



胡静荣, 史彩华, 吴明月, 李瑾, 吴圣勇, 张友军, 谢文. 豇豆荚螟生物生态学特性与绿色防控研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (5): 1127-1137. HU Jing-Rong, SHI Cai-Hua, WU Ming-Yue, LI Jin, WU Sheng-Yong, ZHANG You-Jun, XIE Wen. Research progress on bioecology characteristics and green control of *Maruca testulalis* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (5): 1127-1137.

## 豇豆荚螟生物生态学特性与绿色防控研究进展

胡静荣<sup>1</sup>, 史彩华<sup>1</sup>, 吴明月<sup>2</sup>, 李瑾<sup>2</sup>, 吴圣勇<sup>2</sup>, 张友军<sup>3</sup>, 谢文<sup>2,3\*</sup>

(1. 湖北文理学院现代农业研究院, 湖北襄阳 441053; 2. 三亚中国农业科学院国家南繁研究院, 海南三亚 572019;  
3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

**摘要:** 豇豆荚螟 *Maruca testulalis* 是世界性害虫, 在亚热带地区发生严重。因其具有钻蛀危害特性, 使其防治难度巨增。该虫寄主范围广泛, 但以豆科作物为主, 尤其是豇豆 *Vigna unguiculata*。本文综述豇豆荚螟的形态特征、地理遗传分化、生物生态学特点、发生危害规律和综合防控进展, 同时展望其绿色防控技术的研发与应用, 为深入挖掘豇豆荚螟的制约因子并研发新型绿色防控技术奠定基础。

**关键词:** 豇豆荚螟; 危害规律; 遗传分化; 生态调控; 综合防控

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2024) 05-1127-11

### Research progress on bioecology characteristics and green control of *Maruca testulalis*

HU Jing-Rong<sup>1</sup>, SHI Cai-Hua<sup>1</sup>, WU Ming-Yue<sup>2</sup>, LI Jin<sup>2</sup>, WU Sheng-Yong<sup>2</sup>, ZHANG You-Jun<sup>3</sup>, XIE Wen<sup>2,3\*</sup>  
(1. Institute of Advanced Agricultural Science, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441054, Hubei Province, China; 2. Sanya National Academy of Southern Propagation, Chinese Academy of Agricultural Science, Sanya 572019, Hainan Province, China; 3. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

**Abstract:** *Maruca testulalis* is a globally distributed pest that poses serious harm in subtropical regions throughout the year. Because of its harmful characteristics, it presents significant challenges for control measures. While this insect has a wide range of hosts, leguminous crops, particularly cowpea, serve as its primary host. This review article comprehensively examines the morphological characteristics, geographical genetic differentiation, bioecology traits, occurrence patterns and progress in prevention and control strategies for *M. testulalis*. Furthermore, we anticipate future research and development efforts towards green prevention and control technologies while laying the groundwork for exploring limiting factors associated with *M. testulalis* infestation and developing novel eco-friendly preventive strategies.

**Key words:** *Maruca testulalis*; damage regularity; genetic differentiation; ecological regulation; synthesize prevention and control

豇豆荚螟 *Maruca testulalis* Geyer 属鳞翅目 Lepidoptera 蛾科 Crambidae, 又名豇豆螟、豆野螟、豇豆卷叶螟等 (Srinivasan *et al.*, 2021)。该虫可迁飞, 世代重叠严重, 寄主范围广, 主要蛀食豆科植物的花蕾、花和嫩莢, 偶尔蛀食茎秆、顶梢, 尤

其喜欢危害豇豆 *Vigna unguiculata*。若防控不及时, 豇豆可减产 30%~70%。受害后豆荚味苦, 不堪食用, 遇雨易腐烂, 严重影响其产量和品质 (Arunteja and Tayde, 2022)。

目前, 生产上暂无快速、高效、低廉且能完全

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目 (2024YFD1400100); 国家自然科学基金 (32302343)

作者简介: 胡静荣, 女, 博士, 副教授, 研究方向为作物保护, E-mail: hujingrong2017@126.com

\*通讯作者 Author for correspondence: 谢文, 男, 博士, 研究员, 研究方向为蔬菜昆虫与害虫防治, E-mail: xiewen@caas.cn

收稿日期 Received: 2024-05-15; 接受日期 Accepted: 2024-05-29

替代化学农药防控豇豆荚螟的绿色技术。为减少豇豆荚螟大量危害带来的直接经济损失,菜农们仍然以传统的化学防控为主,频繁施药或乱用化学农药,这样不仅增加了豇豆荚螟的抗药性,还杀死了田间大量天敌,导致其危害性愈演愈烈(Indiati *et al.*, 2021)。本研究综述豇豆荚螟的形态特征、地理遗传分化、生物生态学特点、发生危害规律和综合防控进展,同时展望其绿色防控技术的研发与应用,为深入挖掘其制约因子并研发新型绿色防控技术奠定基础。

## 1 形态鉴定与地理遗传分化分析

### 1.1 形态特征

豇豆荚螟雌雄成虫的个体大小相近,长约13 mm,身体呈灰褐色。停息时,前翅和后翅均平展。雌雄成虫的触角节数和长度几乎相等,长10~12 mm,但雄蛾触角上的毛形感器显著多于且长于雌蛾。该虫前翅呈黄褐色,中室上端、中端和下端分别呈现1个白色透明的小斑纹。1条深褐色的条纹将后翅分成色泽不同的两部分,即近外缘1/3呈黄褐色,其余部分呈白色半透明,且内含3条淡褐色纵纹。前后两翅均具紫色闪光。雄虫尾部有1丛灰黑色的毛,挤压后明显见到1对黄白色的抱握器;雌虫腹部较肥大,末端呈圆筒形(柯礼道等,1985; Rajendra *et al.*, 2023)。

卵长约0.6 mm,椭圆形,呈扁平面包状。卵初产近无色,后略带黄绿色,孵化前呈桔红色。卵壳有4~6边形花纹(柯礼道等,1985)。

幼虫分5龄,长度范围为1~15 mm。其中,1龄幼虫的前胸背板呈灰黑色,后缘中央有“^”型缺口;2龄幼虫的“^”型缺口淡化,中后胸长出肉瘤;3龄幼虫的前胸背板保持完整,臀足基部呈灰黑色;4龄幼虫的前胸背板中间有一条细小的纵沟;5龄幼虫的前胸背板被清晰分成两半(柯礼道等,1985;王攀等,2011)。

蛹长约13 mm,作茧化蛹,身体早期呈绿色,逐渐变成茶褐色,羽化前呈黑褐色。复眼由浅褐色逐渐变成红褐色。触角、中足胫节和下颚的长度几乎相等,通常伸至腹部第十节。蛹的中胸气门前方有一条刚毛;翅芽伸至腹部第四节,能够清晰地见到成虫期前翅上的透明斑。蛹的尾端有8枚向内卷曲

的褐色臀棘(柯礼道等,1985)。

### 1.2 地理分布与遗传分化分析

据报道,豇豆荚螟最早在印尼苏门答腊东海岸危害豇豆和绿豆。随后又在波多黎各(Leonard and Mills, 1931)、巴西(柯礼道等,1985)、夏威夷(Holdaway and Look, 1942)、得克萨斯州(Williamson, 1943)等地出现。60-70年代,豇豆荚螟的危害威胁着非洲的粮用豇豆(Taylor, 1969),继而又在热带、亚热带地区普遍发生(柯礼道等,1985)。目前,该虫在欧洲、亚洲、非洲和西半球的许多国家均有发生,成为世界性害虫(陆鹏飞等,2007; Srinivasan *et al.*, 2021)。

