在经历逐步演化以适应不断改变、趋于多样化的栖境的过程,并有可能形成种的分化 (Geier and Springett, 1976),其潜在危害性不容忽视。此外,非经济重要性昆虫在新的栖境成为重要害虫的例子并不少见。在澳大利亚,苹浅褐卷蛾的危害程度不如在新西兰严重,在英国及美国加州的严重危害也表明该虫在起源地以外引起更严重的危害的可能性极强。我国地域广阔,气候类型多样,生物资源丰富,而苹浅褐卷蛾的寄主范围广泛,且具有较强的环境适应能力,因此对该虫在我国潜在危害进行风险性分析是非常必要和紧迫的。

目前对苹浅褐卷蛾的研究多数限于室内,对田间发生规律、种群数量变化、造成的危害程度尤其是在新的栖境(如英国和美国),以及新的有效的防治方法等方面的报道相对比较少,也是非常值得进一步研究的内容。由于苹浅褐卷蛾在我国尚未分布,应主要对其潜在的风险进行分析,如利用气候模型模拟分析苹浅褐卷蛾在我国潜在的分布范围;调查寄主植物及天敌等在我国分布、种类及数量;可能入侵的途径(如进口的水果等);结合气候模拟结果,估计该虫在我国的可能性分布及潜在的经济重要性,并根据风险分析的结果制定出更科学的检疫处理措施。此外,增强口岸对截获的苹浅褐卷蛾的鉴定能力,也是减少该虫入侵可能性的重要手段和措施。

参考文献 (References)

- APHIS, 2009. Weekly situation report: light brown apple moth, June 3, 2009. available on line: http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?mode=simple&filter=0&q=was+de&sort=date%253AD%253AS%253Ad1&as_sitesearch=www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/lba_moth&ie=UTF-8&entq=3&oe=UTF-8&ud=1&navid=SEARCH&start=170
- Armstrong KF, Ball SL, 2005. DNA barcodes for biosecurity: invasive species identification. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 360:1813—1823.
- Atkinson D, 1994. Temperature and organism size - a biological law for ectotherms? *Adv. Ecol. Res.*, 25:1—58.
- Ball SL, Armstrong KF, 2006. DNA barcodes for insect pest identification: a test case with tussock moths (Lepidoptera: Lymantriidae). *Can. J. Forest Res.*, 36:337—350.
- Bailey P, Baker G, Caon G, 1996. Field efficacy and persistence of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* against *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae) in relation to larval behaviour on grapevine leaves. *Aust. J. Entomol.*, 35:297—302.
- Bailey PT, Ferguson KL, McMahon R, Wicks TJ, 1997. Transmission of *Botrytis cinerea* by lightbrown apple moth larvae on grapes. *Aust. J. Grape Wine R.*, 3:90—94.
- Barr N, 2007. ID of light brown apple moths using DNA barcodes. USDA APHIS PPQ CPHST News, Volume IV (3):1—2. Available online: http://www.aphis.usda.gov/plant_health/cphst/downloads/newsletterfall2007.pdf
- Booy G, Hendriks RJJ, Smulders MJM, Van Groenendael JM, Vosman B, 2000. Genetic diversity and the survival of populations. *Plant Biol.*, 2:379—395.
- Brockerhoff EG, Jactel H, Leckie AC, Suckling DM, 2002. Species composition and abundance of leafrollers in a Canterbury pine plantation. *New Zealand Plant Protection*, 55:85—89.
- Danthanarayana W, 1975a. The bionomics, distribution and host range of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walk.) (Tortricidae). *Aust. J. Zool.*, 23: 419—437.
- Danthanarayana W, 1975b. Factors determining variation in fecundity of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) (Tortricidae). *Aust. J. Zool.*, 23: 439—451.
- Danthanarayana W, 1976a. Diel and lunar flight periodicities in the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) (Tortricidae) and their possible adaptive

