

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.03.003

葡萄花翅小卷蛾抗药性研究进展

苏 莎, 彭 雄, 简成志, 陈茂华*

西北农林科技大学植物保护学院/旱区作物逆境生物学国家重点实验室/
农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室, 陕西 杨凌 712100

摘要: 葡萄花翅小卷蛾是葡萄上的重要害虫, 具有多食性、多化性等生物学特点, 抗逆能力极强。该虫起源于欧洲, 现已入侵全球多个国家。葡萄花翅小卷蛾主要以幼虫取食葡萄花序、幼果和成熟果实, 给葡萄生产造成重大损失; 其危害有利于真菌的侵入, 导致灰霉病、白粉病等病害大量发生, 从而造成葡萄腐烂。由于该虫入侵风险极高, 已被我国列为重要的进境检疫性有害生物。国外对葡萄花翅小卷蛾的防治主要采用化学杀虫剂, 由于长期大量且不合理地使用化学杀虫剂, 葡萄花翅小卷蛾已对多种不同类型的杀虫剂产生了抗药性。本研究总结了葡萄花翅小卷蛾的抗性测定方法、抗性现状及其抗性机理, 同时结合国外葡萄花翅小卷蛾抗性和防治相关研究, 提出该虫抗性治理策略, 并对我国预防该虫的入侵提出建议。

关键词: 葡萄花翅小卷蛾; 抗药性; 抗性现状; 抗性机理; 抗性治理



开放科学标识码
(OSID 码)

Insecticide resistance review of a quarantine pest, European grapevine moth *Lobesia botrana*

SU Sha, PENG Xiong, JIAN Chengzhi, CHEN Maohua*

College of Plant Protection, Northwest A&F University/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas/
Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Loess Plateau,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: The European grapevine moth *Lobesia botrana* is an important economic pest on grapes. It is a polyphagous and multivoltine species with strong adaption to environmental stresses. This pest originated in Europe and has successfully colonized many countries around the world. Larvae of the moth mainly feed on grape inflorescences, green fruits and mature fruits, causing great losses in grape production. The pest can cause damage that can increase fungal infection, leading to gray mold and powdery mildew. Due to the extremely high risk of *L. botrana* invasion, it has been listed as an important entry quarantine pest in China. Chemical control is the major approach of controlling European grapevine moth in different countries. With the long-term and unreasonable use of chemical pesticides, this pest has developed resistance to different types of pesticides. In this paper, we summarize the insecticide resistance measurement methods, as well as the resistance status and mechanisms of the pest to different insecticides. We propose some potential management strategies to reduce resistance development.

Key words: *Lobesia botrana*; insecticide resistance; resistance status; resistance mechanism; resistance management

葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) 属于鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae 花翅小卷蛾属 *Lobesia*, 是一种典型的兼性滞育的多食性害虫 (Ioriatti *et al.*, 2011)。该虫起源于意大利, 现已传播至全欧洲、非洲北部和西部、亚洲部分地区以及美洲重要的葡萄产区, 是危害葡萄 *Vitis vinifera* L. 的最重要害虫之一 (Ioriatti *et al.*, 2009)。该虫能取食 27 个科 40 多种植物, 除危害葡萄外, 还危害大戟瑞香 *Daphne gnidium* L.、甜樱桃 *Prunus avium* L.、多种醋栗 *Ribes* spp.、石榴 *Puni-*

收稿日期 (Received): 2019-12-19 接受日期 (Accepted): 2020-04-07

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1200601)

作者简介: 苏莎, 女, 博士研究生。研究方向: 果树害虫防治。E-mail: 1293436150@qq.com

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: maohua.chen@nwsuaf.edu.cn

ca granatum L.、猕猴桃 *Actinidia chinensis* Planch 等 (Thiery et al., 2018), 尤其喜欢取食葡萄花序、幼果和成熟果实, 使葡萄产量大大降低。葡萄果实受害后容易受到病原真菌感染, 特别是葡萄灰霉菌 *Botrytis cinerea* Pers 的感染, 葡萄灰霉菌在受损的葡萄上迅速生长并腐烂整个葡萄簇 (李俊峰等, 2017; 牛春敬等, 2013; Fermaud & Giboulot, 1992)。由于地理位置和环境 (温度和光照) 的差异, 该虫每年发生一代至多代 (Briere & Pracros, 1998; Roditakis & Karandinos, 2001)。

