

大豆害虫点蜂缘蝽研究进展

高宇, 陈菊红, 史树森*

(吉林农业大学植物保护学院, 吉林 长春, 130118)

摘要:大豆“症青”现象是黄淮海流域大豆生产上亟待解决的重要问题。最新研究发现,“症青”现象与点蜂缘蝽的发生为害有着密不可分的联系。点蜂缘蝽是一种分布广泛的多食性害虫,近年来,该害虫持续发生并呈蔓延趋势,对我国大豆生产造成严重威胁。本文着重介绍了该虫的分布与寄主、为害特点、生物学特性、环境因子的影响、综合防治方法,为深入分析大豆“症青”现象形成机制、开展大豆害虫点蜂缘蝽综合治理研究以及相关政策制定等提供有益的参考。

关键词:大豆;点蜂缘蝽;症青;发生规律;害虫综合治理

中图分类号:S435.651;Q969.93

文献标识码:A

文章编号:1007-9084(2019)05-0804-12

Research progress on soybean stink bug (*Riptortus pedestris*)

GAO Yu, CHEN Ju-hong, SHI Shu-sen*

(College of Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin, 130118, China)

Abstract: The staygreen syndrome in soybean has become a major issue to be solved in Huang-Huai-Hai river basin. According to recent researches, the soybean stink bug (*Riptortus pedestris*) was closely related to the staygreen syndrome due to its severely damage on soybean. *R. pedestris* is a widely distributed polyphagous pest with sucking mouth parts. In recent years, this pest continued to occur and tends to spread, which posed a serious threat to soybean production in China. This paper emphatically introduced the distribution and host, damage characteristics, biological characteristics, environmental factors and integrated control methods. It could provide information for further research staygreen syndrome in soybean, and research on integrated management of the soybean bug and formulation of relevant policies.

Key words: soybean; *Riptortus pedestris*; staygreen syndrome; occurrence pattern; integrated pest management

大豆“症青”现象是黄淮海流域大豆生产上亟待解决的重要问题^[1]。近年来,“症青”现象呈现出从黄淮海流域大豆产区向西北、东北大豆产区扩大蔓延并逐年加重的趋势。据报道,2010年河南舞阳县近2666.7 hm²出现症青菜少现象^[2],2014年在北京周边地区严重为害,重则绝收^[3,4],2015年在沧州、保定有1 hm²以上地块绝收,廊坊也有点片发生^[5],2016~2018年在陕西、山西、甘肃等地陆续发生,2017年在吉林省靖宇县局部地块(近百亩)鲜食豆严重发生“症青”。可见,在今后一段时间内,这些区域均有较高的成灾风险。

最新研究发现,点蜂缘蝽(*Riptortus pedestris*=*R. clavatus*)可能是导致大豆“症青”现象的关键因素^[1,6]。该害虫隶属半翅目(Hemiptera)蛛缘蝽科(Alydidae)蜂缘蝽属(*Riptortus*),别名豆缘蝽,是一种多食性害虫,以前一直在大豆上发生,但仅作为次要性害虫而未引起人们重视。由于国内对该害虫研究较少,加之农民认识不足,不能及时防治,造成大豆减产、品质下降,严重地影响了农民的经济收入,挫伤了农民种植大豆积极性。在实施大豆振兴计划的背景下,为了保障国产大豆有效供给,控制点蜂缘蝽持续大发生及其危害问题显得更为重

收稿日期:2019-02-11

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0201004);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04)

作者简介:高宇(1983-),男,博士,副教授,主要从事昆虫生态及害虫综合治理研究,E-mail: gaoy1101@163.com

* 通讯作者:史树森(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事农业害虫综合治理与昆虫资源利用研究,E-mail: sss-63@263.net

要而紧迫,需要将其列入重点监测和防控对象,亟需关注和深入研究。作者通过从点蜂缘蝽的分布与寄主、为害特点、生物学特性、环境因子的影响、综合防治方面,综合分析了国内外点蜂缘蝽的最新研究进展及整体方向,为深入分析大豆“症青”现象、开展大豆害虫点蜂缘蝽综合治理研究以及相关政策制定等提供有益的参考。

1 分布与寄主

点蜂缘蝽的地理分布广泛、寄主种类众多,在中国分布于北京、天津、辽宁、吉林、河北、河南、湖北、陕西、甘肃、江苏、浙江、安徽、江西、四川、贵州、西藏、广西、广东、福建、海南、云南、台湾等省区^[7],大豆点蜂缘蝽的最北采集地是吉林省安图县二道白河镇^[8];在国外分布于东亚和东南亚地区,包括韩国、日本、印度、巴基斯坦、斯里兰卡、缅甸、马来西亚等,属泛东洋区系种^[9,10]。

已知寄主植物13科30余种,包括豆科(Leguminosae)大豆(*Glycine max*)、蚕豆(*Vicia faba*)、小巢菜(*Vicia hirsuta*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、绿豆(*Vigna radiata*)、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)、白芸豆(*Phaseolus vulgaris*)、赤小豆(*Vigna angularis*)、香花崖豆藤(*Millettia dielsiana*)、毛蔓豆(*Calopogonium mucunoides*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、胡麻科(Pedaliaceae)芝麻(*Sesamum indicum*)、禾本科(Gramineae)水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)、大麦(*Hordeum vulgare*)、野燕麦(*Avena fatua*)、高粱(*Sorghum bicolor*)、稷(*Panicum miliaceum*)、甘蔗(*Saccharum officinarum*)、葫芦科(Cucurbitaceae)丝瓜(*Luffa cylindrica*)、睡莲科(Nymphaeaceae)莲子(*Semen Nelumbinis*)、蔷薇科(Rosaceae)苹果(*Malus domestica*)、桃(*Amygdalus persica*)、梨(*Pyrus* spp.)、旋花科(Convolvulaceae)甘薯(*Dioscorea esculenta*)、红薯(*Ipomoea batatas*)、芸香科(Rutaceae)柑橘(*Citrus reticulata*)、桑科(Moraceae)桑(*Morus alba*)、漆树科(Anacardiaceae)芒果(*Mangifera indica*)、椴树科(Tiliaceae)黄麻(*Corchorus capsularis*)、锦葵科(Malvaceae)棉花(*Gossypium* spp.)、柿树科(Ebenaceae)柿树(*Diospyros Kaki*)^[8,11],在国内外均以豆科植物为主要寄主。

2 为害特点

直接为害是以成虫及若虫刺吸植株汁液,致使植株生长发育不良,荚果不饱满。当大豆开始结实时,往往群集为害,造成蕾、花凋落,荚而不实或形

成瘪粒、畸形^[12],受害豆荚上留有针孔样黑褐色圆点,为害严重时全株枯死,颗粒无收^[8]。受害大豆籽粒重量显著降低,而且为害程度越重,籽粒中的蛋白质含量越高,脂质和碳水化合物含量和发芽势降低^[13]。

间接为害是在刺吸植株汁液同时传播病原菌,致使大豆籽粒污斑或霉烂,严重影响大豆产量及品质。Kimura等从大豆(品种Murasakizukin)籽粒上分离鉴定为酵母菌(*Eremothecium coryli*)、核黄菌(*Eremothecium ashbyi*),这2种菌是大豆籽粒酵母菌斑病(Yeast-spot disease)的致病菌^[14,15],随后证实点蜂缘蝽是这2种菌首要的介体昆虫,其成虫、若虫的带菌率分别为77.7%、11.5%,传播率为81.6%^[16,17]。

3 生物学特性

3.1 生活史

据调查,在中国廊坊、北京、南昌以及韩国一年发生3代,不同地区因气候条件各代历期略有差异^[5,8]。以成虫在田间残留的秸秆、落叶和草丛中越冬,在北京地区,3月下旬至4月上旬越冬成虫开始活动,5月中旬至7月上旬产卵,6月上旬至7月中旬若虫孵化,7月上旬至8月上旬羽化为第1代成虫;7月中旬至8月中旬成虫交配产卵,第2代若虫于7月下旬至8月下旬孵化,8月上旬至9月中旬羽化为第2代成虫;9月上旬至10月下旬产卵,9月中旬末至11月初孵化,10月上旬至11月中旬羽化为第3代成虫,11月下旬以后进入越冬^[4]。