- significance. *Aust. J. Zool.*, 24:65—73.
- Danthanarayana W, 1976b. Flight thresholds and seasonal variations in flight activity of the light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walk.) (Tortricidae), in Victoria, Australia. *Oecologia (Berl.)*, 23:271—282.
- Danthanarayana W, 1976c. Environmental cue size variation in light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walk.) (Tortricidae), and its adaptive value. *Oecologia (Berl.)*, 26:121—132.
- Danthanarayana W, 1983. Population ecology of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera; Tortricidae). *J. Anim. Ecol.*, 52:1—33.
- Danthanarayana W, Gu H, 1992. Influence of environmental conditions on flight duration of *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera; Tortricidae). *Aust. J. Zool.*, 40:477—484.
- Danthanarayana W, Gu H, 2000. Variation in life history traits and flight capacity among populations of the light brown apple moth *Epiphyas postvittana*, (Lepidoptera; Tortricidae). *Aust. Ecol.*, 25:571—579.
- Danthanarayana W, Gu H, Ashley S, 1995. Population growth potential of *Epiphyas postvittana*, the light brown apple moth (Lepidoptera; Tortricidae) in relation to diet temperature and climate. *Aust. J. Zool.*, 43:381—394.
- Danthanarayana W, Hanilton JG, Khouli SP, 1982. Low-density larval crowding in the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* and its ecological significance. *Ent. Exp. Appl.*, 31:353—358.
- Dugdale JS, Gleeson D, Clunie LH, Holder PW, 2005. A diagnostic guide to Tortricidae encountered in field surveys and quarantine inspections in New Zealand: morphological and molecular characters. Ministry of Agriculture and Forestry. 161.
- Dukes JS, Mooney HA, 1999. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends Ecol. Evol.*, 14(4):135—139.
- Fountain MT, Cross JV, 2007. The light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera; Tortricidae), in UK pome and stone fruit orchards. *IOBC*, 30(4):51—60.
- Geier PW, Briesche DT, 1977. Predominantly female progeny in the light-brown apple moth. *Search*, 8:83—85.
- Geier PW, Briesche DT, 1978. The light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker): 2. Uneven sex ratios and a condition contributing to them in the field. *Aust. J. Ecol.*, 3:467—488.
- Geier PW, Briesche DT, 1979. The light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker): 3. Differences in susceptibility to a nuclear polyhedrosis virus. *Aust. J. Ecol.*, 4:187—194.
- Geier PW, Briesche DT, 1980a. The light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker): 4. Studies on population dynamics and injuriousness to apples in the Australian Capital territory. *Aust. J. Ecol.*, 5:63—93.
- Geier PW, Briesche DT, 1980b. The light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker): 5. Variability of demographic characteristics in field populations of southeastern Australia. *Aust. J. Ecol.*, 5:135—142.
- Geier PW, Briesche DT, 1981. The light-brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker): a native leafroller fostered by European settlement//Kitching PL, Jones RE (eds.). *The Ecology of Pests: Some Australian Case Histories*. CSIRO. 130—155.
- Geier PW, Springett BP, 1976. Population characteristics of Australian leafrollers (*Epiphyas* spp., Lepidoptera) infesting orchards. *Aust. J. Ecol.*, 1:127—144.
- Gu H, Danthanarayana W, 1990a. Age-related flight and reproductive performance of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana*. *Entomol. Exp. Appl.*, 54:109—115.
- Gu H, Danthanarayana W, 1990b. The role of availability of food and water to the adult *Epiphyas postvittana*, the light brown apple moth, in its reproductive performance. *Entomol. Exp. Appl.*, 54:101—108.
- Gu H, Danthanarayana W, 1992a. Quantitative genetic analysis of dispersal in *Epiphyas postvittana*. I. Genetic variation in flight capacity. *Heredity*, 68:53—60.
- Gu H, Danthanarayana W, 1992b. Influence of larval rearing conditions on the body size and flight capacity of *Epiphyas postvittana* Moths. *Aust. J. Zool.*, 40:573—581.
- Gu H, Danthanarayana W, 1992c. Quantitative genetic analysis of dispersal in *Epiphyas postvittana*. II. Genetic covariations between flight capacity and life-history traits. *Heredity*, 68:61—69.
- Gu H, Danthanarayana W, 2000a. Variations in life history traits and flight capacity among populations of the light brown apple moth *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera; Tortricidae). *Aust. Ecol.*, 25:571—579.
- Gu H, Danthanarayana W, 2000b. Genetic variation in the life-history traits of *Epiphyas postvittana*: population structure and local adaptation. *Aust. Ecol.*, 25:394—401.
- Hortnet (by HortResearch), 2000. <http://www.hortnet.co.nz/key/keys/info/lifecycle/lba-life.htm>
- IPPC (the International Plant Protection convention), 2004. Pest risk analysis for quarantine pests including analysis of