我国对豇豆荚螟的研究始于20世纪70年代(忙定泽等,2012)。该虫在我国从北向南均有发生,尤其在海南、广东、广西等(亚)热带气候区域发生相当严重,通常造成“十葵九蛀”的况景(王嘉乐等,2023)。

20世纪90年代以来,受农业种植结构调整、耕作模式变化、全球气候变暖等因素的影响,豇豆荚螟的发生愈加严重,不仅危害面积扩大,而且分布范围越来越广(Megha *et al.*, 2022)。然而,针对该虫的不同地理种群是否存在明确的遗传分化,暂无研究报道(Mahalle *et al.*, 2022),但根据不同地理种群雌蛾释放性信息素的组分和比例不同,而且不同地域豇豆荚螟雄蛾性信息素结合蛋白(*Mvit* PBP1、*Mvit* PBP2和*Mvit* PBP3)上关键位点的氨基酸突变不同(Malini *et al.*, 2019; Ai *et al.*, 2021),可以推测其存在一定的遗传分化(王嘉乐等,2023),但具体的亲缘关系和遗传变异有待进一步研究。

## 2 生物生态学特性

### 2.1 田间的空间分布型

豇豆荚螟成虫有翅能飞,稍有惊动迅速分散,因此很难调查其空间分布规律。但是,成虫通常潜伏在植株较高处的叶片下或草丛中,可以通过卵的空间分布推测成虫的产卵趋性(肖新平等,1996)。卵的空间分布以开花层最多,其他器官均较少,而且在田间具有边际效应,即田块边缘的卵量显著高于田块中央。同时,蔓生豇豆的落卵量显著高于矮生豇豆(王琳等,2003)。

豇豆荚螟幼虫在田间符合负二项分布,Z字形

抽样法适合幼虫取样(萧新平等, 1995)。豇豆荚螟幼虫主要危害花, 在花器官的不同部位存在显著的虫龄差。例如, 花药中的1龄幼虫显著多于3~5龄幼虫; 花萼中1~3龄幼虫显著多于4~5龄幼虫; 子房中不同龄期的幼虫差异不显著; 花萼中的幼虫数量显著多于花药和子房(王攀等, 2023)。黄惠英(1999)调查发现, 花器官中幼虫的数量与豇豆荚中幼虫的数量呈正相关, 这一研究为豇豆荚螟种群数量的预测预报提供了理论依据。幼虫老熟化蛹后, 大多数蛹在植株附近的土表或浅土层, 少数在植株上或豆架杆内(柯礼道等, 1985)。

## 2.2 环境因子对豇豆荚螟发育的影响

豇豆荚螟的发生与环境因子有着密切关系。气候(温度、湿度、光周期等)、品种、耕作制度, 以及天敌等均是影响其种群暴发的主要因子(Karnataka, 2009)。例如, 在花蕾期气温25~30°C、湿度50%~80%、食料充足的情况下, 豇豆荚螟发生严重(朱均权和潘亚飞, 2009)。该虫对温度的适应范围较广, 7~31°C均能正常发育(陆鹏飞等, 2007)。由于豇豆荚螟喜欢高温高湿的气候, 因此夏季雨后发生较为严重(文林宏等, 2006; 迟玉成等, 2008)。

豇豆荚螟的成虫和幼虫昼伏夜出; 成虫也主要在夜间羽化和交配, 而且暗期的7~9 h后达到交配高峰; 产卵高峰也出现在暗期开始后的第1小时(Shelke et al., 2021)。因此, 可以推测暗期或者光周期对豇豆荚螟的生殖节律存在明显的主导作用。

除气候因子外, 不同品种对豇豆荚螟的生长发育和繁殖也存在显著影响。周兴苗等(2008)研究表明, 豇豆荚螟取食扁豆 *Lablab purpureus*、豇豆和四季豆 *Phaseolus vulgaris*, 其卵孵化率、幼虫存活率、蛹存活率、蛹重、成虫寿命和产卵量均无显著差异, 但幼虫发育历期以取食四季豆最短(9.9 d), 5龄幼虫体重以取食豇豆最高。倘若田间同时存在扁豆、豇豆和四季豆等3种寄主时, 豇豆荚螟一般不危害四季豆。然而, 金佳鑫等(2008)研究表明, 豇豆荚螟不喜欢菜豆 *Phaseolus vulgaris*, 却偏爱扁豆, 其次是豇豆, 而且不同豇豆品种之间也存在显著差异。例如, 云优油青、惠丰8号、8月冬求等3个品种的受害率均显著低于其他品种, 暗示不同品种对豇豆荚螟的抗性不同。另外, 品种的抗性也受环境温度的影响差异显著。在20~25°C条件下, 豇豆荚螟幼虫取食菜豆的发育历期显著低于豇豆和

扁豆; 在30°C条件下, 同样取食这3种豆类, 但幼虫的发育历期差异不显著, 而且取食菜豆的蛹期、平均世代周期、种群倍增时间均最短(朱均权, 2009)。因此, 在培育和筛选抗性品种时, 也要将环境因子纳入进行综合考量。

耕作制度也会影响豇豆荚螟的发生。Karel(1993)提出, 豇豆间作高秆植物, 可以使其叶子生长稀疏, 减轻豇豆荚螟的危害。同年, Karel(1993)将菜豆与玉米间作, 豇豆荚螟的危害显著降低, 初步证实了豆科植物与高秆植物间作能够降低豇豆荚螟危害。另外, 大面积连作无限花期、颗粒大、高产的优质豆科植物, 可促使豇豆荚螟暴发(Zhou et al., 2015)。因此, 适时调整豆科植物的播种面积, 与非豆科植物进行合理轮作或间作, 可有效减轻豇豆荚螟的危害。

天敌是抑制豇豆荚螟暴发的重要因子之一。在自然界中, 豇豆荚螟的天敌物种资源非常丰富, 根据其取食特性主要分成寄生性和捕食性两大类, 具体包括蜘蛛、草蛉、瓢虫、寄生蜂、寄生蝇等100余种(王嘉乐等, 2023), 能够有效抑制豇豆荚螟的发生。例如, 瓜螟绒茧蜂 *Apanteles taragamae* 对我国台湾田菁上豇豆荚螟的自然寄生率高达63%(Huang et al., 2003); 黄眶离缘姬蜂 *Trathala flavoorbitalis* 在长沙7~8月对豇豆荚螟的自然寄生率高达40%(肖芬等, 2009)。可见, 豇豆荚螟的寄生性天敌在生物防控领域具有非常广阔的应用前景。然而, 目前关于豇豆荚螟天敌的研究并不深入, 有待进一步系统研究。

## 2.3 豇豆荚螟的生殖活动规律与生物生态学特点

豇豆荚螟成虫白天停息在植株丛中, 夜间活动, 具有较强的趋光性, 但通常附在诱虫灯板附近的“载体”上不易落入诱捕器中(忙定泽等, 2012)。很多学者在统计诱捕器中豇豆荚螟成虫数量时, 发现其虫量很少, 因此误以为其趋光性较弱。

豇豆荚螟成虫刚羽化时不交配, 1日龄开始出现交配行为, 2~4日龄达到交配高峰, 以后逐渐减弱, 再到6~7日龄几乎不见交配(忙定泽等, 2012)。雌蛾一生交配1~2次(廖凌云和文礼章, 2007)。交配时, 雌雄蛾的尾部交合在一起形成“一”字形, 交配时间约75 min。温度22°C、雌雄配比1:1, 是雌雄成虫求偶的最佳条件; 若能在求偶前补充10%的蜂蜜水, 将能显著促进其交配(温衍生等, 2009;