3.2 主要习性

成虫羽化后需要取食花器及豆荚的汁液,补充营养,才能正常发育及繁殖。雌虫每次产卵7~21粒,一生可产12~49粒,多产于叶背、嫩茎和叶柄上。成虫和若虫极活泼,善于飞翔,反应敏捷,晨昏温度低时反应稍迟钝,阳光强烈时多栖息在大豆叶背面^[8]。点蜂缘蝽的习性与条蜂缘蝽(*Riptortus linearis*)相似,在豆科作物及稻田内常混合发生。

3.3 活动能力

成虫有很强的飞行能力,若虫有较强的转移活动能力。雄虫的最快飞行速度是10.8 km/h;雄虫最大飞行距离可达3.1 km/d,雌虫最大飞行距离可达4.6 km/d,性别上无显著差异。飞行速度受温度影响,在29℃时最高,在19℃时最低^[8]。1龄若虫爬行距离仅为1.78 m/h,2~5龄若虫爬行距离为3.4 m/h~4.28 m/h,这表明1龄幼虫在田间孵化后很少移动,运动能力最差,最远距离为9.3 m,3龄若

虫运动能力最强,最远距离可达80.8 m。3~5龄若虫的潜在运动距离(24 h步行距离×潜在寿命)约为340 m,而1~2龄若虫约为180 m^[19]。1龄幼虫的运动能力在感光期和暗期无差异,2~5龄若虫感光期的运动能力显著高于暗期^[20]。

3.4 性选择

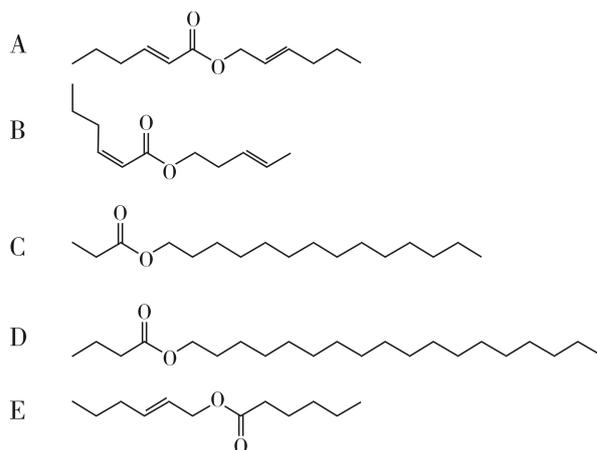
雄虫在与同性的争斗中以膨大的后足作为武器,具有较大后足的个体更容易赢得争斗。雄虫的后足一般比雌虫膨大。体型较大雄虫其腿节更大,而体型较大的雌虫其腿节并无明显膨大。雄虫的胸、腹部长度较雌虫长。雄虫通常背对竞争者举起腹部,以作对抗。雄虫可能用这种行为应对激烈的性别内竞争压力^[21]。体型大小和后足大小呈显著正相关,而求偶率与体型和后足大小,呈负相关,作为一种替代性的交配策略,体型较小的雄虫会在求偶行为中付出更多努力^[22]。雌虫交尾偏好通过费舍尔效益(Fisherian benefits)和“好”基因效益(Good-genes benefits)进化而来^[23]。

3.5 种内外通讯行为

点蜂缘蝽的聚集行为主要由聚集信息素引起。聚集信息素能够引起雌雄两性的同种昆虫产生聚集行为反应的化学物质。

3.5.1 活性组分 点蜂缘蝽聚集信息素是由雄虫分泌释放的^[24],主要有3种活性组分:(*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate、(*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate、Tetradecyl isobutyrate (图1)^[25,26]。其中,Tetradecyl isobutyrate为必需组分,其释放量与雄虫体内脂肪体发育程度密切相关,(*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate主要起吸引的作用,但单独使用该组分不能诱集到点蜂缘蝽,在Tetradecyl isobutyrate组分基础上,增加(*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate、(*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate这2个组分,诱捕效果明显更好,此外,还有2种物质是补充性组分Octadecyl isobutyrate、(*E*)-2-hexenyl hexanoate对成虫聚集行为有一定协同作效应^[27,28]。

3.5.2 触角及感觉机制 昆虫触角感受器是寻找配偶、寄主或食物、产卵场所的重要器官。聚集信息素在点蜂缘蝽行为活动中起着重要作用,说明该害虫具有发达的嗅觉系统。雌、雄虫触角长度分别为9.84 mm、11.00 mm。触角上的感受器分为4种类型:毛形感器(4个亚型)、刺形感器(3个亚型)、锥形感器(4个亚型)、腔锥形感器(2个亚型)。毛形感器的数量最多,其次是刺形感器、锥形感器、腔锥形感器。毛形感器2个亚型、锥形感器1个亚型和刺



Note: A: (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate; B: (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate; C: Tetradecyl isobutyrate; D: Octadecyl isobutyrate; E: (*E*)-2-hexenyl hexanoate)

图1 点蜂缘蝽聚集信息素化学结构

Fig. 1 Chemical structure of aggregation pheromone released by *Riptortus pedestris*

形感器1个亚型分布在柄节、梗节和第3节。除了腔锥形感器Ⅱ型仅见于雄虫触角之外,触角感器类型在两性别间基本没有差别^[29]。

宋月芹等研究了触角转录组及化学感受相关基因,获得45 802 812条clean reads,包括6.87 Gb (GenBank 登录号:SRR4429103);拼接92 259条unigenes,平均长度为618 bp,N50为1013 bp;在7大数据库中注释到21 365条unigenes;鉴定出219个化学感受相关基因,包括188个嗅觉受体、6个味觉受体、2个离子型受体、4个感觉神经元膜蛋白、8个气味结合蛋白和11个化学感受蛋白。RpedOBP1和RpedOBP2在第6个保守的半胱氨酸后又多了3个保守的半胱氨酸位点,属于加Plus-C气味结合蛋白家族^[30]。这为今后利用嗅觉基因靶标防治点蜂缘蝽提供了重要的分子生物学信息数据,对基因整体相关性研究还存在不足。今后还需在基因组学、蛋白质组学、代谢组学等方面加以深化。

3.5.3 对其它昆虫的影响 点蜂缘蝽聚集信息素兼具有聚集作用和利它素(kairomone)的生态功能,即除了吸引同种个体,也能吸引其它蝽类,还可吸引膜翅目缘腹细蜂科(Scelionidae)的*Gryon japonicum*和跳小蜂科(Encyrtidae)的*Ooencyrtus nezarae*。雌蜂利用这些聚集信息素定位寄主点蜂缘蝽^[31,32]。在日本熊本大豆田点蜂缘蝽和壁蝽(*Piezodorus rubrofasciatus*)混合发生。利用这两种害虫的信息素诱捕时发现,点蜂缘蝽的聚集信息素对这2种害虫具有交叉引诱效果^[33]。点蜂缘蝽聚集信息素(*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate组分可诱集到壁蝽个体,而

且诱集数量比壁蝽的信息素[1:1:one mixture of β -sesquiphellandrene, (R)-15-hexadecanolide, and methyl (Z)-8-hexadecenoate]更多。(E)-2-hexenyl (E)-2-hexenoate 诱集到的壁蝽雌、雄虫比例相当,诱集到的成虫消化道内缺乏食物,也可诱集到壁蝽若虫和滞育成虫,(E)-2-hexenyl (E)-2-hexenoate 是与壁蝽搜寻寄主植物(食物)的行为有关的互益素,而壁蝽的信息素不能诱集到点蜂缘蝽,是与壁蝽种内两性行为有关的信息化学物质。(E)-2-hexenyl hexanoate 对壁蝽来说与寻找食物有关^[33]。