全球葡萄种植面积达 760 万 hm^2 (亓桂梅等, 2018), 其中欧洲大陆种植面积占 52%。我国作为世界葡萄主产国之一, 每年葡萄产量占世界鲜食葡萄产量的 1/3 以上 (田野等, 2018)。李俊峰等 (2017) 对葡萄花翅小卷蛾入侵我国的风险进行了分析, 结果显示该害虫属于高度危险性有害生物 (风险值为 2.14)。秦誉嘉等 (2018) 利用 CLIMEX 4.0.2 对葡萄花翅小卷蛾在我国不同气候条件下的潜在地理分布进行预测, 发现我国所有的葡萄产区均为其适生区, 且潜在地理分布范围较广。由于该虫入侵风险极高, 已被我国列为重要的进境检疫性有害生物 (中华人民共和国农业农村部, 2012)。在法国南部、西班牙中部和南部、葡萄牙、希腊、意大利和地中海盆地的岛屿上, 葡萄花翅小卷蛾是对葡萄产量产生重大影响的首要鳞翅目害虫, 其主要的防治措施是化学防治, 但由于许多种植者大量且不合理地使用化学杀虫剂, 导致该虫对多种化学杀虫剂产生了抗药性 (Ioriatti et al., 2009; Navarro-roldán et al., 2020)。因此, 及时开展葡萄花翅小卷蛾抗性监测和抗性治理工作尤为重要。为此, 本研究总结了国外葡萄花翅小卷蛾抗药性研究现状和抗性机理, 旨在为该虫的抗药性监测、抗性治理以及预防该虫入侵提供参考。

1 抗药性测定方法

开展害虫抗药性研究, 主要目的是使用更有效和更安全的杀虫剂来延缓抗药性的发展 (Roush & Tabashnik, 1990), 而抗药性测定则是开展抗药性研究的基础。抗性管理需要可靠、快速和有效的生物测定方法来鉴定敏感和抗性个体 (Brown, 1981; Gunning, 1993)。葡萄花翅小卷蛾是葡萄园的重要害虫, 每年会喷施大量杀虫剂来防治该害虫 (Navarro-roldán et al., 2017)。制定准确、可靠的葡萄花翅

小卷蛾抗性风险评估方法十分必要, 这对其抗性监测、治理和机理等研究工作的开展也至关重要。

目前, 重要害虫抗药性的标准生物测定方法主要分为 4 类: 浸虫法、饲料表面涂药法、点滴法和人工饲料混药法 (Ffrench-constant & Roush, 1990)。Durmuşoğlu et al. (2015) 分别利用饲料表面涂药法、点滴法和人工饲料混药法, 对比分析了 3 个不同的葡萄花翅小卷蛾品系对 4 种杀虫剂 (茚虫威、溴氰菊酯、多杀菌素和毒死蜱) 的抗药性水平, 结果表明人工饲料混药法是研究葡萄花翅小卷蛾抗药性最合适的方法。其他学者也都采用此方法来检测葡萄花翅小卷蛾的抗药性 (Civolani et al., 2014; Hatipoğlu et al., 2015; Pasquini et al., 2018)。

2 抗药性现状

害虫对杀虫剂产生的抗药性问题是农业生产的主要问题之一。现今, 已有近 600 种昆虫和螨虫对多种杀虫剂产生了抗药性 (IRAC, 2014)。20 世纪 90 年代中期, 传统化学杀虫剂 (有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等) 已应用于葡萄花翅小卷蛾的防治 (Ioriatti et al., 2002)。在最近 20 年中, 防治葡萄花翅小卷蛾的传统化学杀虫剂已被环境友好的新农药所取代, 如新一代的神经毒性杀虫剂 (茚虫威和多杀菌素)、几丁质合成抑制剂、保幼激素类似物、蜕皮激素类似物和微生物杀虫剂 (Caboni & Cabras, 2010; Civolani et al., 2014; Daane et al., 2018)。国外防治葡萄花翅小卷蛾主要采用化学防治, 同时辅以信息素干扰交配 (mating disruption) 和微生物杀虫剂 (Ioriatti et al., 2008)。