Dhanyakumar *et al.*, 2020)。雌蛾交配后不会立即产卵，大多数成虫的产卵前期为 3~4 d，少数个体为 1 d。成虫喜欢将卵产在花萼上，少量产在花瓣上，其他部位（嫩稍、叶柄）极少（廖凌云，2008）。卵通常散产，有时 2~3 粒重叠在一起。成虫交配后可连续产卵，前 8 d 的产卵量约占总产卵量的 55%，单雌产卵量 85~412 粒（柯礼道等，1985）。豇豆螟卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为 8.35°C、15.25°C 和 7.69°C，有效积温分别为 41.7 日·度、81.1 日·度和 141.8 日·度（罗庆怀等，2003）。在 19~24°C 温度条件下，豇豆螟的卵期 3~4 d，幼虫期 10~13 d，预蛹期 2~3 d，蛹期 9~11 d（罗庆怀等，2003）。

初孵幼虫很快从花瓣缝隙钻入花中，或在花（蕾）上咬蛀一个小孔钻入（图 1-A~D），每朵豇豆

花中可同时钻入 0~14 头幼虫，也能卷叶或蛀茎危害。通常情况，1~2 龄幼虫喜欢危害花，尤其是子房；其次是雄蕊、花丝和龙骨瓣（忙定泽等，2012）。2~3 龄幼虫可以通过吐丝将受害的花器官与临近的果枝相连（图 1-E），再转移到豆荚中危害（柯礼道等，1985）（图 1-F）。幼虫在豆荚内喜欢取食幼嫩的种子和嫩荚内壁肉（罗庆怀等，2003）。偶尔能见 2 龄幼虫从废弃的蛀孔进入荚内，3 龄后的幼虫更喜欢取食豆荚，但整个幼虫期均可在花器官中转移危害，并非一定要蛀荚（图 1-B）。如果不蛀荚，单头 1~3 龄的幼虫可危害 1 朵花；单头 4 龄幼虫可危害 1~2 朵花；单头 5 龄幼虫可危害 3~4 朵花（王攀等，2023）。

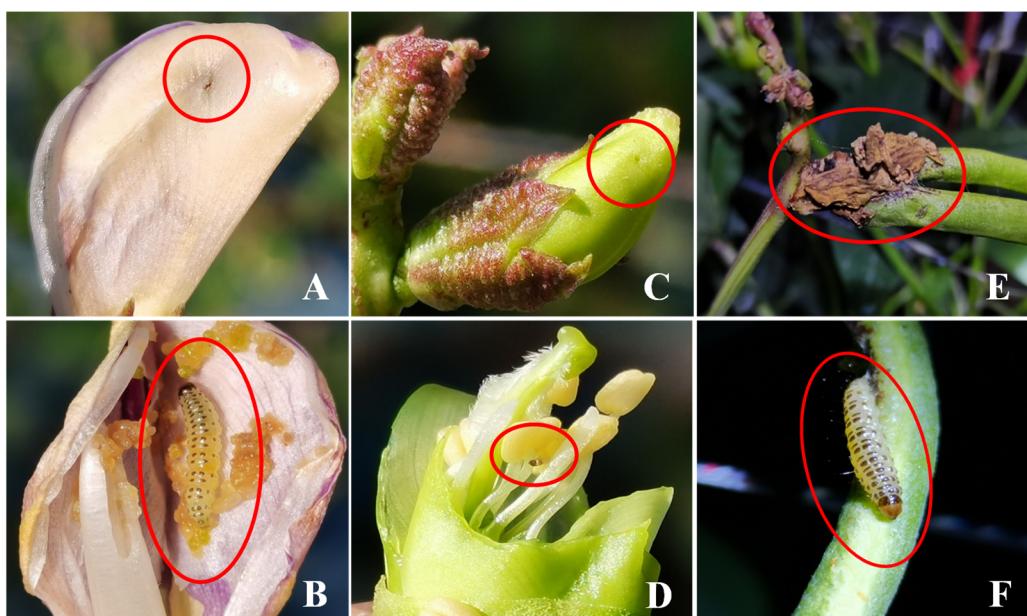


图 1 豇豆螟幼虫的危害症状

Fig. 1 Manifestation of *Maruca testulalis* larvae infestation

注：A、B，幼虫危害在花瓣上表现的症状；C、D，幼虫危害在花蕾上表现的症状；E，幼虫危害豇豆莢的症状；F，幼虫夜间转移危害。Note: A, B, Symptoms of *M. testulalis* larvae infestation on the petals; C, D, Symptoms of *M. testulalis* larval damage on flower buds; E, Symptoms of *M. testulalis* larvae harming bean pod; F, Shows the transfer hazard of *M. testulalis* larvae at night.

豇豆螟幼虫具有自残习性。因此，同一朵豇豆花或豇豆莢中很难同时见到 2 头 4 龄及以上的幼虫。虽然偶尔能见 2~3 个蛀孔，但每孔最多只有 1 头幼虫（汪海洋，2015）。幼虫喜欢将粪便排泄在蛀孔周围。老熟后，大多数幼虫离开植株到附近的土表或浅土层结茧化蛹，少数在植株或豆架杆内化蛹（王琳等，2003）。豇豆螟在北方不能越冬，由南方迁飞至北方繁殖危害（柯礼道等，1985）。

### 3 发生危害规律

#### 3.1 危害寄主

目前，已知豇豆螟危害的寄主有豆科、苏木科、胡麻科、锦葵科等 5 科 20 属 73 种，尤其喜欢危害豇豆、绿豆 *Vigna radiata*、四季豆、豌豆 *Pisum sativum*、木豆 *Cajanus cajan*、山毛豆 *Tephrosia*

*candida* 等豆科植物(肖芬等, 2009; 王嘉乐等, 2023)。

### 3.2 发生规律和危害症状

豇豆荚螟是世界性豆科植物的重要害虫(Bharathi *et al.*, 2020)。在我国从北至南每年发生2~10代(林荣华等, 2000), 广州、海南等地可以终年发生, 无越冬现象。豇豆荚螟在我国大部分地区的危害期是6~10月(林荣华等, 2000), 但也存

在一定差异, 尤其是危害高峰期差异较大, 具体见表1。

豇豆荚螟的发生危害与气候因子紧密相关。倘若相同地区不同年份的气候差异较大, 也会影响该地区豇豆荚螟的发生与危害(Pandit and Dwivedi, 2021)。另外, 豇豆荚螟的发生与豆科植物的播期关系紧密, 如果盛花期正好赶上豇豆荚螟成虫的产卵高峰期, 将造成严重危害(王琳等, 2003)。

表1 我国部分地区豇豆荚螟的发生代数与发生高峰期

Table 1 The number of generations of *Maruca testulalis* and the occurrence peak in China (Parts)

地区 Districts	发生代数(代) Generations	发生时期(Months) Occurrence period	高峰期(Months) Occurrence peak	参考文献 References
浙江 Zhejiang	6~8	5~11	6~8	许方程等, 2005
上海 Shanghai	4~5	5~11	7~8	赵胜荣等, 2009
江苏 Jiangsu	4~5	5~10	7~8	忙定泽等, 2012
湖北 Hubei	5~8	5月中旬至11月	6~8	汪海洋, 2015
贵州 Guizhou	4~8	5~11	7月上旬至8月上旬	文林宏等, 2006
河南商丘 Shangqiu, Henan	4~5	5~10	6~8	忙定泽等, 2012
山东莱阳 Laiyang, Shandong	4	5~9	7~8	宋明龙等, 2004
福建寿宁 Shouning, Fujian	6	-	-	忙定泽等, 2012
黑龙江 Heilongjiang	2~3	-	6~8	柯礼道等, 1985
陕西 Shaanxi	4~5	5~9	7~8	忙定泽等, 2012
湖南 Hunan	6~7	5~11	6~8	肖芬等, 2009
广东 Guangdong	6~9	全年	6月中旬和8月下旬	王琳等, 2003
安徽 Anhui	3~6	5~11	7~8	忙定泽等, 2012
海南 Hainan	≥10	全年	12月中旬至1月上旬	刘奎等, 2007
广西 Guangxi	6~9	3~12	5~6或9~11	忙定泽等, 2012
新疆 Xinjiang	2~3	6~10	6~7	柯礼道等, 1985
江西南昌 Nanchang, Jiangxi	5~6	-	9~11	忙定泽等, 2012

注: “-”表示未见文献报道相关信息。Note: “-” indicated the absence of literature reports.

