



大豆叶脉坏死病及其传播介体蓟马的发生与防控

裴天浩,王松,史树森,高宇

(吉林农业大学 植物保护学院/农业农村部大豆病虫害防控重点实验室,吉林 长春 130118)

摘要:大豆叶脉坏死病是近年来北美洲大豆大面积流行的新发病毒病害,由大豆叶脉坏死病毒引起。现已在美国、加拿大和埃及得到证实。大豆叶脉坏死病毒是首个引起大豆病害的番茄斑萎病毒,宿主以豆科植物为主,传播途径包括种子传播和昆虫传播。介体昆虫为大豆新绢蓟马(*Neohydatothrips variabilis*)、东花蓟马(*Frankliniella tritici*)、褐花蓟马(*F. fusca*)等植食性蓟马,其中 *N. variabilis* 的传毒效率最高,是北美洲大豆田的优势种。防治该病毒病很大程度上依赖于对其传播介体蓟马的有效防治。防控技术包括利用新烟碱类药剂处理降低蓟马虫口密度、筛选抗性品种、保护利用天敌昆虫美洲小花蝽(*Orius insidiosus*)等。虽然该病害及 *N. variabilis* 尚无在中国发生和危害的报道,但天津海关已于2019年首次从进境的美国大豆中检出大豆叶脉坏死病毒,应予以重视。本文综述了大豆叶脉坏死病毒及其传播介体蓟马的研究进展,为研究和防控该病毒病害提供参考。

关键词:蓟马;大豆;番茄斑萎病毒;大豆叶脉坏死病毒

Research Progress on the Occurrence and Control of Soybean Vein Necrosis Disease and Its Transmission Vector Thrips

PEI Tianhao, WANG Song, SHI Shusen, GAO Yu

(College of Plant Protection, Jilin Agricultural University/Key Laboratory of Soybean Disease and Pest Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Changchun 130118, China)

Abstract: Soybean vein necrosis disease is an emerging viral disease of soybeans that is widespread in North America and is caused by soybean vein necrosis virus. It has been confirmed in the USA, Canada, and Egypt. Soybean vein necrosis virus is the first tomato spotted wilt virus to cause a disease in soybean. Legumes are the main host plants, and modes of transmission include seed-borne and insect-borne. The transmission vector insects are the soybean thrips *Neohydatothrips variabilis*, *Frankliniella tritici*, *F. fusca*, and other phytophagous thrips, of which *N. variabilis* has the highest transmission efficiency and is the dominant species in soybean fields in North America. Control of this virus disease relies heavily on effective control of its vector, the thrips. Control techniques include the use of neonicotinoid treatments to reduce thrips population densities, screening for resistant varieties, and the protection and utilisation of the natural enemy insect *Orius insidiosus*. Although this disease and its vector thrips *N. variabilis* have not been reported to occur and cause damage in China, the detection of soybean vein necrosis virus in imported US soybeans by Tianjin Customs firstly in 2019 is noteworthy. This paper reviews the progress of research on soybean vein necrosis virus and its vector thrips *N. variabilis*, and provides reference for research on this plant disease.

Keywords: thrips; soybean; tomato spotted wilt virus; soybean vein necrosis virus

近年来,北美洲大豆出现一种新发病毒病害—大豆叶脉坏死病(soybean vein necrosis disease),发病率约为1%~10%。2008年首次在美国阿肯色州和田纳西州发现该病害^[1]。现已在美国至少22个州、加拿大、埃及得到证实,存在于美国所有大豆主产区,严重危害大豆种植业^[2-4]。该病害的主要传播介体是大豆新绢蓟马[*Neohydatothrips variabilis* (Beach)],隶属缨翅目(Thysanoptera),蓟马科(Thripidae),新绢蓟马属(*Neohydatothrips*)。*N. variabilis*持久性传播大豆叶脉坏死病毒(Soybean Vein Necrosis Virus,SVNV),导致大豆叶片组织坏死或枯萎^[4]。Anderson等^[5]认为大豆叶脉坏死病不

会影响产量,但会影响种子质量,有被害症状的植株其籽粒含油量和脂肪酸含量较低。Thekke-Veetil等^[6]研究发现,SVNV侵染严重和蓟马定殖会改变光合作用、气孔导度和蒸腾作用;蓟马和病毒的严重侵染会降低植株生长质量,减少籽粒和豆荚数量,导致植株死亡,从而大幅减产。虽然该病害及 *N. variabilis* 在中国尚无报道^[7],但天津海关已从进境的美国大豆中检出SVNV,这是全国口岸截获SVNV的首次报道,具有重要警示意义^[8]。本文综述SVNV的宿主和病害症状、传播途径,传播介体蓟马的传毒特性和田间发生规律,以及防控技术研究的最新进展,为研究和防控该病害奠定基础。

收稿日期:2024-03-21

基金项目:国家重点研发计划资助(2023YFD1401000);财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04)。