长期大量且不合理的喷施化学杀虫剂, 已经造成葡萄花翅小卷蛾对多种化学杀虫剂产生抗药性。研究显示, 葡萄花翅小卷蛾对有机磷类、拟除虫菊酯、氨基甲酸酯、多杀菌素等杀虫剂已经产生不同程度的抗性 (IRAC, 2016)。Ioriatti et al. (2002) 采用将杀虫剂掺入信息素诱蛾剂胶中的方法监测葡萄花翅小卷蛾对甲基谷硫磷的抗药性, 结果显示, 葡萄花翅小卷蛾田间品系与室内品系对甲基谷硫磷的敏感性存在差异, 田间品系的敏感性低于实验室品系。Civolani et al. (2014) 研究了意大利葡萄园的葡萄花翅小卷蛾对茚虫威、甲氧虫酰肼和甲维盐的敏感性, 发现茚虫威对葡萄花翅小卷蛾的防效非常低; 室内生物测定结果表明, 与实验室饲养 100 代以上的敏感品系 (SM) 相比, 田间品系 (RA4) 对

茛虫威的抗性为 72.58 倍,对甲氧虫酰胺的抗性为 6.24 倍,对甲维盐还处于敏感阶段。Hatipoğlu *et al.* (2015)测定了位于土耳其西部马尼萨省 10 个不同葡萄花翅小卷蛾种群对 4 种杀虫剂的抗性水平,发现不同种群对杀虫剂的抗性水平不同,且同一种群对不同杀虫剂的抗性水平也存在差异;与敏感种群 HAS 相比,SRG2 种群对毒死蜱产生的抗性倍数最高,达到 5.96;SLH 种群对溴氰菊酯产生的抗性倍数最高,为 4.93;AHM 种群对茛虫威敏感性下降的倍数最高,敏感性下降 5.95 倍;而 SRBY 种群对多杀菌素敏感性下降的倍数最高,其敏感性下降 6.41 倍。Navarro-roldán *et al.* (2017)比较了 3 种鳞翅目害虫对 3 种不同作用方式的神经毒性杀虫剂的敏感性,发现葡萄花翅小卷蛾雄性对毒死蜱的敏感性比雌性低。Pasquini *et al.* (2018)监测了意大利艾米利亚-罗马涅地区葡萄花翅小卷蛾对氯虫苯甲酰胺的抗性,发现当地田间种群对该杀虫剂的敏感性低于实验室内种群,抗性倍数为 2.00。综上所述,某些地区葡萄花翅小卷蛾种群对茛虫威已产生高水平抗性;对溴氰菊酯、甲氧虫酰胺、毒死蜱和多杀菌素已产生低水平抗性;对氯虫苯甲酰胺和甲维盐仍敏感。因此,建议相关地区应对葡萄花翅小卷蛾的防治应减少茛虫威的使用量,避免其抗性进一步发展,推荐使用低毒、低残留、对环境友好的氯虫苯甲酰胺和甲维盐,同时也要注意与其他作用机制不同的药剂轮换使用。

3 抗药性机理

昆虫的抗性机理主要分为行为抗性、渗透抗性、代谢抗性和靶标抗性 4 种(王康,2019; Horowitz & Denholm,2001)。葡萄花翅小卷蛾的抗药性机理主要与代谢抗性和靶标抗性有关(Hatipoğlu *et al.*, 2015; Navarro-roldán *et al.*, 2017)。昆虫代谢抗性相关的解毒酶主要包括谷胱甘肽 S-转移酶(glutathione S-transferase, GST)、酯酶(esterase, EST)和多功能氧化酶(multifunctional oxidase, MFO)等;而靶标抗性的研究主要针对乙酰胆碱酯酶(Acetylcholinesterase, AChE)、钠离子通道(sodium channel, SC)、 γ -氨基丁酸受体和鱼尼丁受体(Ryanodine receptor, RyR)(吴有刚等,2019; 张丽阳和刘承兰,2016)等。由于喷施化学杀虫剂的类型、剂量、频率以及种群的生物学背景等存在差异,往往不同的抗性种群存在不同的抗性机制,且不同的抗性机