## 4 综合防治研究进展

豇豆荚螟的防治可分为农业防治、理化诱控、生物防治和化学防治4大类(Kumar *et al.*, 2024)。虽然生产上防治手段多样, 但均存在不足。目前, 生产上坚持“治花不治莢、打顶不打底”的原则, 仍然以化学防治为主。

### 4.1 农业防治

农业防治是通过调整耕作与栽培模式, 加强田

间管理等措施或选用抗虫品种等手段减少虫害(史彩华等, 2024)。例如, 广西合浦县石湾镇、石康镇等地经常采用春豇豆晚水稻的水旱轮作模式, 能够有效降低豇豆荚螟的危害(忙定泽等, 2012)。同时, 播种时错开豇豆盛花期与豇豆荚螟成虫的产卵高峰期, 适当调宽株距与行距, 科学施肥保证出苗和长势一致, 及时清除落地虫花和枯枝落叶进行销毁与焚烧, 收获后深耕翻土破坏化蛹场所等均能有效减轻其危害。另外, 抗性品种也能减少豇豆荚螟成

虫的产卵量，减轻幼虫体重，延长蛹期，抑制成虫个体大小，让成虫生殖能力退化等(Bhuva and Patel, 2024)。目前公认的抗性品种具有同一花序长出的荚间不接触，或者荚与植株的其他部分不接触，花序梗长，豇豆籽小荚短等特征(Wolley, 1976)。然而，这些特征与目前生产上需求推广的荚大品种存在矛盾。其次，短绒毛也是评价豇豆品种对豇豆螟抗性的一个重要指标，茎和花梗直径小且结构较硬的品种具有一定的抗性(Bhuva and Patel, 2024)。针对豇豆抗豇豆螟的品种有待进一步培育与筛选。

农业防治方法不增加额外成本，不污染环境，不使害虫产生抗药性，但受地域、劳动力和气候等因素的影响(史彩华等, 2024)。因此，要因地制宜的合理选用。例如，可以根据豇豆螟喜欢危害豆科植物且主要在表土化蛹的特点，调整栽种模式，与豇豆螟不喜欢危害的非豆科植物轮作或间作(Bhuva and Patel, 2024)。在水源充足的地方，可以通过秋冬季灌水提高土壤湿度，或在上茬作物收获后灌水沤田，淹死土壤中的蛹，以压低下茬作物的虫口基数。

#### 4.2 理化诱控

理化诱控是利用物种对某些特定物质的趋避习性来调节害虫的行为，从而达到控制害虫的目的(史彩华等, 2024)。性信息素能够引起同种昆虫的异性群体产生生殖反应，被广泛应用于昆虫种群监测、交配干扰等用途。目前，鉴定的豇豆螟的性信息素有3种组分，分别是(反，反)-10, 12-十六碳二烯醛(EE10, 12-16: Ald)、(反，反)-10, 12-十六碳二烯醇(EE10, 12-16: OH)和反-10-十六碳单烯醛(E10-16: Ald)(Lu et al., 2013; Schläger et al., 2015)。然而，不同组分配比在不同地域对豇豆螟的诱集效果不同。例如，在贝宁和加纳将EE10, 12-16: Ald、EE10, 12-16: OH和E10-16: Ald按100:5:5的比例混合，能够有效诱集豇豆螟的雄蛾；在布基纳法索单独使用EE10, 12-16: Ald的诱集效果最佳(Downham et al., 2003)；然而，在泰国、越南等地，这两种组合对豇豆螟的雄蛾均无诱集作用。上述现象暗示不同地理种群(或亚种)的豇豆螟性信息素通讯系统存在差异。因此，在考虑用性信息素防治或监测豇豆螟时，有必要对当地种群的性信息素组分进行分离鉴定。

食诱剂和性信息素一样，对豇豆螟成虫具有诱集功能(Osei-Owusu et al., 2020)。Wang等(2014)从豇豆花中鉴定出17种能够引起豇豆螟雌虫触角产生强烈EAG反应的挥发性化合物，解释了豇豆螟对寄主植物花(蕾)的产卵偏好性。Zhou等(2015)从分子生物学水平验证了MvitGOBP1和MvitGOBP2能与17种豇豆花挥发物发生不同程度的结合。因此，豇豆螟性信息素和寄主植物的挥发性化合物均可作为引诱剂(或增效剂)，用以调节豇豆螟在寻找寄主植物或产卵时的选择行为，为生物防治提供新的思路。

防虫网也是阻隔豇豆螟成虫的实用方法。有条件的地方可用30~40目尼龙网建立防虫网棚，能够降低豇豆螟的危害率90%以上，此方法适宜在大棚或日光温室使用。另外，根据豇豆螟的趋光性，以及对黑光灯的趋性较白炽灯弱的特点，6~10月或成虫高峰期，在田间每公顷悬挂4~5台频振式杀虫灯或白炽灯，可有效诱杀豇豆螟成虫。

#### 4.3 生物防治

生物防治是利用一种生物抵制或消灭另一种有害生物的方法(史彩华等, 2024)。据统计，自然界已知的豇豆螟寄生性天敌昆虫资源十分丰富(Srinivasan et al., 2021)。例如，卷叶螟愈腹茧蜂Phanerotoma syleptae、豆野螟下腔茧蜂Therophilus marucae、大腿小蜂Brachymeria ovata、斜纹夜蛾盾脸姬蜂Metopius rufus、黄眶离缘姬蜂Trathala flavoorbitalis、裸短尾寄蝇Aplomya metallica等(王嘉乐等, 2023)，这些均不是豇豆螟的专性寄生天敌，关于其专性寄生天敌至今暂无报道。

瓜螟绒茧蜂是豇豆螟的优势寄生蜂，起源于印度-马来西亚地区，在我国海南、浙江等地均有分布(刘树生等, 1989；刘奎等, 2007)。寄生时，雌蜂将卵产在豇豆螟1~2龄幼虫(2~3日龄)体内，老熟幼虫从豇豆螟的3龄幼虫体内钻出并吐丝结成白茧，约3~4d后羽化成蜂(Dannon et al., 2010)。我国台湾地区，田菁上瓜螟绒茧蜂的自然寄生率高达63%(Huang et al., 2003)，该寄生蜂在豇豆螟生物防治领域具有广阔的应用前景。然而，目前国内外对瓜螟绒茧蜂的认识十分有限。我国大陆仅在调查瓜螟绒茧蜂时，对其发生动态进行了简要报道(刘奎等, 2007)，有待进一步系统研究。