4 环境因子的影响

环境因子对点蜂缘蝽的个体及种群发生均有影响。点蜂缘蝽能适应海拔较高的山区环境条件,耐低温能力较强,冬季气温偏高,雨雪较少,有利于成虫越冬,早春气温回温升快,特别是3月下旬至4月上旬气温高,有利于越冬成虫出蛰活动。

4.1 温度

点蜂缘蝽卵期、若虫期、成虫期的发育起点温度分别为 12.58 ± 0.46 °C、 15.98 ± 1.65 °C、 15.27 ± 3.99 °C。卵期、若虫期、成虫期的有效积温分别为 102.32 ± 3.73 日·度、 203.28 ± 31.10 日·度、 103.94 ± 5.18 日·度。在温度 16 °C~ 32 °C 范围内,各虫态的发育历期均随温度的升高而缩短,发育速率与温度呈显著正相关。在 24 °C 条件下,单雌产卵量最高(为 14.30),在 16 °C 条件下,点蜂缘蝽不能完成个体发育, 32 °C 条件下,雌成虫未见产卵。随温度的升高点蜂缘蝽的存活率呈现先增后减的趋势^[34]。

温度对成虫体内5种呼吸代谢关键酶有不同程度的影响,3-磷酸甘油醛脱氢酶、3-磷酸甘油脱氢酶、3-羟酰辅酶A脱氢酶、柠檬酸合成酶、乳酸脱氢酶的活性均随温度升高呈现先增后减的趋势;雌雄个体间在低温条件下体内三羧酸循环代谢存在显著差异,在高温条件下体内糖无氧酵解水平存在显著差异。随着温度的升高,雌、雄成虫体内呼吸代谢关键酶活性呈现先增后减的趋势,呼吸代谢消耗以糖类为主,可通过调节呼吸代谢强度适应温度变化^[35]。

4.2 光周期

光周期对昆虫的滞育起着重要的信息作用,是引起昆虫滞育的主要因子。点蜂缘蝽在短日照(小于 13.5 h)条件下进入生殖滞育期^[36],当在秋季大豆田中放置聚集信息素诱捕器,雌虫进入其生殖滞育

期间,对聚集信息素的反应更加敏感,这验证了昆虫滞育的季节性是昆虫对光周期的响应。

神经细胞对光周期调节的滞育非常重要,脑间部神经细胞对于点蜂缘蝽滞育是必不可少的,侧神经细胞(PL-d和PL-v)参与了对卵巢发育的光周期抑制^[37]。日本学者对昼夜节律分子机制方面做了深入研究,分离出昼夜节律钟基因有周期蛋白基因 *period(per)*、周期循环蛋白基因 *cycle(cyc)*、旋转蛋白基因 *vri(vri)*、隐花色素基因 *mammalian-type cryptochrome(cry-m)*,其中, *vri* 和 *cry-m* 是首次在半变态昆虫中发现的,点蜂缘蝽 *cry-m* 基因与其它具有 *cry-m* 基因的昆虫相似,例如黑脉金斑蝶 (*Danaus plexippus*)、意大利蜜蜂 (*Apis mellifera*),与不具有 *cry-m* 基因的昆虫不同,例如黑腹果蝇 (*Drosophila melanogaster*)。长日照和短日照条件在 mRNA 水平上无法区分光周期条件,昼夜节律钟基因的转录调控在点蜂缘蝽滞育过程中不起重要作用^[38]。*per* 和 *cyc* 基因是调节表皮沉积节律的核心组成部分^[39]。*cry-m* 基因在昼夜节律中起负调节作用,在组织层面上产生生理节律^[40]。*cry-m* RNAi 显著增加了在滞育诱导的短日照条件下的生殖个体发生率^[41]。在滞育诱导的短日照条件下,*per* 基因 RNAi 诱导雄虫生殖器官发育,在滞育诱导的长日照条件下,*cyc* 基因 RNAi 也抑制了生殖器官的发育。说明 *per* 和 *cyc* 基因调节的昼夜节律基因主导了雌雄虫的光周期^[42]。*Clock* 基因 RNAi 扰乱了体壁合成的昼夜节律,*Clock* 基因是昼夜节律基因的核心组成部分,在激活下游基因转录过程中起着积极的作用。而且,不论白天长短,*Clock* 基因 RNAi 都会抑制卵巢发育,这表明时钟参与了光周期反应^[43]。神经色素驱散因子(*pigment-dispersing factor, PDF*)是昆虫昼夜节律的重要调节因子,在各种昆虫的昼夜节律神经元中均有表达。免疫反应神经元细胞体的免疫标记强度和 *pdf* mRNA 表达水平无昼夜差异。切除髓质中含有 PDF 免疫反应性细胞体的区域,会扰乱滞育光周期调节。然而, RNA 干扰抑制 *pdf* 基因不影响光周期反应。这些结果表明,含有 PDF 免疫反应的胞体(PDF-immunoreactive somata)对光周期反应很重要,但 *pdf* mRNA 可能并不需要表达^[44]。

4.3 食物

点蜂缘蝽在豇豆、白芸豆、大豆(品种 Cheongja、品种 Daepung)、绿豆、赤小豆上均可完成个体发育,其中,白芸豆发育最慢,死亡率最高(93%),寿命最短(18 d),在大豆、豇豆、赤小豆上繁殖力较高,在豇

豆上的卵成功孵化率最高,豇豆可能是促进个体发育和繁殖的有益食物来源,最适寄主植物是大豆^[45]。

饲喂成熟大豆荚(含大豆籽粒)与大豆籽粒相比,点蜂缘蝽均可完成生长发育及繁殖,但发育时间更长,死亡率高2.2~5.0倍,成虫寿命短8.4 d。行为测试发现,成虫更偏好大豆籽粒,刺探时间籽粒比豆荚更长。成虫和若虫的口器长度和刺探深度远长于豆荚壳厚度。豆荚的硬度和荚毛性质对点蜂缘蝽刺吸行为有负面影响,可能是取食豆荚限制因素之一,但口器结构特点并不能解释这一现象^[46]。

若虫期饲以大麦而不饲喂大豆,点蜂缘蝽也可完成个体发育,但发育缓慢、成虫体型较小,产卵前期和生殖力无显著变化^[47],在芝麻上不能完成个体发育或繁殖,而在刺槐上能够完成。当食物匮乏时,刺槐可作为替代食物^[48]。点蜂缘蝽为害苹果和柿树,造成果实斑点,而在果园调查未发现卵和若虫。苹果和柿不是必需的食物来源,以此饲喂的1龄若虫无法正常发育到3龄若虫^[49]。

4.4 天敌

已发现的捕食性天敌多为广谱性捕食者,而专一性寄生性天敌和捕食性天敌未见报道。国内已知的天敌有球腹蛛、长螳螂、蜻蜓和黑卵蜂等,国外已知的天敌有6种天敌昆虫和1种昆虫病原菌(表1),其中,研究较多的是2种卵期寄生性天敌,即 *Gryon japonicum* 和黑蝽卵跳小蜂 *Ooencyrtus nezarae*, 黑蝽卵跳小蜂在韩国、日本为大豆田间的优势种类,在中国山东、北京、福建也有分布^[50,51]。点蜂缘蝽被白僵菌(*Beauveria bassiana*)感染2~6 d内,其体内1种新的类小核糖核酸病毒(a picorna-like virus)复制急剧增加,在胸部、腹部、中肠和脂肪体中大量检测到该病毒,在生殖器官和肌肉中却没有检测到,该病毒是昆虫正义单链RNA病毒,被命名为 *Riptortus pedestris virus-1* (RiPV-1), GenBank 登记号为 Ku958718^[52]。进一步研究结构蛋白和病原-病原相互作用,可以加深对该病毒的致病机制的认识,对害虫防治有一定的帮助。