第一作者:裴天浩(2001—),男,硕士研究生,主要从事农业害虫综合治理研究。E-mail:pth0065@163.com。

通讯作者: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。

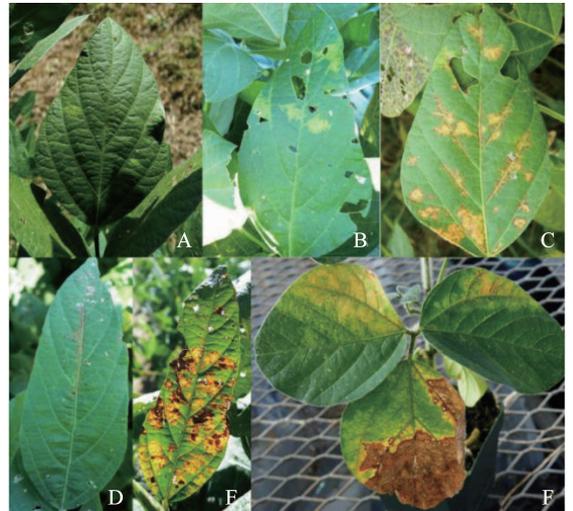
1 大豆叶脉坏死病的研究进展

1.1 宿主和症状

SVNV 属于番茄斑萎病毒科 (*Tospoviridae*), 正番茄斑萎病毒属 (*Orthospovirus*), 是单链负义 RNA (-ssRNA) 病毒^[9-10]。SVNV 是首个引起大豆病害的番茄斑萎病毒属的种类^[10-11]。由于 SVNV 是在大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 上新发现的病毒, 其宿主范围尚未明确界定。除了自然侵染大豆, SVNV 也可以自然侵染长豇豆 [*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.]、牵牛 [*Ipomoea nil* (Linnaeus) Roth (*Ipomoea hederacea* (L.) Jacq)]、裂叶牵牛 (*Ipomoea hederacea* var. *integriscula*) 和山葛 [*Pueraria montana* (Loureiro) Merrill]^[4,12-13]。Abd El-Wahab 和 El-Shazly^[3] 通过接种发现, SVNV 可侵染以豆科植物为主的 11 种植物, 包括大豆、扁豆 (*Lablab purpureus* (L.) Sweet)、绿豆 (*Vigna radiate* L.)、豇豆 [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]、野葵 [*Malva verticillata* L. (*Malva parviflora*)]、马齿苋 (*Portulaca oleraceae* L.)、本氏烟 (*Nicotiana benthamiana* Domin)、田旋花 (*Convolvulus arvensis* L.)、羽扁豆 (*Lupinus sativum*)、牵牛和山葛^[14], 此外, 还有一些大豆田杂草, 例如牵牛、印度草木樨 [*Melilotus indicus* (L.) Allioni] 和马松子 (野路葵) (*Melochia corchorifolia* L.) 等, 是 SVNV 传播到田边或田内的宿主来源^[15]。

大豆叶脉坏死病的主要症状为枯萎和炭疽状, 大豆生长初期叶片出现脉明, 然后是叶片萎黄或在主脉附近出现浅绿色至黄色的斑点, 感染后期叶片组织坏死或枯萎, 随着叶片成熟会扩展连片, 甚至扩散到整个叶片 (图 1)^[4,10]。在温室研究中, 测试了一些植物是否为 SVNV 的替代宿主, 其中大多数植物都会产生局部病变, 表明对 SVNV 的超敏反应。SVNV 感染会在豆科植物上引起类似的症状, 包括豇豆 [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]、绿豆、蒺藜苜蓿 (*Medicago truncatula* Gaertn.) 和木豆 [*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.]。这些植物上的典型症状为枯萎病斑, 这些病斑或出现坏死, 或聚在一起, 导致接种的叶片枯萎甚至死亡。然而, 非豆科植物上的病害症状则各不相同。在本氏烟上, 接种 SVNV 的小叶产生坏死, 并扩展到新长出的叶片上, SVNV 的系统移动导致茎秆倒伏和植株死亡^[4]。在荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 上, SVNV 感染表现为萎黄到坏死, 而在甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 上, 只观察到小的灰色凹陷损伤^[15]。此外, 包括菊花

(*Dendranthema grandiflorum* Ramat.) 和西葫芦 (*Cucurbita pepo* L.) 在内的若干植物也被证明是无症状宿主^[4,11]。根据 Anderson 的研究结果, 长芒苋 (*Amaranthus palmeri* S. Wats.) 和反枝苋 (*Amaranthus retroflexus* L.) 在蓟马接种实验中检测呈阳性; 但未进行长时间观察, 尚不确定它们是有症状宿主还是无症状宿主^[16]。



注: A. 发病早期病斑不清晰; B. 随着病情发展病斑逐渐清晰; C. 叶片上分布不均的病斑; D. 较轻微的被害症状; E. 病斑逐渐聚集连片; F. 叶片坏死萎蔫。

Note: A. Unclear lesion in the early stage of the disease; B. More clear lesion as the disease progresses; C. Uneven distribution of lesions on leaf blade; D. Mild disease symptom; E. Aggressive disease symptom; F. Leaf necrosis and wilting due to SVNV infection.