制可以同时存在同一抗性种群中(段辛乐等, 2015)。目前,关于葡萄花翅小卷蛾抗性机理研究报道相对较少。Civolani *et al.* (2014)推测葡萄花翅小卷蛾田间种群对甲氧虫酰胺和茛虫威之间存在着弱交互抗性,可能是由于单加氧酶活性所致。Hatipoğlu *et al.* (2015)通过抗药性生物化学机理研究表明,谷胱甘肽 S-转移酶的活力在葡萄花翅小卷蛾田间品系与敏感品系之间没有显著性差异,而乙酰胆碱酯酶的活力差异较大。田间种群 SRG2 和 YY 种群的乙酰胆碱酯酶的活力分别比敏感种群高 4.85 和 3.19 倍,而其他田间种群的此酶活力是敏感品系的 1.73~2.44 倍,敏感品系的乙酰胆碱酯酶的活力值最低,并且分析发现,乙酰胆碱酯酶的活力与不同种群对毒死蜱的抗药性之间存在很强的正相关性,证实乙酰胆碱酯酶的活性增强与葡萄花翅小卷蛾的抗药性相关;同时 SRGY 和 YY 种群的酯酶活力也比敏感品系的酯酶活力要高,分别是敏感品系的 1.50 和 1.41 倍,推测酯酶也参与葡萄花翅小卷蛾的抗药性形成。Navarro-roldán *et al.* (2017)研究发现,葡萄花翅小卷蛾雄性对有机磷类杀虫剂的抗性比雌性的高。这可能与葡萄花翅小卷蛾乙酰胆碱酯酶基因的表达量在雄虫中比雌虫高有关(Nguyen *et al.*, 2013)。

4 抗药性治理

4.1 加强抗性监测与检测

开发、实施和评估检测和监测抗药性的新方法是制定抗药性管理策略的主要目标(Knight & Hull, 1990)。抗性监测与检测既是开展抗性治理的基础,又是制定抗性治理方案的依据,同时还是评估抗性治理成效的重要手段(沈晋良和吴益东, 1995)。

开展葡萄花翅小卷蛾抗性治理工作,必须加强抗性监测与检测,建立早期预警系统,采取标准化生物测定方法,确保抗性检测结果的可比性。使抗性还处于低水平的时候就采取措施延缓其发展。通过抗性监测与检测,及时准确了解相关药剂抗性分布、抗性水平以及抗性动态变化,从而科学合理地指导田间用药,同时为抗性治理方案的修订提供依据,做到有的放矢,防止化学杀虫剂过度使用,从而避免其对环境造成污染(黄彦娜等,2019; 吴益东等,2019)。

随科学技术的发展,抗性监测与检测技术更加

多元化。不仅有经典的生物检测法,还有生化检测法、神经电生理检测法以及分子检测法等(潘志萍和李敦松,2006)。多元化的方法有助于葡萄花翅小卷蛾抗性机理的研究,对其抗性治理与综合防治具有重要意义。

4.2 科学合理使用杀虫剂

抗性治理的目的主要是将害虫危害控制在经济阈值之内,且保持害虫对杀虫剂的敏感性。害虫抗性的产生主要是由于化学杀虫剂大量且不合理的使用,如不适时用药、高浓度用药、盲目持续喷施、喷施面积大、喷施次数多、喷施设备落后等。因此,针对葡萄花翅小卷蛾的抗性治理应科学合理地使用化学杀虫剂。首先,选用低毒、低残留、对环境友好的新型杀虫剂,加大新型杀虫剂的开发,如对新杀虫剂的研发可选择一些具有杀虫特性的植物提取物(Giner *et al.*, 2012; Leelaja *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2003)。其次,结合当地的施药背景,做好田间抗性监测工作。做到精准用药、适时用药、高效用药。可以选择对葡萄花翅小卷蛾防效好的药剂,并选择合适的施药时期。停止或间断使用害虫已产生高水平抗性的药剂,避免使用产生交互抗性的药剂。针对不同类型的药剂,使用合适的喷施器械和施用方法,提高药剂利用率。最后,轮用和混用不同药剂,避免重复单一使用同一种药剂,施用不同作用机制的药剂,多位点同时作用,从而使靶标位点不易产生突变。综合运用上述各项技术措施,减少杀虫剂的使用,降低杀虫剂对葡萄花翅小卷蛾的选择压力,从而延缓抗性的产生与发展(向志国等,2009)。