4.5 共生菌

一些昆虫共生菌可以通过垂直传播或从环境中被摄取等方式存在于昆虫的世代中,并对宿主昆虫的正常发育和繁殖至关重要^[54],如中肠内的共生菌伯克氏菌(*Burkholderia*)对于宿主点蜂缘蝽的生长和繁殖起重要作用。共生菌能提高“点蜂缘蝽-伯克氏菌”系统(*Riptortus-Burkholderia* system)共生

昆虫点蜂缘蝽的免疫力,伯克氏菌通过胞外被膜的改变使共生昆虫更易接受^[55]。共生昆虫比无共生昆虫更能经受细菌感染,存活率更高,具有更强的体液免疫能力,血淋巴具有很高的抗菌活性,共生体诱导昆虫抗菌肽的高表达^[56]。农田土壤中少量存在的伯克氏菌可以帮助点蜂缘蝽降解有机磷杀虫剂(杀螟松),若虫从土壤中获得该共生菌;施用杀螟松能使这种菌在土壤中大量富集,并与点蜂缘蝽形成共生关系赋予其抗药性,当点蜂缘蝽接触到杀螟松时,伯克氏菌可以帮助降解杀螟松,从而提高宿主对化学杀虫剂的抗性^[57]。

4.6 种群遗传多样性

不同地理种群的同种农作物害虫由于当地气候变化、生活环境的差异性、人类活动的干扰、种群之间基因交流的障碍等,可能导致同一物种各地理种群之间逐渐产生显著的遗传分化^[58]。研究种群遗传多样性可以判断和预测害虫的入侵和扩散途径,为害虫的预防和治理提供理论基础。Park 等通过测定韩国42个地理种群间的遗传分化情况,294头样本的线粒体COI基因序列,在294条402bp的COI基因序列中发现36个变异位点,获得36种单倍型,42个地理种群的遗传距离为0.00%~1.50%。群体单倍型多样性大于98%,42个地理种群被划分为9个地理群,不同地理种群间存在遗传分化^[59]。

5 综合防治

5.1 农业防治

很多大豆品种都可被点蜂缘蝽严重为害或发生“症青”现象^[1,6],个别品种的“症青”发生率甚至超过了50%^[60]。Wada 等发现日本的小籽粒品种(Kyushu-143)比大籽粒品种(Fukuyutaka 和 Sachi-yutaka)受害更轻^[61]。Kim 等研究发现,若虫在韩国的大豆品种(Agakong、Cheongjakong、Daewonkong)上的发育时间和繁殖力不受品种的影响,在 Agakong 品种上的虫口密度比另2个品种低,Agakong 品种上若虫死亡率显著低于 Cheongjakong 和 Daewonkong 品种。以 Agakong 品种饲养的雌成虫体型较大,点蜂缘蝽偏好选择 Cheongjakong 品种籽粒^[62]。这也说明点蜂缘蝽对大豆品种有一定的偏好性、选择性,表现为不同大豆品种出现“症青”现象的差异性,所以,应根据当地的气候、土壤条件等,因地制宜选种“抗性”品种。

实行轮作倒茬,合理安排茬口,适时播种,合理密植^[63]。科学施肥,合理灌溉,增施有机肥或土壤改

表1 点蜂缘蝽的天敌种类^[50,53]
Table 1 Natural enemies of *Riptortus pedestris*

分类地位 Taxonomic status	种名 Species name	自然分布 Native location	天敌攻击的虫态 Life stage attacked	其它半翅目寄主昆虫 Other Hemipteran hosts
昆虫纲 Insecta 双翅目 Diptera 寄蝇科 Tachnidae	<i>Dionaea magnifrons</i>	韩国 Korea	成虫 Adult	—
膜翅目 Hymenoptera 跳小蜂科 Encyrtidae	黑蝽卵跳小蜂 <i>Ooencyrtus nezarae</i>	韩国 Korea、日本 Japan、泰国 Thai- land、中国 China (泰安 Taian、北京 Beijing、福州 Fu- zhou)、巴西 Brazil (引进)	卵 Egg	瘤缘蝽 <i>Anacanthocoris sordidus</i> 、 <i>Anacanthocoris concoloratus</i> 、豆突眼长蝽 <i>Chauliops fallax</i> 、斑须蝽 <i>Dolycoris baccarum</i> 、二星蝽 <i>Eysarcoris guttiger</i> 、一点同缘蝽 <i>Homoeocerus unipunctatus</i> 、斑腹同缘蝽 <i>Homoeocerus marginiventris</i> 、华稻缘蝽 <i>Leptocoris chinensis</i> 、 <i>Megacopta punctissimum</i> 、黑须稻绿蝽 <i>Nezara antennata</i> 、稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i> 、壁蝽 <i>Piezodorus rubro-fasciatus</i> 、小珀蝽 <i>Plautia crossota stali</i> 、筛豆龟蝽 <i>Megacopta cribraria</i> 、茶翅蝽 <i>Halyomorpha halys</i>
膜翅目 Hymenoptera	<i>Ooencyrtus acastus</i>	日本 Japan	卵 Egg	瘤缘蝽 <i>Acanthocoris sordidus</i>
旋小蜂科 Eupelmidae	荔蝽平腹小蜂 <i>Anastatus japonicus</i>	日本 Japan	卵 Egg	黑须稻绿蝽 <i>Nezara antennata</i> 、稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i> 、荔枝蝽 <i>Tessarotoma papillosa</i>
膜翅目 Hymenoptera 缘腹细蜂科 Scelionidae	<i>Gryon japonicum</i>	韩国 Korea、日本 Japan、菲律宾 the Philippines	卵 Egg	华稻缘蝽 <i>Leptocoris chinensis</i> 、稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger</i> 、宽棘缘蝽 <i>Cletus rusticus</i>
	<i>Gryon hakonense</i>	日本 Japan	卵 Egg	—
	<i>Gryon nigricorne</i>	日本 Japan	卵 Egg	—
杆菌纲 Bacilli 芽胞杆菌目 Bacillales 芽胞杆菌科 Bacillaceae	苏云金芽胞杆菌的莫氏亚种 <i>Bacillus thuringiensis serovar morrisoni (H8ab)</i>	日本 Japan	若虫 Nymph	—
粪壳菌纲 Sordariomycetes 肉座菌目 Hypocreales 麦角菌科 Clavicipitaceae	白僵菌 <i>Beauveria bassiana</i>	分布广泛 Wide- spread	若虫 Nymph	多种害虫 Various pests

注:—表示暂无报道

Note: — indicates not yet available report

良,增强大豆机体抵抗力。及时铲除田间及周围的早花早实的野生杂草,避免其成为点蜂缘蝽的早春过渡寄主^[5]。收获后进行深耕,清理田间及周围的秸秆、杂草、枯枝落叶,压低越冬虫源基数^[4]。Wada等发现,在日本南部,推迟播种时间、调节开花时

期,点蜂缘蝽对籽粒的危害减少^[61]。调整周边果树种类有利于减少点蜂缘蝽发生^[49]。还可以在大豆田周边种植荞麦(*Fagopyrum esculentum*)、豇豆、柿树作为诱集植物或非寄主植物^[45],虽然对点蜂缘蝽诱集效果甚微,但能提高点蜂缘蝽卵的被寄生率^[64,65]。

用马齿型玉米(*Zea mays* ssp. *dentata*)作屏障作物对点蜂缘蝽等害虫无明显控制效果^[66]。在大豆田周边种植枹栎(*Quercus serrata*)、日本扁柏(*Chamaecyparis obtusa*)、日本花柏(*Chamaecyparis pisifera*)等林木,有助于为*O. nezarae*创造栖境多样性^[67]。