豇豆螟的捕食性天敌种类也非常丰富。例

如, 狹臂瓢虫 *Coccinella repanda*、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculatus*、非洲螳螂 *Spodromantis lineola*、香龟小花蝽 *Orius tantillus*、绢毛弓背蚁 *Camponotus sericeus*、铃腹胡蜂 *Ropalidia flavobrunnea* 等(王嘉乐等, 2023)。然而, 由于豇豆荚螟幼虫具有钻蛀特性, 给天敌的捕食增加了难度; 再加上捕食性天敌大多数是多食性, 如果未捕食到豇豆荚螟, 则会转向其他昆虫(王嘉乐等, 2023)。因此, 应用捕食性天敌防控豇豆荚螟存在明显的局限。

大量研究表明, 球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 和金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 在室内对豇豆荚螟具有较高的毒力(Mehinto et al., 2014; Srinivasan et al., 2014; Tumuahise et al., 2015; Ahmed et al., 2020), 但其制剂效果并不理想。在印度豇豆上使用绿僵菌( $1\sim2$ ) $\times 10^{12}$  conidia/ha 可减少45%~68%的蛀茎率(Rachappa et al., 2005); 在柬埔寨裙带豆上使用绿僵菌制剂可减少48%~77%的蛀茎率(Srinivasan et al., 2019); 但在印度的黑吉豆上使用白僵菌制剂, 挽回的蛀茎损失不超过50%(Soundararajan and Chitra, 2011)。根据现有研究报道, 绿僵菌制剂的防治效果略高于白僵菌。另外, 苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* (*Bt*)、蜡样芽孢杆菌 *Bacillus cereus*、粪链球菌 *Streptococcus faecalis* 和粘质沙雷菌 *Serratia marcescens* 等均可侵染豇豆荚螟(Haripriya et al., 2021)。豇豆荚螟多核衣壳型多角体病毒 *MaviMNPV* 制剂对其低龄幼虫的侵染效果非常好(Joelle et al., 2020), 可在幼虫转移至豆荚危害前进行有效控制, 从而大大减少豇豆损失。当 *MaviMNPV* 施用比例为  $2\times 10^{13}$  OBs/ha 时, 豇豆荚螟幼虫的死亡率高达88% (Srinivasan et al., 2009), 而且瓜螟绒茧蜂作为豇豆荚螟的寄生性天敌, 可以携带 *MaviMNPV* 进行远距离传播(Kindozandji et al., 2022)。因此, 若能将瓜螟绒茧蜂与 *MaviMNPV* 组合使用, 或将能提高豇豆荚螟的生物防控效果。

豇豆荚螟天敌的研究与应用至今仍然匮乏。目前除台湾地区鲜有关于豇豆荚螟天敌资源的监测与调查研究, 其他地区未见报道, 严重制约了豇豆荚螟天敌的挖掘与应用。

#### 4.4 化学防治

近年来, 随着高产优质豇豆品种的推广与种

植, 豇豆荚螟的危害越来越重。针对该虫的防治仍然以化学农药为主。由于豇豆荚螟是钻蛀性害虫, 其隐蔽性给防治工作带来了很大麻烦(Sodedji et al., 2020)。因此, 在防治时要把握好防治适期, 根据豇豆荚螟初孵幼虫主要蛀食花蕾的特性, 在生产上采用“治花保荚”的防控策略, 选用高效、低毒、低残留的农药喷雾防治。例如, 采用5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂1000倍液, 或10%虫螨腈悬浮剂600倍液, 或24%甲氧虫酰肼2500倍液, 或1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油3000倍液, 或10%溴虫腈悬浮剂1200倍液, 或15%茚虫威悬浮剂1200倍液等, 能够将豇豆荚螟消灭在转蛀豆荚前的低龄幼虫阶段(Arunteja and Tayde, 2022)。

植物源农药提取于植物组织, 也能够有效抑制或杀灭靶标生物, 而且不易产生抗药性。Kumar等(2014)研究表明, 印楝素对豇豆荚螟幼虫具有较好的杀虫活性; 而且在豇豆早花期, 将印楝油与 *MaviMNPV* 配合使用对豇豆荚螟的防治效果更佳(Sokame et al., 2015), 是豇豆荚螟“治花保荚”的关键防治策略之一。除此之外, 飞机草 *Eupatorium odoratum*、马缨丹 *Lantana camara*、蟛蜞菊 *Sphagneticola calendulacea* 的乙醇提取物对豇豆荚螟成虫和幼虫具有显著的趋避作用(曾玲等, 2001); 胡椒 *Piper guineense* 和大蒜 *Allium sativum* 提取物能显著降低豇豆荚螟卵的孵化率(Ekesi, 2000); 麻疯树 *Jatropha curcas* (Pillai et al., 2013)、水黄皮 *Pongamia pinnata* (Sambathkumar et al., 2015)、木薯 *Manihot esculenta*、面包果 *Artocarpus altilis* (Oparaekie, 2006) 等植物提取物能够减少豇豆荚螟幼虫的蛀果率。当然, 要实现这些植物源农药的商业化生产, 还需对他们的挥发物或次生代谢物质进行深入系统地研究。

另外, 施药也要选择科学合理的时期和时间。萧新平(1995)研究表明, 豇豆产量损失率与百花虫量呈正相关。当百花虫量为5.22头时, 豇豆具有自然补偿能力, 其损失小; 当百花虫量达到10.6头时, 豇豆产量损失与对照相比差异显著。豇豆荚螟药剂防治的指标为百花虫量6~8头(Patel et al., 2020)。而且, 从始花期开始第1次喷药, 以豇豆花开放时喷药效果最好, 以后每隔5~8 d喷施1次, 连续防治至花期基本结束。采用化学药剂防控害虫时, 选用高效低毒药剂是关键, 精准施药是重点,

轮换用药是核心，以减缓害虫抗药性发展，保障农产品绿色安全（唐良德等，2018）。

## 5 小结与展望

随着豆科植物栽种模式改变、气候环境变暖，以及种植面积不断扩大等因素，豇豆荚螟已成为一种持续危害的害虫。目前，豇豆荚螟仍以化学防控为主，生产上暂无完全替代化学农药的绿色防控技术。但是，可以将农业防治、生态调控、理化诱控等技术协同并用，提前“设防”。首先，从农业防控角度做到合理浇水或水旱轮作以减少虫口基数；深耕翻土以破坏豇豆荚螟的化蛹场所；科学施肥促进豇豆的壮苗生长。其次，从理化诱控角度选择孔径适宜的防虫网进行阻隔；在田间悬挂趋性效果较好的白炽灯；有条件的地方甚至可以结合诱捕器悬挂性信息素。另外，还可在田块四周种植非豆科蜜源植物吸引天敌。倘若豇豆荚螟仍然暴发，则应在幼虫进入荚前采用化学药剂喷施。

随着化学药剂大量使用，或生产上不合理用药，导致其抗药性日显突出，许多药剂药效降低，甚至失效（Sodedji *et al.*, 2020）。因此，科学家们要持续监测豇豆荚螟的抗药性水平，指导菜农合理用药、轮换用药，提出减缓其抗药性发展的科学措施。另外，长期单独使用或滥用化学药剂，容易伤害天敌，或削弱天敌对豇豆荚螟的自然控制作用

（Kaur *et al.*, 2024）。因此，菜农们可以根据田间豇豆荚螟和其他害虫的发生情况，做到多虫兼治，按照药剂安全间隔期进行合理复配，以提高防虫保苗效果，并减少对天敌的伤害。