4.3 充分应用综合防治的各项措施

为了长期且可持续地控制检疫性害虫葡萄花翅小卷蛾,必须充分应用有害生物综合防治的各项措施,减少化学杀虫剂的应用。选择优质的葡萄栽培品种、加强果园管理及修剪、及时清除蛀果或腐烂果实、清理藤皮减少越冬场所及虫源,亦或采取给果实套袋方法阻隔害虫与葡萄果实的接触,减轻害虫对果实危害带来的损失(Ioriatti *et al.*, 2011)。同时,利用性信息素干扰交配(Ioriatti & Lucchi, 2016),有效控制种群发生量并减少化学杀虫剂的使用;充分利用和保护自然天敌如寄生蜂(赤眼蜂 *Trichogramma* spp.、金小蜂 *Dibrachys* spp.等)、蜘蛛、鸟类和蝙蝠等(Thiéry *et al.*, 2018)。当前相当多的

研究集中在制定更有效和对环境安全的替代控制战略上,昆虫不育技术(sterile insect technique, SIT)已经成功应用在葡萄花翅小卷蛾的防治中(Steinitz *et al.*, 2015)。有研究表明,苏云金芽孢杆菌作为对环境友好的微生物杀虫剂已应用到葡萄花翅小卷蛾的防治中,取得了较好的效果(De escudero *et al.*, 2007)。综上所述,针对葡萄花翅小卷蛾的防治,应结合当地葡萄花翅小卷蛾的抗性水平,多手段、全方位地制定防治策略,以预防为主,重视发挥自然因素的控制作用,从而减少化学杀虫剂的使用,延缓抗性的发展。

5 建议

葡萄花翅小卷蛾是葡萄上的主要害虫,因其具有极强的抗逆能力,能适应不同的环境(陈乃中, 2009)。目前,该虫已在全球多个国家定殖,是存在于全世界葡萄种植区的巨大威胁。随着经济全球化以及“一带一路”倡议的推动,国际贸易日益频繁,葡萄花翅小卷蛾入侵我国的风险极高。为此,我国应加大对葡萄花翅小卷蛾的检验检疫力度,尤其是在果品以及苗木进出口贸易中,坚决防止该虫传入我国。同时,应加强与已传入或可能传入葡萄花翅小卷蛾的“一带一路”国家之间在该虫入侵预警、抗性水平监测、抗性治理及综合防控相关的交流与合作,密切关注该虫在各国的分布范围、发生动态及治理经验,为阻截该虫入侵我国提供技术支撑。

参考文献

- 陈乃中, 2009. 中国进境植物检疫性有害生物(昆虫卷). 北京: 中国农业出版社.
- 段辛乐, 乔宪凤, 陈茂华, 2015. 苹果蠹蛾抗药性研究进展. 生物安全学报, 24(1): 1-8.
- 黄彦娜, 王雅丽, 魏静, 郭鑫, 李兰, 王康, 陈茂华, 2019. 陕西关中地区小麦田禾谷缢管蚜对7种杀虫剂的抗性监测. 植物保护, 45(3): 211-214.
- 李俊峰, 阿地力·沙塔尔, 喻峰, 买合木提·尼亚孜, 2017. 世界性害虫葡萄花翅小卷蛾入侵我国的风险分析. 生物安全学报, 26(1): 52-57.
- 牛春敬, 刘勇, 廖芳, 2013. 检疫性有害生物——葡萄花翅小卷蛾. 检验检疫学刊, 23(5): 57-59.
- 潘志萍, 李敦松, 2006. 昆虫抗药性监测与检测技术研究进展. 应用生态学报, 17(8): 1539-1543.
- 亓桂梅, 李旋, 赵艳侠, 张久慧, 2018. 2017年世界葡萄及葡萄酒生产及流通概况. 中外葡萄与葡萄酒(1): 68-74.