5.2 生物防治

5.2.1 天敌昆虫 利用天敌控制害虫种群是生物防治的重要手段之一。保护、利用和引进自然天敌资源是重要的绿色防控措施。*G. japonicum*为独居性、寡食性,*O. nezarae*为群集性、多食性^[68]。这2种寄生蜂在种间竞争中各具优势。点蜂缘蝽若虫期以大麦为食物而不饲喂大豆,*G. japonicum*和*O. nezarae*的寄生率、子代性比也不受影响^[69]。*G. japonicum*雌蜂能在极短的搜索期内找到寄主并完成寄生,但子代死亡率较高。*O. nezarae*在较长搜索期(超过1 d)内完成寄生,总寄生率和子代羽化率分别是*G. japonicum*的1.6~2.8倍、4.7~7.3倍^[70]。由于点蜂缘蝽聚集信息素具有引诱寄生蜂的互益素功能,通过在韩国安市田间设置聚集信息素诱捕器,监测2种寄生蜂及点蜂缘蝽的发生动态。*G. japonicum*始见于5月,至8月上旬一直是大麦、芝麻、大豆生长前期的优势种类,*O. nezarae*从8月至9月或10月,是大豆生长中后期上优势种类^[71]。而且,这2种寄生蜂田间种群不存在互相竞争的影响。*O. nezarae*的田间自然寄生率高于*G. japonicum*,而且*O. nezarae*与点蜂缘蝽同步发生,*O. nezarae*在叶片上的寄生率高于豆荚上的寄生率。*O. nezarae*比*G. japonicum*更适宜作为大豆田生物防治的天敌昆虫^[72]。点蜂缘蝽卵上释放的气味对*O. nezarae*的搜寻和寄生行为影响较大;*O. nezarae*寄生的卵数量随着点蜂缘蝽卵密度的增加而提高,*O. nezarae*在田间的寄生存在着空间或时间上的障碍^[73]。

冷藏点蜂缘蝽卵是人工繁育*O. nezarae*的理想方法。当供以被*G. japonicum*寄生的冷藏寄主卵时,*O. nezarae*完成了寄主接受行为,*O. nezarae*第1次和第2次产卵间隔分别是0 d、4 d时,成蜂羽化率分别为43%、74%,冷藏对*O. nezarae*没有影响。而当供以被*O. nezarae*寄生的卵时,*G. japonicum*也完成了寄主接受行为,但*G. japonicum*成蜂羽化率从被*O. nezarae*寄生的非冷藏卵80%降至冷藏卵37%^[74]。点蜂缘蝽卵冷藏0 d~30 d,*O. nezarae*成蜂第1代或第2代的生物学特性未受影响,在温度26.3℃、湿度78.7%条件下,*O. nezarae*能成功寄生冷藏前4 d的点蜂缘蝽卵^[75]。在高湿条件下保存,点

蜂缘蝽卵的重量损失较少;在6℃及高湿条件下,点蜂缘蝽卵的被寄生率最高。在2℃及高湿条件下,成蜂发育时间短、羽化率最高。在2℃或6℃条件下保存的点蜂缘蝽卵,*O. nezarae*后代的雄性个体比例显著较低。成蜂寿命不受点蜂缘蝽卵的保存条件影响,但在10℃条件下成蜂后代体型变小。在低于6℃及高湿条件下冷藏,可维持*O. nezarae*对点蜂缘蝽的寄生品质^[76]。

5.2.2 信息素诱杀 利用聚集信息素进行害虫诱杀在绿色防控中具有广阔前景。在国外一般采用人工合成的聚集信息素混合物(按Tetradecyl isobutyrate:(*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate:(*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate=1:5:1混合),而(*E*)-2-hexenyl hexanoate田间应用效果不理想^[28,77]。2005~2007年在韩国安东监测点蜂缘蝽田间发生情况,8月末至9月初大豆开花后诱捕数量开始增加,开花后9d~13d(此时为开花末期或结荚初期)达到高峰,随后大豆田中成虫数量开始增多;在大豆各个生育阶段,诱捕到的成虫性别比例存在差异,大豆开花前,诱捕到的雄虫比雌虫多,大豆开花后,诱捕到的雌虫数量增加,整个开花期,捕获的雌虫比例超过50%,而且诱集效果受大豆的物候期影响,尤其是雌虫在大豆开花期间的反应尤为强烈^[78]。

Park等用标志重捕法测试了在聚集信息素诱芯在大豆田的有效距离及大量诱捕法对减轻产量损失的影响,结果显示,40 m内的捕获率为76.1%,80 m内的捕获率为89.0%,放置诱捕器的地点对捕获率无明显影响,诱捕器总数量与诱捕虫口数量之间有线性关系。当单个诱捕器平均覆盖面积为770 m²时,产量最高达26.18 g/株,但单个诱捕器覆盖面积和产量损失之间无相关性。采用聚集信息素大量诱捕法(单个诱捕器覆盖面积385 m²~770 m²)可以在一定程度上降低对大豆籽粒的为害^[79]。诱捕效果较好的诱捕器类型是对称型诱捕器(symmetry trap),诱集数量从高到低依次为对称型诱捕器、金字塔型诱捕器(pyramidal trap)、鱼型诱捕器(fish trap)、桶型诱捕器(bucket trap)、黏板(sticky trap)、塑料杯诱捕器(PETE trap)^[80,81]。

利用寄主卵和聚集信息素能同时诱捕害虫及其天敌,在诱捕器中放入点蜂缘蝽聚集信息素和冷藏的无活力的点蜂缘蝽卵,能够同时捕获点蜂缘蝽和*O. nezarae*。在处理区,*O. nezarae*对自然和冷藏的寄主卵的寄生率分别为78%~91%、36%~59%,在对照区,*O. nezarae*对自然和冷藏的寄主卵的寄生

率分别为0%~62%、16%~34%。同时,大豆被害率为47%,显著低于对照区。聚集信息素诱捕器可在周围18 m范围内捕获更多的寄生蜂数量,但不影响寄生蜂种类相对丰度^[82]。

5.3 化学防治

目前,韩国共登记了包括二嗪磷、醚菊酯(多来宝)在内的17种杀虫剂^[83]。我国暂时还没有针对大豆蝽类害虫登记的杀虫剂,生产上仍以施用广谱性化学杀虫剂为主,在大豆植株现蕾、开花和初荚期,采用3%阿维菌素乳油5000倍液、5%啉虫脲乳油3000倍液、5%高效氯氰菊酯乳油2000倍液^[9]、50%氟啉虫脲水分散粒剂、10%的氟氯噻虫啉1500倍液^[5]、3%吡虫清(莫比朗、啉虫脲)乳油1500倍液、10%吡虫啉可湿性粉剂4000倍液、20%氰戊菊酯(速灭杀丁)乳油2000倍液或80%敌敌畏乳油1000倍液均匀喷雾^[8],对点蜂缘蝽防治效果较好。农药除了具有直接致死害虫的效应,还具有亚致死效应,即影响害虫的运动和取食行为,Jung等发现联苯菊酯、醚菊酯和啉虫脲对点蜂缘蝽的运动能力无显著影响,杀螟松和呋虫胺处理后点蜂缘蝽的垂直运动能力明显降低,但24 h后恢复。杀螟松、醚菊酯、联苯菊酯和呋虫胺对点蜂缘蝽靠近籽粒的频率有影响,杀螟松对存活率和取食活性有影响^[84]。Maharjan等发现联苯菊酯、啉虫脲、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯对点蜂缘蝽有一定的驱避效果,影响点蜂缘蝽的移动速度^[85]。

由于寄生蜂对农药较敏感,常用的农药对寄生蜂有不利影响,用杀螟松、多杀菌素、氟氯氰菊酯、醚菊酯、丁硫克百威、噻虫嗪喷雾或暴露24 h对*G. japonicum*、*O. nezarae*成蜂致死率达100%,用杀螟松经口处理也有较高毒性。放蜂防治前用杀螟松喷雾处理,会导致*G. japonicum*寄生率显著下降^[86-88]。