研发某种害虫的精准高效绿色防控技术，一定是建立在对其生物生态学特性深入了解的基础之上。例如，豇豆花开放后，第2天清晨花冠被荚果顶离并掉落地面，大多数1~3龄的豇豆荚螟幼虫被包裹在花冠内，也包括大量豆大薺马等害虫（Shejulpati *et al.*, 2020），若能研发一款快速清理地面上落花的机械设备，则能大大减少田间豇豆荚螟或其他害虫的虫口基数，这一措施将是未来豇豆绿色生产或害虫绿色防控的重大创举。因此，科学家未来仍需深入研究豇豆荚螟的生物生态学特性，以及豇豆荚螟对豆科植物的选择机制，挖掘不同豆科品种对豇豆荚螟在物理和化学层面的抗性机理，为

抗虫新品种的选育提供理论依据。同时，要深入研究生态环境因子对豇豆荚螟的影响，明确抑制其种群增长的关键因子，借用害虫种群系统控制理论和技术，建立适合豇豆荚螟的种群控制系统，将其非嗜食植物的次生代谢物质研究与利用作为驱避剂研发的热点之一。

另外，随着生物信息学（转录组、基因组、代谢组和蛋白质组等）技术的飞速发展，科学家也要根据豇豆荚螟的生物生态学特性与灾变机制，从宏观和微观层面深入挖掘制约其种群增长的关键因子，并研发新型绿色防控技术，积极构建多元化的综合防控技术体系，为我国豆科作物安全生产提供技术保障。

## 参考文献（References）

- Ahmed RN, Uddin MM, Haque MA, *et al.* Field evaluation of microbial derivatives for management of legume pod borer, *Maruca vitrata* F. in yard long bean [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2020, 8 (3): 162-166.
- Ai H, Liu YY, Long GY, *et al.* Functional characteristics of a novel odorant binding protein in the legume pod borer, *Maruca vitrata* [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11: 14027.
- Arunreja K, Tayde AR. Efficacy of selected insecticides and biopesticides against spotted pod borer [*Maruca vitrata* (Geyer)] on green gram [*Vigna radiate* (L.) Wilczek] [J]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2022, 34 (22): 1230-1234.
- Bharathi VD, Viji CP, Reddy PD, *et al.* Incidence of spotted pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) in Indian bean, *Lablab purpureus* var. *typicus* in unprotected conditions [J]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2020, 9 (4): 499-502.
- Bhuva KJ, Patel SD. Screening of different genotypes/varieties of greengram against spotted pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) [J]. *Environment and Ecology*, 2024, 42 (1A): 323-327.
- Chi YC, Wang JH, Wu JX, *et al.* Effect of temperature on development of *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008, 7: 64-66. [迟玉成, 王绛辉, 吴菊香, 等. 温度对豆野螟 (*Maruca vitrata*) 生长发育的影响 [J]. 山东农业科学, 2008, 7: 64-66]
- Dannon EA, Tamo M, Van Huis A, *et al.* Functional response and life history parameters of *Apanteles taragamae*, a larval parasitoid of *Maruca vitrata* [J]. *Biocontrol*, 2010, 55 (3): 363-378.
- Dhanyakumar O, Srinivasan R, Mohan M, *et al.* Effect of pheromone-mediated mating disruption on pest population density of *Maruca vitrata* (Fabricius) (Crambidae: Lepidoptera) [J]. *Insects*, 2020, 11 (9): 558.
- Downham M, Hall D, Chamberlain D, *et al.* Minor components in the sex pheromone of legume podborer: *Maruca vitrata* development of an attractive blend [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (4): 989-1011.
- Ekesi S. Effect of volatiles and crude extracts of different plant materials on egg viability of *Maruca vitrata* and *Clavigralla tomentosicollis* [J]. *Phytoparasitica*, 2000, 28 (4): 305-310.
- Haripriya K, Jeyarani S, Mohankumar S, *et al.* Evaluation of biorational methods against spotted pod borer *Maruca vitrata* (F.) in lablab and green gram [J]. *Indian Journal of Entomology*, 2021, 83 (2): 269-272.
- Holdaway FG, Look WC. Insects of the garden bean in Hawaii [J]. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 1942, 11 (2): 249-260.
- Huang CC, Peng WK, Talekar NS. Parasitoids and other natural enemies of