- environmental risks and living modified organisms. International Standards for Phytosanitary measures. ISPM No. 11.
- Lo PL, Murrell VC, 2000. Time of Leafroller infestation and effect on yield in grapes. *New Zealand Plant Protection*, 53:173—178.
- Mo J, Glover M, Munro S, Beattie GAC, 2006. Development of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera:Tortricidae) on leaves and fruit of orange trees. *J. Econ. Entomol.*, 99 (4): 1321—1326.
- Peacock L, Worner SP, 2008. Biological and ecological traits that assist establishment of alien invasive insects. *New Zeal. Plant Prot.*, 61:1—7.
- Porter J, 2001. Range expansion in the light brown apple moth *Epiphyas postvittana* (Walk.). *Atropos*, 14:1—4.
- Powell JA, Common IFB, 1985. Oviposition patterns and egg characteristics of Australian tortricine moths (Lepidoptera: Tortricidae). *Aust. J. Zool.*, 33:179—216.
- 邱宝利,陈燕平,2006. 苹浅褐卷蛾及其检疫技术. 植物检疫, 20(1):32—34.
- Robertson JL, Armstrong KF, Suckling DM, Preisler HK, 1990. Effects of host plants on the toxicity of azinphosmethyl susceptible and resistant light brown apple moth (Lepidoptera:Tortricidae). *J. Econ. Entomol.*, 83: 2124—2129.
- Shaw PW, Cruickshank VM, Suckling DM, 1994. Geographic changes in leafroller species in Nelson orchards. *New Zeal. J. Zool.*, 21:289—294.
- Suckling DM, Brockerhoff EG, 2010. Invasion biology, ecology and management of the light brown apple moth (Tortricidae). *Annu. Rev. Entomol.*, 55:285—306.
- Suckling DM, Brunner JF, Burnip GM, Walker JTS, 1994. Dispersal of *Epiphyas postvittana* (Walker) and *Planotortrix octo* Dugdale (Lepidoptera:Tortricidae) at a Canterbury, New Zealand orchard. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.*, 22: 225—234.
- Suckling DM, Burnip GM, Gibb AR, Daly JM, Armstrong KF, 2001. Plant and host effects on the leafroller parasitoid *Dolichogenidia tasmanica*. *Ent. Exp. Appl.*, 100: 253—260.
- Suckling DM, Burnip GM, Walker JTS, Shaw PW, McLaren GF, Howard CR, Lo P, White V, Fraser J, 1998. Abundance of leafrollers and their parasitoids on selected host plants in New Zealand. *New Zeal. J. Hort. Sci.*, 26: 193—203.
- Suckling DM, Rogers DJ, Shaw PW, Wearing CH, Penman DR, Chapman RB, 1987. Monitoring Azinphosmethyl resistance in the light brown apple moth (Lepidoptera, Tortricidae) in New Zealand. *J. Econ. Entomol.*, 80(4): 733—738.
- Takahashi G, 2002. Notes on the light brown apple moth *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera:Tortricidae) intercepted at import plant quarantine of Narita Airport in Japan. *Res. Bull. Plant Prot. Serv. Jpn.*, 38:99—103.
- Tauber MJ, Tauber CA, Masaki S, 1986. Seasonal Adaptation of Insects. Oxford University Press, Oxford. 411.
- Thomas WP, 1989. *Epiphyas postvittana* (Walker), lightbrown apple moth (Lepidoptera: Tortricidae) // Cameron P, Hill R, Bain J, Thomas WP (eds.). A Review of Biological Control of Invertebrate Pest and Weeds In New Zealand 1974 to 1987, Wallingford, UK/Auckland, NZ: Cab int. DSIR Entomol. Div. 187—196.
- Thomas WP, 1974. Light Brown Apple Moth. Department of Scientific and Industrial Research, Wellington, New Zealand. Information Series No. 105/3.
- Tomkins AR, Penman DR, Chapman RB, 1989. Effect of temperature and host plant on development of three species of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae). *New Zeal. Entomol.*, 12:48—54.
- Varela LG, Johnson MW, Strand L, Wilen CA, Pickel C, 2008. Light brown apple moth's arrival in California worries commodity groups. *California Agriculture*, 62(2). Available on line: <http://Californiaagriculture.ucop.edu>
- Via S, 1983. The quantitative genetics of polyphagy in an insect herbivore: II. Genetic correlations in larval performance within and among host plants. *Evolution*, 38 (4):896—905.
- Wearing CH, Thomas WP, Dugdale JS, Danthanarayana W, 1991. Tortricid pests of pome and stone-fruits, Australian and New Zealand species. //Vander Geest LPS, Evenhuis HH (eds.). Tortricid Pests: Their Biology, Natural Enemies, and Control World Crop Pests. Vol. 5. Elsevier: Amsterdam. 453—472.
- Williamson M, 1996. Biological Invasions. Chapman and Hall, London. 33.