5.4 物理防治

物理防治技术是害虫绿色防控的重要措施,昆虫对颜色和光波有不同程度的趋向反应^[89,90]。美洲蝽(*Euschistus* spp.)偏好透明、黄色、绿色或白色金字塔型诱捕器^[89]。盲蝽(*Lygus* spp.)偏好黄色、白色黏板^[90]。茶翅蝽(*Halyomorpha halys*)偏好白色、蓝色和黑色^[91]。所以,利用白光和蓝光开发灯诱装置可能有一定应用潜力。基于昆虫趋色性原理开发的诱捕装置广泛用于监测大豆田害虫发生动态^[92-94],但是,针对点蜂缘蝽行为习性研发的诱杀装置尚处于试验阶段,例如,配有黄色尾翼、太阳能风扇、蓝色LED灯及信息素的改进型火箭诱捕器(Rocket

trap)具有较高的诱捕效率^[94,95]。

5.5 调查及测报

在韩国无论播种时间如何,成虫出现及产卵始于R₂~R₄时期,若虫出现于R₃时期。点蜂缘蝽卵在植株上分布,90%在叶片上,70%在叶背面,因此,对叶片上卵的数量进行取样调查,是评估点蜂缘蝽田间种群的有效方法^[56]。通过对不同环境因子作用下种群动态调查,可建立生态模型对点蜂缘蝽发生预测预报提供依据。Park等利用DYMEX软件模拟点蜂缘蝽种群的季节发生动态进行预测预报,总体测报准确率较好^[96]。Kho等发现利用便携式昆虫谐波雷达在白天和夜间监测效果均较好,荧光标记系统在夜间监测效果均较好,这2种方法均是有效的监测手段^[97]。

6 结语

国内外对点蜂缘蝽开展研究主要集中在生物学特性、环境因子的影响、防治技术等方面,这些研究结果可为我国遏制点蜂缘蝽的发生为害及扩散蔓延提供参考,但在我国生产上的适用性和有效性需作进一步评价,对本土天敌资源调查研究与开发利用、绿色防控技术研究不够深入,对点蜂缘蝽与寄主植物互作机制研究尚未涉及,特别是因点蜂缘蝽等蝽类害虫为害导致大豆“症青”现象的发生机制还需尽快研究,所以,今后应充分利用农业和生命科学领域中新技术和新手段对上述问题开展深入而系统的研究。当前应采取的防治策略是害虫综合治理(Integrated Pest Management, IPM)策略^[98],加强预测预报,做到准确测报,适时防治。在发生程度中等偏重以上年份,采用农业、生物、化学相协调的综合防治措施;在发生程度偏轻年份,结合其它害虫进行兼治;加强统防统治、联防联控和应急防治,优先选择特效高效药剂,抓住关键用药时期及时防治,以减少农药用量和使用次数,持续推进农药减量增效。

参考文献:

- [1] Li K, Zhang X X, Guo J Q, et al. Feeding of *Riptortus pedestris* on soybean plants, the primary cause of soybean staygreen syndrome in the Huang-Huai-Hai river basin[J]. Crop J, 2019, 7(3):360-367.
- [2] 李艳琴,王艳晓.2010年舞阳县大豆症青菜少的原因及对策[J].现代农业科技,2012(1):117-118.
- [3] 张文强,李元涛.京郊大豆点蜂缘蝽虫害防治方法[J].吉林农业,2017(9):80.

- [4] 谢皓,陈立军,韩俊,等.大豆害虫点蜂缘蝽的危害特点与防治方法[J].大豆科技,2016(6):11-13.
- [5] 齐永悦,赵春霞,邵维仙,等.廊坊地区大豆点蜂缘蝽的发生与防治技术[J].现代农村科技,2017(9):34.
- [6] 陈菊红,毕锐,黄佳敏,等.不同蝽类为害对大豆生长发育及产量影响的差异性分析[J].大豆科学,2018,37(4):585-589.
- [7] 陈庆恩,白金铠.中国大豆病虫图志[M].长春:吉林科学技术出版社,1987.
- [8] 史树森.大豆害虫综合防控理论与技术[M].长春:吉林出版集团有限责任公司,2013.
- [9] Kim S, Lim U T. New soybean variety, Agakong, as a host of *Riptortus pedestris* (Fabricius): Study on field occurrence and biological attributes in the laboratory[J]. J Asia-Pac Entomol, 2010, 13(4):261-265.
- [10] Wang C L. Soybean insects occurring at podding stage in Taichung[J]. J Agr Res China (Taiwan), 1980, 29(4), 283-286.
- [11] Schaefer C W, Panizzi, Antônio R. Heteroptera of economic importance[J]. Aust J Entomol, 2002, 41(1): 95-97.
- [12] Zhang X X, Wang M, Wu C X, et al. Physiological and molecular studies of stay green caused by pod removal and seed injury in soybean[J]. Crop J, 2016, 4(6): 435-443.
- [13] Bae S D, Kim H J, Mainali B P. Infestation of *Riptortus pedestris* (Fabricius) decreases the nutritional quality and germination potential of soybean seeds[J]. J Asia-Pac Entomol, 2014, 17(3):477-481.
- [14] Kimura S. Yeast-spot disease of soybean caused by *Eremothecium coryli* (Peglion) Kurtzman in Japan[J]. Jpn J Phytopathol, 2007, 73(4):283-288.
- [15] Kimura S, Tokumaru S, Kuge K. *Eremothecium ashbyi* causes soybean yeast-spot and is associated with stink bug, *Riptortus clavatus* [J]. J Gen Plant Pathol, 2008, 74(4):275-280.
- [16] Kimura S, Tokumaru S, Kuge K. Mode of transmission and morphological structures of two *Eremothecium* species between *Riptortus pedestris* and soybean[J]. J Gen Plant Pathol, 2008, 74(5):390-394.
- [17] Kimura S, Tokumaru S, Kikuchi A. Carrying and transmission of *Eremothecium coryli* (Peglion) Kurtzman as a causal pathogen of yeast-spot disease in soybeans by *Riptortus clavatus* (Thunberg), *Nezara antennata* Scott, *Piezodorus hybneri* (Gmelin) and *Dolycoris baccarum* (Linnaeus)[J]. Jpn J Appl Entomol Zool, 2008, 52(1): 13-18.
- [18] Tsunoda T, Moriya S. Measurement of flight speed and estimation of flight distance of the bean bug, *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Heteroptera: Alydidae) and the rice bug, *Leptocorisa chinensis* Dallas (Heteroptera: Alydidae) with a speed sensor and flight mills[J]. Appl Entomol Zool, 2008, 43(3):451-456.
- [19] Tabuchi K, Moriya S, Ishizaki M. Locomotion ability variation among instars of the bean bug, *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Heteroptera: Alydidae) nymphs [J]. Environ Entomol, 2007, 36(4):871-877.
- [20] Nakajima Y, Sakuma M, Sasaki R, et al. Adaptive traits of *Riptortus pedestris* nymphs (Heteroptera: Alydidae) for locating host plants[J]. Ann Entomol Soc Am, 2010, 103(3):439-448.
- [21] Okada K, Suzaki Y, Okada Y, et al. Male aggressive behavior and exaggerated hindlegs of the bean bug *Riptortus pedestris*[J]. Zool Sci, 2011, 28(9):659-663.
- [22] Suzaki Y, Katsuki M, Miyatake T, et al. Relationships among male sexually selected traits in the bean bug, *Riptortus pedestris* (Heteroptera: Alydidae) [J]. Entomol Sci, 2015, 18(2):278-282.
- [23] Suzaki Y, Katsuki M, Okada K. Attractive males produce high-quality daughters in the bean bug *Riptortus pedestris*[J]. Entomol Exp Appl, 2018, 166(1):17-23.
- [24] Leal W S, Higuchi H, Mizutani N, et al. Multifunctional communication in *Riptortus clavatus*, (Heteroptera: Alydidae): Conspecific nymphs and egg parasitoid *Ooencyrtus nezarae*, use the same adult attractant pheromone as chemical cue [J]. J Chem Ecol, 1995, 21(7): 973-985.
- [25] Millar J G. Pheromones of true bugs[J]. Top Curr Chem, 2005, 240:139-151.
- [26] Mizutani N, Yasuda T, Yamaguchi T, et al. Individual variation in the amounts of pheromone components in the male bean bug, *Riptortus pedestris* (Heteroptera: Alydidae) and its attractiveness to the same species[J]. Appl Entomol Zool, 2007, 42(4):629-636.
- [27] Yasuda T, Mizutani N, Endo N, et al. A new component of attractive aggregation pheromone in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae)[J]. Appl Entomol Zool, 2007, 42(1):1-7.
- [28] Yasuda T, Mizutani N, Honda Y, et al. A supplemental component of aggregation attractant pheromone in the bean bug *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae), related to food exploitation [J]. Appl Entomol Zool, 2007, 42(1):161-166.
- [29] Kim J, Park K C, Roh H S, et al. Morphology and distribution of antennal sensilla of the bean bug, *Riptortus pedestris*, (Hemiptera: Alydidae) [J]. Microsc Res Techniq, 2016, 79(6):501-511.
- [30] 宋月芹,董钧锋,陈庆霄,等.点蜂缘蝽触角转录组及