- Maruca vitrata* feeding on *Sesbania cannabina* in Taiwan [J]. *Biocontrol*, 2003, 48 (4): 407-416.
- Huang HY. Study on effects of varieties of asparagus bean on population of *Maruca testulalis* [J]. *Journal of South China Agriculture University*, 1999, 20 (1): 17-20. [黄惠英. 不同长豇豆品种对豇豆荚螟种群数量影响的研究 [J]. 华南农业大学学报, 1999, 20 (1): 17-20]
- Indiat SW, Hapsari RT, Prayogo Y, et al. Resistance level of mung bean genotypes to pod borer *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Legume Research*, 2021, 44 (5): 602-607.
- Jin JX, Pan YF, Wang XP, et al. Studies on the selectivity of *Maruca testulalis* for host plants and comparison of the insect-resistance of different cowpea varieties [J]. *Plant Protection*, 2008, 34 (4): 81-85. [金佳鑫, 潘亚飞, 王小平, 等. 豆野螟对寄主的选择性及豇豆品种抗螟性比较 [J]. 植物保护, 2008, 34 (4): 81-85]
- Joelle TM, Yeyinou LEL, Ouorou KDK, et al. Management of the legume pod borer *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) with field applications of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* and a mixed formulation of the baculovirus *MaviMNPV* with emulsifiable neem oil [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2020, 15 (1): 113-121.
- Karel AK. Effects of intercropping with maize on the incidence and damage caused by pod borers of common beans [J]. *Environmental Entomology*, 1993, 22 (5): 1076-1083.
- Karnataka. Biology of legume pod borer, *Maruca testulalis* Geyer on cowpea [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2009, 22 (S3): 668-669.
- Kaur S, Grewal SK, Taggar GK, et al. Methylglyoxal metabolism is altered during defence response in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) against the spotted pod borer (*Maruca vitrata*) [J]. *Functional Plant Biology*, 2024, 51 (2): FP23 155.
- Ke LD, Fang JL, Li ZQ. Bionomics and control of the legume pod-borer *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1985, 28 (1): 51-57. [柯礼道, 方菊莲, 李志强. 豆野螟的生物学特性及其防治 [J]. 昆虫学报, 1985, 28 (1): 51-57]
- Kindozandji A, Dannon AE, Nondichao AN, et al. Assessing lethal doses of the baculovirus *MaviMNPV* and the effect of its combination with neem oil on the survival of *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) larval stages in laboratory [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2022, 42: 2143-2149.
- Kumar A, Kumar A, Kumar J, et al. Assessing the impact of weather variables on *Maruca vitrata* (F) population dynamics in green gram and evaluating the efficacy of various insecticides [J]. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 2024, 27 (5): 566-574.
- Kumar P, Huang LYZ, Srinivasan R. Effect of three commercial biopesticides of neem (*Azadirachta indica*) and *Bacillus thuringiensis* on legume pod borer (*Maruca vitrata*) (Lepidoptera: Crambidae) in Thailand [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2014, 34 (2): 80-87.
- Leonard MD, Mills AS. A preliminary report on the lima bean pod-borer and other legume pod-borers in Porto Rico [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1931, 24 (2): 466-473.
- Liao LY, Wen LZ. Mated regularity of female *Maruca testulalis* Geyer [J].  *Hunan Agricultural Sciences*, 2007, 52 (4): 132-134. [廖凌云, 文礼章. 豇豆荚螟雌蛾交配规律的研究 [J]. 湖南农业科学, 2007, 52 (4): 132-134]
- Liao LY. Elementary Studies on Biology Characteristics and Application of Sex Pheromones Extracts of the Legume Pod Borer, *Maruca testulalis* [D]. Changsha: Master's Degree Dissertation of Hunan Agricultural University, 2008. [廖凌云. 豇豆荚螟生物学特性及其性信息素粗提物应用的初步研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2008]
- Lin RH, Li ZH, Ye BH, et al. Advance in the studies of the legume pod-borer, *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science Edition), 2000, 31 (4): 433-436. [林荣华, 李照会, 叶保华, 等. 豆荚螟 (*Maruca testulalis* Geyer) 研究进展 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2000, 31 (4): 433-436]
- Liu K, Fu YG, Jin QA, et al. Population dynamics of *Apanteles taragamiae* Viereck and the effect of its parasitism on *Diaphania indica* (Saunders) [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2007, 28 (4): 108-111. [刘奎, 符悦冠, 金启安, 等. 瓜螟绒茧蜂田间发生动态及其对瓜螟的寄生作用 [J]. 热带作物学报, 2007, 28 (4): 108-111]
- Liu SS, Li ZQ, Xu LX, et al. Studies on biological and chemical control of *Diaphania indica* Saunders [J]. *China Vegetables*, 1989, 5: 14-17. [刘树生, 李志强, 徐兰仙, 等. 瓜螟的生物学和化学防治研究 [J]. 中国蔬菜, 1989, 5: 14-17]
- Lu PF, Qiao HL, Luo YQ. Female sex pheromone blends and male response of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae), in two populations of mainland China [J]. *Zeitschrift für Naturforschung-Section C Journal of Biosciences*, 2013, 68 (9-10): 416-427.
- Lu PF, Qiao HL, Wang XP, et al. Effect of male and female adult age on the mating success and male EAG response to sex pheromones of the legume pod borer, *Maruca vitrata* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (5): 665-670. [陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 等. 豆野螟成虫日龄对交尾的影响及雄蛾对性信息素的触角电位反应 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (5): 665-670]
- Luo QH, Li JW, Zhao H, et al. Biological characteristics of the bean pod borer and bean butterfly in Guiyang [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2003, 40 (4): 329-334. [罗庆怀, 黎家文, 赵宏, 等. 贵阳地区豆野螟和亮灰蝶的生物学特性 [J]. 昆虫知识, 2003, 40 (4): 329-334]
- Mahalle RM, Chakravarty S, Srivastava CP. Population genetic differentiation and structure of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) in India [J]. *Diversity*, 2022, 14 (7): 546.
- Malini P, Ramasamy S, Schafleitner R, et al. Pheromone-binding proteins based phylogenetics and phylogeography of *Maruca* spp. from Asia, Africa, Oceania, and South America [J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9 (16): 9239-9272.
- Mang DZ, Luo QH, Shu M, et al. Research evolution, progress and forecast on the occurrence and integrated control of *Maruca vitrata* Fabricius in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28 (4): 79-88. [忙定泽, 罗庆怀, 舒敏, 等. 中国豆野螟发生与防治研究沿革、进展及展望 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (4): 79-88]
- Megha, Sreenivas AG, Sushila N, et al. Impact of climate change (elevated CO<sub>2</sub> and temperature) on growth and development of cowpea pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Journal of Agrometeorology*, 2022, 24 (4): 393-398.
- Mehinto JT, Atachi P, Kobi O, et al. Pathogenicity of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on larvae of the legume pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *International Journal of Advanced Research*, 2014, 9 (2): 55-64.
- Oparaeke A. Effect of aqueous extract of tropical plants for management of *Maruca vitrata* Fab. and *Clavigralla tomentosicollis* Stal. on Cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Plants [J]. *Journal of Entomology*, 2006, 3 (1): 70-75.
- Osei-Owusu J, Vuts J, Caulfield JC, et al. Identification of semiochemicals from cowpea, *Vigna unguiculata*, for low-input management of the legume pod borer, *Maruca vitrata* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2020, 46: 288-298.
- Pandit TR, Dwivedi SA. A study on biology and management of spotted pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) in legumes [J]. *Biological Forum*, 2021, 13 (1): 1-9.
- Patel H, Borad P, Patel N. Determination of economic injury and threshold level of *Maruca vitrata* (Geyer) in green gram [J]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, 9 (9): 3211-3215.
- Pillai A, Meena A, Selvaraj S. Field efficacy of biopesticides against pod borer complex in pigeonpea, *Cajanus cajan* (L.) Millsp [J]. *Biopesticides International*, 2013, 9 (2): 132-138.
- Rachappa V, Lingappa S, Patil R, et al. Field performance of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin against pod borer, *Maruca testulalis* (Geyer) on cowpea [J]. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18 (3): 817-819.
- Rajendra SP, Rani AT, Devi SR, et al. Morphological characterization of the antennal sensilla of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Microscopy and Microanalysis*, 2023, 29 (5): 1822-1836.