- 秦誉嘉, 吕文诚, 赵守歧, 刘慧, 李志红, 2018. 考虑灌溉及气候变化条件下葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布. *植物保护学报*, 45(3): 599–605.
- 沈晋良, 吴益东, 1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社.
- 田野, 陈冠铭, 李家芬, 向雄鹰, 刘扬, 李宏杨, 2018. 世界葡萄产业发展现状. *热带农业科学*, 38(6): 96–101, 105.
- 王康, 2019. 细胞色素 P450 和羧酸酯酶在禾谷缢管蚜抗药性中的作用. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.
- 吴有刚, 金京, 杨胜祥, 吴屏, 胡琴, 杜永斌, 樊建庭, 2019. 昆虫抗药性产生机制. *生物安全学报*, 28(3): 159–169.
- 吴益东, 沈慧雯, 张正, 王兴亮, 施雨, 武淑文, 杨亦桦, 2019. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策. *应用昆虫学报*, 56(4): 599–604.
- 向志国, 郑榜高, 吴学渊, 2009. 昆虫抗药性的产生及其治理对策. *植物医生*, 22(5): 6–8.
- 张丽阳, 刘承兰, 2016. 昆虫抗药性机制及抗性治理研究进展. *环境昆虫学报*, 38(3): 640–647.
- 中华人民共和国农业农村部, 2012. 中华人民共和国农业部公告第 862 号: 中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录. (2011-12-06) [2019-11-10]. http://www.zys.moa.gov.cn/fflg/201904/t20190428_6245344.htm.
- BRIERE J F, PRACROS P, 1998. Comparison of temperature-dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 27(1): 94–101.
- BROWN T M, 1981. Counter measures for insecticide resistance. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 27(3): 198–201.
- CABONI P, CABRAS P, 2010. Chapter 2-pesticides' influence on wine fermentation. *Advances in Food and Nutrition Research*, 59: 43–62.
- CIVOLANI S, BOSELLI M, BUTTURINI A, CHICCA M, FANO E A, CASSANELLI S, 2014. Assessment of insecticide resistance of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in Emilia-Romagna region. *Journal of Economic Entomology*, 107(3): 1245–1249.
- DAANE K M, VINCENT C, ISAACS R, IORIATTI C, 2018. Entomological opportunities and challenges for sustainable viticulture in a global market. *Annual Review of Entomology*, 63(1): 193–214.
- DE ESCUDERO I R, ESTELA A, ESCRICHE B, CABALLERO P, 2007. Potential of the *Bacillus thuringiensis* toxin reservoir for the control of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae), a major pest of grape plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(1): 337–340.
- DURMUŞOĞLU E, HATİPOĞLU A, GÜRKAN M O, MOORES G, 2015. Comparison of different bioassay methods for determining insecticide resistance in European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schifferrmuller) (Lepidoptera: Tortricidae). *Türkiye Entomoloji Dergisi-Turkish Journal of Entomology*, 39(3): 271–276.
- FERMAUD M, GIBOULOT A, 1992. Influence of *Lobesia botrana* larvae on field severity of *Botrytis* rot of grape berries. *Plant Disease*, 76(4): 404–409.
- FFRENCH-CONSTANT R H, ROUSH R T, 1990. Resistance detection and documentation: the relative roles of pesticidal and biochemical assays. *Pesticide Resistance in Arthropods*, 1: 4–38.
- GINER M, BALCELLS M, AVILLA J, 2012. Insecticidal action of five allyl esters on eggs and larvae of three tortricid fruit pests: laboratory tests. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 63–70.
- GUNNING R V, 1993. Comparison of two bioassay techniques for larvae of *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 86(2): 234–238.
- HATİPOĞLU A, DURMUŞOĞLU E, GÜRKAN M O, 2015. Determination of insecticide resistance of European grapevine moth *Lobesia botrana* (Denis & Schifferrmuller) (Lepidoptera: Tortricidae) populations in vineyards of Manisa province. *Turkish Journal of Entomology*, 39(1): 55–65.
- HOROWITZ A R, DENHOLM I, 2001. Impact of insecticide resistance mechanisms on management strategie//ISHAAYA I. *Biochemical sites of insecticide action and resistance*. Berlin: Springer-Verlag: 323–338.
- IORIATTI C, LUCCHI A, 2016. Semiochemical strategies for tortricid moth control in apple orchards and vineyards in Italy. *Journal of Chemical Ecology*, 42(7): 571–583.
- IORIATTI C, ANDREA L, BAGNOLI B, 2008. Grape areawide pest management in Italy//KOUL O, CUPERUS G W, ELLIOT N. *Areawide pest managemen in Italy: theory and implementation*. Wallingford: CAB International: 208–225.
- IORIATTI C, ANFORA G, ANGELI G, MAZZONI V, TRONA F, 2009. Effects of chlorantraniliprole on eggs and larvae of *Lobesia botrana* (Denis & Schifferrmuller) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science*, 65(6): 717–722.
- IORIATTI C, ANFORA G, TASIN M, DE CRISTOFARO A, WITZGALL P, LUCCHI A, 2011. Chemical ecology and management of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(4): 1125–1137.
- IORIATTI C, FLAIM L, ZINI M, 2002. Use of sex pheromone traps to monitor insecticide resistance in European grape moth