- 化学感受相关基因的分析[J]. 昆虫学报, 2017, 60(10):1120-1128.
- [31] Alim M A, Lim U T. Refrigerated eggs of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) added to aggregation pheromone traps increase field parasitism in soybean [J]. J Econ Entomol, 2011, 104(6):1833-1839.
- [32] Mizutani N. Pheromones of male stink bugs and their attractiveness to their parasitoids [J]. Jpn J Appl Entomol Zool, 2006, 50(2):87-99.
- [33] Endo N, Sasaki R, Muto S. Pheromonal cross-attraction in true bugs (Heteroptera): attraction of *Piezodorus hybneri* (Pentatomidae) to its pheromone versus the pheromone of *Riptortus pedestris* (Alydidae) [J]. Environ Entomol, 2010, 39(6):1973-1979.
- [34] 陈菊红, 崔娟, 唐佳威, 等. 温度对点蜂缘蝽生长发育和繁殖的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(4):579-584.
- [35] 陈菊红, 崔娟, 张金平, 等. 温度胁迫对点蜂缘蝽成虫呼吸代谢关键酶活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2018, 61(9):1003-1009.
- [36] Rahman M M, Lim U T. Females of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) in reproductive diapause are more responsive to synthetic aggregation pheromone [J]. J Econ Entomol, 2016, 109(5):2082-2089.
- [37] Shimokawa K, Numata H, Shiga S. Neurons important for the photoperiodic control of diapause in the bean bug, *Riptortus pedestris* [J]. J Comp Physiol A, 2008, 194(8):751-762.
- [38] Ikeno T, Numata H, Goto S G. Molecular characterization of the circadian clock genes in the bean bug, *Riptortus pedestris*, and their expression patterns under long- and short-day conditions [J]. Gene, 2008, 419(1-2):56-61.
- [39] Ikeno T, Tanaka S I, Numata H, et al. Photoperiodic diapause under control of circadian clock genes in an insect [J]. BMC Biol, 2010, 8:116.
- [40] Ikeno T, Katagiri C, Numata H, et al. Causal involvement of mammalian-type cryptochrome in the circadian cuticle deposition rhythm in the bean bug *Riptortus pedestris* [J]. Insect Mol Biol, 2011, 20(3):409-415.
- [41] Ikeno T, Numata H, Goto S G. Photoperiodic response requires mammalian-type cryptochrome in the bean bug *Riptortus pedestris* [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2011, 410(3):394-397.
- [42] Ikeno T, Numata H, Goto S G. Circadian clock genes period and cycle regulate photoperiodic diapause in the bean bug *Riptortus pedestris* males [J]. J Insect Physiol, 2011, 57(7):935-938.
- [43] Ikeno T, Ishikawa K, Numata H, et al. Circadian clock gene *Clock* is involved in the photoperiodic response of the bean bug *Riptortus pedestris* [J]. Physiol Entomol, 2013, 38(2):157-162.
- [44] Ikeno T, Numata H, Goto S G, et al. Involvement of the brain region containing pigment-dispersing factor-immunoreactive neurons in the photoperiodic response of the bean bug, *Riptortus pedestris* [J]. J Exp Biol, 2014, 217(3):453-462.
- [45] Mainali B P, Kim H J, Yoon Y N, et al. Evaluation of different leguminous seeds as food sources for the bean bug *Riptortus pedestris* [J]. J Asia-Pac Entomol, 2014, 17(2):115-117.
- [46] Rahman M M, Lim U T. Evaluation of mature soybean pods as a food source for two pod-sucking bugs, *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) and *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) [J]. PloS One, 2017, 12(4):e0176187.
- [47] Kim E, Lim U T. Effect of food deprivation period on the development and reproduction of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae), and its egg parasitism [J]. J Econ Entomol, 2014, 107(5):1785-1791.
- [48] Kim E, Park C G, Lim U T. Evaluation of three plant seeds as potential pre-season diets for *Riptortus pedestris* [J]. J Asia-Pac Entomol, 2014, 17(3):521-524.
- [49] Kim E, Lim U T. Fruits of apple and sweet persimmon are not essential food sources for *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) which causes fruit-spotting [J]. J Asia-Pac Entomol, 2012, 15(2):203-206.
- [50] Paik C H, Lee G H, Choi M Y, et al. Report on two egg parasitoid species of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae) on soybean [J]. Korean J Appl Entomol, 2007, 46(2):281-286.
- [51] Zhang Y Z, Li W, Huang D W. A Taxonomic study of Chinese species of *Ooencyrtus* (Insecta: Hymenoptera: Encyrtidae) [J]. Zool Stud, 2005, 44(3):347-360.
- [52] Yang Y T, Nai Y S, Lee S J, et al. A novel picorna-like virus, *Riptortus pedestris* virus-1 (RiPV-1), found in the bean bug, *R. pedestris*, after fungal infection [J]. J Invertebr Pathol, 2016, 141:57-65.
- [53] Lim U T. Occurrence and control method of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae): Korean perspectives [J]. Korean J Appl Entomol, 2013, 52(4):437-448.
- [54] 王四宝, 曲爽. 昆虫共生菌及其在病虫害防控中的应用前景 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(8):863-872.
- [55] Kim J K, Lee J B, Jang H A, et al. Understanding regulation of the host-mediated gut symbiont population and the symbiont-mediated host immunity in the *Riptortus-Burkholderia* symbiosis system [J]. Dev Comp Immunol, 2016, 54(1):75-81.