- Sambathkumar S, Durairaj C, Ganapathy N, et al. Field evaluation of newer insecticide molecules and botanicals against pod borers of Red gram [J]. *Field studies*, 2015, 38 (2): 261.
- Schläger S, Beran F, Groot AT, et al. Pheromone blend analysis and crossattraction among populations of *Maruca vitrata* from Asia and West Africa [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2015, 41 (12): 1155-1162.
- Shejulpati SJ, Kulkarni SR, Chavan AP, et al. Biology of spotted pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) on pigeonpea [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2020, 8 (1): 1603-1607.
- Shelke SB, Shinde BD, Chopkar PS, et al. Biology of pod borer (*Maruca vitrata*) infesting Dolichos bean under laboratory conditions [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2021, 9 (1): 636-644.
- Shi CH, Xie W, Wu MY, et al. Progress in research on the ecology of *Megalurothrips usitatus* and the development of environmentally-friendly control methods for this pest [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2023, 60 (6): 1643-1653. [史彩华, 谢文, 吴明月, 等. 豆大薊马生物生态学特性与绿色防控技术研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2023, 60 (6): 1643-1653]
- Sodedji FAK, Agbahounga SA, Ngueu SPA, et al. Resistance to legume pod borer (*Maruca vitrata* Fabricius) in cowpea: genetic advances, challenges, and future prospects [J]. *Journal of Crop Improvement*, 2020, 34 (2): 238-267.
- Sokame BM, Tounou AK, Datinon B, et al. Combined activity of *Maruca vitrata* multi-nucleopolyhedrovirus, MavIMNPV, and oil from neem, *Azadirachta indica* Juss and *Jatropha curcas* L., for the control of cowpea pests [J]. *Crop Protection*, 2015, 72: 150-157.
- Song ML, Liu YM, Bao JH. Study on the regularity of occurrence and control of *Maruca vitrata* in Laiyang City [J]. *China Plant Protection*, 2004, 24 (7): 21-22. [宋明龙, 刘喻敏, 鲍吉红. 莱阳市豆荚螟发生规律与防治方法探讨 [J]. 中国植保导刊, 2004, 24 (7): 21-22]
- Soundararajan R, Chitra N. Effect of bioinoculants on sucking pests and pod borer complex in urdbean [J]. *Journal of Biopesticides*, 2011, 4 (1): 7.
- Srinivasan R, Ghosh SK, Hien NTT, et al. Susceptibility of the legume pod borer, *Maruca vitrata*, to microbial control agents [J]. *Philippine Journal of Crop Science*, 2014, 97 (2): 199-203.
- Srinivasan R, Paola S, Lin MY, et al. Development and validation of an integrated pest management strategy for the control of major insect pests on yard-long bean in Cambodia [J]. *Crop Protection*, 2019, 116: 82-91.
- Srinivasan R, Tamò M, Lee S, et al. Towards developing a biological control program for legume pod borer, *Maruca vitrata*. In: Gupta S, Ali M, Singh B, eds. International Conference on Grain Legumes: Quality Improvement, Value Addition and Trade [C]. Kanpur: Indian Institute of Pulses Research, 2009: 183-196.
- Srinivasan R, Tamò M, Malini P. Emergence of *Maruca vitrata* as a major pest of food legumes and evolution of management practices in Asia and Africa [J]. *Annual Review of Entomology*, 2021, 66: 141-161.
- Tang LD, Zhao HY, Fu BL, et al. Monitoring the insecticide resistance of the field populations of *Megalurothrips usitatus* in Hainan area [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 1032-1037. [唐良德, 赵海燕, 付步礼, 等. 海南地区豆大薊马田间种群的抗药性监测 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 1032-1037]
- Taylor AT. Preliminary studies on the integrated control of the pest complex on cowpea, *Vigna unguiculata* Walp., in Nigeria [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1969, 62 (4): 900-902.
- Tumuhaise V, Ekesi S, Mohamed SA, et al. Pathogenicity and performance of two candidate isolates of *Metarrhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) in four liquid culture media for the management of the legume pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2015, 35 (1): 34-47.
- Wang HY. The Oviposition Behavior and Insecticide Selection against Eggs in the Legume Pod Borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) [D]. Wuhan: Master's Degree Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2015. [汪海洋. 豇豆荚螟的产卵行为及其卵期防治药剂筛选 [D]. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2015]
- Wang JL, Zhu JC, Jiang XY, et al. Advances and prospects of biological control research of legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (2): 395-407. [王嘉乐, 朱佳晨, 江薰垣, 等. 豆野螟的生物防治研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (2): 395-407]
- Wang L, Zeng L, Lu YY. Research progress on the occurrence and integrated control of *Maruca testulalis* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2003, 25 (2): 83-88. [王琳, 曾玲, 陆永跃. 豇豆螟发生为害及综合防治研究进展 [J]. 昆虫天敌, 2003, 25 (2): 83-88]
- Wang P, Hou XY, Wang Y, et al. Infestation and instar distribution of *Maruca vitrata* during the flowering and pods formation stage of cowpea [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (3): 822-827. [王攀, 侯晓钰, 望勇, 等. 豇豆荚螟在豇豆开花结荚期的为害及虫龄结构 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (3): 822-827]
- Wang P, Zhang N, Zhou LL, et al. Antennal and behavioral responses of female *Maruca vitrata* to the floral volatiles of *Vigna unguiculata* and *Lablab purpureus* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2014, 152 (3): 248-257.
- Wang P, Zheng XL, Lei CL, et al. Influential factors of population dynamics and progress in control techniques of *Maruca vitrata* [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (3): 33-38. [王攀, 郑霞林, 雷朝亮, 等. 豇豆荚螟种群变动影响因子及防治技术研究进展 [J]. 植物保护, 2011, 37 (3): 33-38]
- Wang P, Zheng ZL, Lei CL, et al. Observation on the head and chemoreceptors of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) larvae [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (2): 72-75. [王攀, 郑霞林, 雷朝亮, 等. 豇豆荚螟幼虫头部形态及化学感受器观察 [J]. 植物保护, 2011, 37 (2): 72-75]
- Wen LH, Li DY, Li GL, et al. Investigation on population dynamics of *Etiella zinckenella* for off-season cowpea and its control [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2006, 34 (4): 53-54. [文林宏, 李德友, 李桂莲, 等. 夏秋反季节豇豆豆荚螟田间消长调查及防治 [J]. 贵州农业科学, 2006, 34 (4): 53-54]
- Wen YS, Luo DQ, Zhao DX. Courtship and mating behaviors of the female and male moths of *Maruca vitrata* (Fabricius) and their influential factors [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, 30 (12): 1870-1875. [温衍生, 罗大全, 赵冬香. 豇豆荚螟雌雄蛾求偶交配行为及其影响因子研究 [J]. 热带作物学报, 2009, 30 (12): 1870-1875]
- Williamson AL. Two foreign bean pod borers discovered in Texas [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1943, 36: 936-937.
- Wolley JN. Breeding cowpea for resistance to *Maruca testulalis* I: methods and preliminary results [J]. *Tropical Grain Legume Bulletin*, 1976, 4: 13-14.
- Xiao F, Wen LZ, Song L, et al. Biological characteristics and occurrence regularity of the legume pod-borer of *Maruca testulalis* Geyer larvae [J]. *Journal of Liaoning University*, 2009, 36 (3): 284-288. [肖芬, 文礼章, 宋丽, 等. 长沙地区豇豆荚螟的生物学特性及消长规律研究 [J]. 辽宁大学学报, 2009, 36 (3): 284-288]
- Xiao XP. Space pattern and sampling method of *Maruca testulalis* larvae [J]. *China Vegetables*, 1996, 1: 23-25. [肖新平. 豇豆荚螟幼虫的空间分布型与抽样技术 [J]. 中国蔬菜, 1996, 1: 23-25]
- Xiao XP. Study on evaluation of injury loss rate and economic threshold (ET) for *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 1995, 21 (5): 485-488. [萧新平. 豇豆荚螟危害损失率测定及防治指标研究 [J]. 湖南农业大学学报, 1995, 21 (5): 485-488]
- Xu FC, Zheng YL, Wu YH, et al. Biological characteristics and occurrence regularity of the legume rod-borer *Maruca testulalis* Geyer in Southern Zhejiang [J]. *Plant Protection*, 2005, 31 (1): 53-56. [许方程, 郑永利, 吴永汉, 等. 浙南地区豆野螟生物学特性和消长规律研究 [J]. 植物保护, 2005, 31 (1): 53-56]
- Zeng L, Wang L, Shen S. Repelling effects of semio-chemical of non-preferable plant on the population of *Maruca testulalis* Gayer. In: Li DM, eds. Insects and Environment-Proceedings of the 2001 Symposium of the Chinese Entomological Society [C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2001, 196-200. [曾玲, 王琳, 沈叔平,

- 非嗜食植物乙醇提取物对豇豆荚螟种群的驱避作用. 见: 李典漠主编. 昆虫与环境-中国昆虫学会 2001 年学术讨论会论文集 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001, 196-200]
- Zhao SR, Yang X, Sun XQ. Occurrence and biological characteristics of *Maruca testulalis* Geyer in Shanghai [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2009, 27 (2): 162-166. [赵胜荣, 杨娴, 孙兴全. 上海地区豆野螟发生规律及生物学特性的初步研究 [J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2009, 27 (2): 162-166]
- Zhou J, Zhang N, Wang P, et al. Identification of host-plant volatiles and characterization of two novel general odorant-binding proteins from the legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (10): e0141208.
- Zhou XM, Pan YF, Wang XP, et al. Effects of food-plants on the survival, development and fecundity of *Maruca vitrata* (Fabricius) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2008, 27 (3): 367-369. [周兴苗, 潘亚飞, 王小平, 等. 寄主植物对豆野螟存活、发育和繁殖的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2008, 27 (3): 367-369]
- Zhu JQ, Pan YF. Effects of different temperatures and host plants on the developmental period and population dynamics of *Maruca vitrata* [J]. *China Plant Protection*, 2009, 29 (12): 19-21. [朱均权, 潘亚飞. 不同温度及寄主植物对豆野螟发育历期和种群动态的影响 [J]. 中国植保导刊, 2009, 29 (12): 19-21]