- Lobesia botrana* (Lepidoptera Tortricidae). *Bulletin of Insectology*, 55(1/2): 13–19.
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), 2014. Resistance definition, background, development. (2016-09-12) [2019-11-10]. <https://www.irac-online.org/about/resistance/>.
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), 2016. European grapevine moth, *Lobesia botrana*. recommendations for sustainable and effective resistance management. V1. 6 (2017-04-16) [2019-11-10]. <https://www.irac-online.org/pests/lobesia-botrana/posters/>.
- KNIGHT A L, HULL L A, 1990. Areawide patterns of azinphosmethyl resistance in adult male *Platynota idaeusalis* (Lepidoptera: Tortricidae) in south central Pennsylvania. *Journal of Economic Entomology*, 83(4): 1194–1200.
- LEELAJA B C, RAJASHEKAR Y, VANITHA R P, BEGUM K, RAJENDRAN S, 2005. Fumigant toxicity of allyl acetate to stored-product beetles in the presence of carbon dioxide. *Journal of Stored Products Research*, 43(1): 45–48.
- NAVARRO-ROLDÁN M A, AVILLA J, BOSCH D, VALLS J, GEMENO C, 2017. Comparative effect of three neurotoxic insecticides with different modes of action on adult males and females of three tortricid moth pests. *Journal of Economic Entomology*, 110(4): 1740–1749.
- NAVARRO-ROLDÁN M A, BOSCH D, GEMENO C, SIEGWART M, 2020. Enzymatic detoxification strategies for neurotoxic insecticides in adults of three tortricid pests. *Bulletin of Entomological Research*, 110(1): 144–154.
- NGUYEN P, SYKOROVÁ M, ŠICHOVÁ J, KŮTA V, DALÍKOVÁ M, FRYDRYCHOVÁ R C, NEVEN L G, SAHARA K, MAREC F, 2013. Neo-sex chromosomes and adaptive potential in tortricid pests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(17): 6931–6936.
- PARK I K, LEE S G, CHOI D H, PARK J D, AHN Y J, 2003. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research*, 39(4): 375–384.
- PASQUINI S, HAXAIRE-LUTUN M O, RISON J L, FLIER W G, TEIXEIRA L A, 2018. Susceptibility of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) to chlorantraniliprole in the emilia romagna region of northeast Italy. *Journal of Economic Entomology*, 111(1): 369–374.
- RODITAKIS N E, KARANDINOS M G, 2001. Effects of photoperiod and temperature on pupal diapause induction of grape berry moth *Lobesia botrana*. *Physiological Entomology*, 26(4): 329–340.
- ROUSH R T, TABASHNIK B E, 1990. Pesticide resistance in arthropods. Boston: Springer-Verlag: 203–236.
- STEINITZ H, SADEH A, KLIOT A, HARARI A, 2015. Effects of radiation on inherited sterility in the European grapevine moth (*Lobesia botrana*). *Pest Management Science*, 71(1): 24–31.
- THIÉRY D, LOUÂPRE P, MUNERET L, RUSCH A, SENTENAC G, VOGELWEITH F, ILTIS C, MOREAU J, 2018. Biological protection against grape berry moths. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2): 15.

(责任编辑: 郑珊珊)