- [56] Kim J K, Lee J B, Huh Y R, et al. Burkholderia gut symbionts enhance the innate immunity of host *Riptortus pedestris* [J]. Dev Comp Immunol, 2015, 53 (1) : 265–269.
- [57] Kikuchi Y, Hayatsu M, Hosokawa T, et al. Symbiont-mediated insecticide resistance [J]. PNAS, 2012, 109 (22):8618–8622.
- [58] 胡岩,李有志.地理种群遗传分化研究方法的介绍和展望[J].华中昆虫研究,2017,13:82–89.
- [59] Park C G, Lee S K, Park M, et al. Genetic diversity of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) populations in the Republic of Korea based on COI sequence: Genetic diversity of *Riptortus pedestris* [J]. Entomol Res, 2017, 48(2):1–6.
- [60] 郭建秋,马雯,李月霞,等.重茬和品种差异对豫西夏大豆“症青”现象的影响[J].河南农业科学,2012,41(12):59–62.
- [61] Wada T, Endo N, Takahashi M. Reducing seed damage by soybean bugs by growing small-seeded soybeans and delaying sowing time [J]. Crop Prot, 2006, 25 (8) : 726–731.
- [62] Kim S, Lim U T. New soybean variety, Agakong, as a host of *Riptortus pedestris* (Fabricius): Study on field occurrence and biological attributes in the laboratory [J]. J Asia-Pac Entomol, 2010, 13(4):261–265.
- [63] 郭奎英,杨彩云.大豆症青综合防治与高产栽培技术 [J].大豆科技,2017(3):39–42.
- [64] Lim E, Kim J, Cho K S, et al. Influences of food sources on reproduction and aggregation pheromone production of, *Riptortus pedestris*, (Hemiptera: Alydidae) in its adult stage [J]. Entomol Res, 2015, 45(5):241–246.
- [65] Youn H S, Jung C. Effect of trap cropping on the egg parasitism of *Riptortus clavatus* (Thunberg) in soybean fields [J]. J Asia-Pac Entomol, 2008, 11(2):73–76.
- [66] Osakabe M, Honda K. Influence of trap and barrier crops on occurrence of and damage by stink bugs and lepidopterous pod borers in soybean fields [J]. Jpn J Appl Entomol Z, 2002, 46(4):233–241.
- [67] Tabuchi K, Taki H, Iwai H, et al. Abundances of a bean bug and its natural enemy in seminatural and cultivated habitats in agricultural landscapes [J]. Environ Entomol, 2014, 43(2):312–319.
- [68] Lim U T, Mainali B P. Effect of aggregation pheromone trap of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) on the distribution and composition of its egg parasitoids [J]. J Econ Entomol, 2013, 106(5):1973–1978.
- [69] Kim E, Lim U T. Effect of food deprivation period on the development and reproduction of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae), and its egg parasitism [J]. J Econ Entomol, 2014, 107(5):1785–1791.
- [70] Lim U T, Mainali B P, Kim J. Demonstration of interspecific competition between two sympatric egg parasitoids of *Riptortus pedestris* (Fabricius) in laboratory condition [J]. J Asia-Pac Entomol, 2014, 17(4):885–891.
- [71] Mainali B P, Lim U T. Annual pattern of occurrence of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) and its egg parasitoids *Ooencyrtus nezarae* Ishii and *Gryon japonicum* (Ashmead) in Andong, Korea [J]. Crop Prot, 2012, 36: 37–42.
- [72] Kim S, Lim U T. Seasonal occurrence pattern and within-plant egg distribution of bean bug, *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae), and its egg parasitoids in soybean fields [J]. Appl Entomol Zool, 2010, 45 (3):457–464.
- [73] Yu X P, Takashi W. The preference and density responses of egg parasitoid, *Ooencyrtus nezarae* Ishii, to the eggs of soybean stick bugs, *Riptortus pedestris* Thunberg and *Peizodorus hybneri* Gmelin [J]. Entomol Sinica, 2001, 8(3):251–257.
- [74] Alim M A, Lim U T. Interspecific larval competition between two egg parasitoids in refrigerated host eggs of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) [J]. Biocontrol Sci Technol, 2011, 21(4):395–407.
- [75] Alim M A, Lim U T. Biological attributes of *Ooencyrtus nezarae* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae) reared on refrigerated eggs of *Riptortus pedestris* (=clavatus) Fabricius (Hemiptera: Alydidae) [J]. J Asia-Pac Entomol, 2010, 13(2):139–143.
- [76] Mainali B P, Lim U T. Quality assessment of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) eggs cold-stored at different temperature and relative humidity regime [J]. Biol Control, 2013, 64(2):132–137.
- [77] Rahman M M, Lim U T. Evaluation of aggregation and alarm pheromones of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) as a push-pull strategy in soybean fields [J]. Appl Entomol Zool, 2017, 52(3):469–479.
- [78] Endo N, Wada T, Sasaki R. Seasonal synchrony between pheromone trap catches of the bean bug, *Riptortus pedestris* (Heteroptera: Alydidae) and the timing of invasion of soybean fields [J]. Appl Entomol Zool, 2011, 46 (4):477–482.
- [79] Park C G, Yum K H, Jung J K. Damage reduction effect and attracted distance by aggregation pheromone trap of the bean bug, *Riptortus pedestris* (Fabricius), (Hemiptera: Alydidae) in soybean fields [J]. Korean J Appl Entomol, 2012, 51(4):411–419.
- [80] Kim J. Development of a new shape of pheromone trap for the bean bug, *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae), and its egg parasitism [J]. J Econ Entomol, 2014, 107(5):1785–1791.

- idae)[J]. Appl Entomol Zool, 2012, 47(2):153-156.
- [81] Paik C H, Lee G H, Oh Y J, et al. Pheromone trap type and height for attracting of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Hemiptera: Alydidae) in soybean field[J]. Korean J Appl Entomol, 2009, 48(1):59-65.
- [82] Lim U T, Mainali B P. Effect of aggregation pheromone trap of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) on the distribution and composition of its egg parasitoids [J]. J Econ Entomol, 2013, 106(5):1973-1978.
- [83] Lim U T. Occurrence and control method of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae): Korean perspectives[J]. Korean J Appl Entomol, 2013, 52(4):437-448.
- [84] Jung M, Kim S, Kim H G, et al. Lethal and sublethal effects of synthetic insecticides on the locomotory and feeding behavior of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) under laboratory conditions [J]. J Asia-Pac Entomol, 2018, 21(1):179-185.
- [85] Maharjan R, Jung C. Insecticide-mediated behavioral avoidance by bean bug, *Riptortus pedestris* (Heteroptera: Alydidae) [J]. Entomol Res, 2015, 45(4):184-192.
- [86] Alim M A, Lim U T. Effects of fenitrothion on *Gryon japonicum* (Hymenoptera: Platygasteridae) parasitizing non-viable, refrigerated eggs of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) [J]. J Asia-Pac Entomol, 2015, 18(2):181-186.
- [87] Alim M A, Lim U T. Ecotoxicological effect of insecticides on *Ooencyrtus nezarae* (Hymenoptera: Encyrtidae) reared from refrigerated and unrefrigerated *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) host [J]. Biocontrol Sci Techn, 2014, 24(2):133-144.
- [88] Mainali B P, Kim S, Lim U T. Effects of combining releases of non-viable host eggs with insecticide application on *Riptortus pedestris* population and its egg parasitoids[J]. J Asia-Pac Entomol, 2012, 15(2):299-305.
- [89] Hoggire H W, Leskey T C. An improved trap for monitoring stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) in apple and peach orchards [J]. J Entomol Sci, 2006, 41(1):9-21.
- [90] Blackmer J L, Byers J A, Rodriguez-Saona C. Evaluation of color traps for monitoring *Lygus* spp.: Design, placement, height, time of day, and non-target effects [J]. Crop Prot, 2008, 27(2):171-181.
- [91] Leskey T C, Lee D H, Glenn D M, et al. Behavioral responses of the invasive *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) to light-based stimuli in the laboratory and field [J]. J Insect Behav, 2015, 28(6):674-692.
- [92] 胡代花,冯俊涛,杨晓伟,等.诱捕器类型、颜色及诱芯颜色对大豆食心虫引诱效果的影响[J].农药学报, 2014,16(2):230-234.
- [93] 高宇,史树森,崔娟,等.三种颜色色板对大豆田蓟马的诱集效果[J].中国油料作物学报,2016,38(6):838-842.
- [94] Bae S, Yoon Y, Jang Y, et al. Evaluation of an improved rocket traps, and baits combination for its attractiveness to hemipteran bugs in grass and soybean fields [J]. J Asia-Pac Entomol, 2017, 20(2):497-504.
- [95] Bae S, Yi H, Yoon Y, et al. Attraction of stink bugs to rocket traps with different combinations of wing and landing board color [J]. J Asia-Pac Entomol, 2019. doi: 10.1016/j.aspen.2019.01.007.
- [96] Park C G, Yum K H, Lee S K, et al. Construction and evaluation of cohort based model for predicting population dynamics of *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae) using DYMEX [J]. Korean J Appl Entomol, 2015, 54(2):73-81.
- [97] Kho J W, Jung M, Lee D H. Evaluating the efficacy of two insect detection methods with *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae): portable harmonic radar system and fluorescent marking system [J]. Pest Manag Sci, 2019, 75(1):224-233.
- [98] Gao Y, Shi S S, Xu M L, et al. Current research on soybean pest management in China [J]. Oil Crop Sci, 2018, 3(4):215-227.

(责任编辑:王丽芳)