图 1 SVNV 侵染大豆后引起的病害症状^[4]

Fig. 1 Disease symptoms caused by SVNV infection on soybean^[4]

1.2 传播途径

1.2.1 种子传播 不同的研究人员对 SVNV 是否经种子传播的检测结果不尽一致。美国各地和加拿大安大略省都在一种商品大豆的种子中检测到了 SVNV, 其中变色、畸形和大小不足的种子比例很高, Groves 及其合作者^[17]报道 SVNV 的种子传播率为 6%。中国天津海关动植物与食品检测技术中心于 2019 年 7—8 月利用 DAS-ELISA、RT-PCR 以及序列比对分析等方法, 多次在进境的美国大豆种子中监测到了 SVNV^[8]。然而, 另一些研究认为 SVNV 从大豆到大豆或从实验宿主到大豆的机械传播一直是较困难和低效率的, 并提供了 SVNV 在大豆中缺乏种子传播的直接证据^[9-11]。Hajimorad 等^[18]对 2 个大豆栽培品种进行了研究, 使用了 2 000 多粒来自 20 株感染 SVNV 植株的种子, 通过 ELISA 未检测

到SVNV的存在,认为SVNV不可能由种子传播。Zhou和Tzanetakis^[4]从田间采集的受SVNV感染的不同栽培品种的种子,萌发的600多株幼苗中均未检测到SVNV。

1.2.2 昆虫传播 蓟马是重要的直接害虫和病毒载体^[19-20]。自然界中至少有12种蓟马可传播植物病毒^[21]。SVNV在花生、烟草和蔬菜等作物上的传播与其传毒介体褐花蓟马 [*Frankliniella fusca* (Hinds)] 的活动有关^[22]。目前还不清楚SVNV最初传播到大豆的时间。Zhou和Tzanetakis于2013年首次报道了*N. variabilis*是SVNV主要传毒介体(图2)^[11,23-25]。多项研究也证实了在受大豆叶脉坏死病为害的田块中,*N. variabilis*在大豆田昆虫群落中个体数量最多,是优势性蓟马种类^[22,26-27]。Keough等^[28]报道东花蓟马 [*Frankliniella tritici* (Fitch)]、褐花蓟马 (*F. fusca*) 能传播SVNV。Abd El-Wahab和El-Shazly^[3]报道在埃及的花蕾大蓟马 [*Megalurothrips sjostedti* (Trybom)]、菜豆巢针蓟马 [*Caliothrips phaseoli* (Hood)]、西花蓟马 [*Frankliniella occidentalis* (Pergande)] 也能传播SVNV。而Zhou^[12]报道美国的西花蓟马不能传播SVNV。研究还发现,*N. variabilis*体内存在多种植物病毒种群,这表明*N. variabilis*以多种寄主植物为食,并从多种寄主植物中获取病毒,这些植物病毒可能会传播给大豆^[6]。

2 大豆叶脉坏死病介体蓟马研究进展

2.1 传毒特性

Keough等^[28]研究发现,东花蓟马 (*F. tritici*) (36%) 和褐花蓟马 (*F. fusca*) 的传毒效率(6%) 远低于*N. variabilis*(72%)。Abd El-Wahab和El-Shazly研究发现*N. variabilis*的传毒效率(62.0%) 最高,而花蕾大蓟马 (*M. sjostedti*) (3.3%)、西花蓟马 (*F. occidentalis*) (3.4%)、菜豆巢针蓟马 (*C. phaseoli*) (6.7%) 的传毒效率较低^[3]。Han等^[29]通过传毒能力试验表明,病毒获取对传播效率有明显影响,6和48 h后病毒获取期的传播率明显低于12和24 h后病毒获取期的传播率。东花蓟马 (*F. tritici*)、褐花蓟马 (*F. fusca*) 和*N. variabilis* 成虫的前肠、中肠(1、2和3区)、唾液腺的导管和唾液腺的主腺中都存在病毒,但*N. variabilis* 成虫感染组织的频率最高,其次是褐花蓟马 (*F. fusca*) 和东花蓟马 (*F. tritici*)。唾液腺的主腺感染率高(12和24 h病毒获取期)的*N. variabilis* 成虫前肠和中肠第2区感染率可能也很高^[29]。较短的病毒获取期会导致病毒在不同组织中的感染率降低,尤其是唾液腺的主腺,而这些组织是SVNV与蓟马相互作用中载体能力的重要决定因素。带毒的*N. variabilis* 明显偏好取食未被感染的叶片;与未带毒的雌虫相比,带毒的雌虫繁殖量更大,但两者的生活史参数无显著差异^[29]。介体蓟马的传毒风险与其传毒方式密切相关^[30]。SVNV被认为是持久性传播,获取病毒的过程与生命阶段有关。以上研究表明,*N. variabilis*与SVNV病毒存在协同进化关系^[28,31]。SVNV感染提高了*N. variabilis*的存活率、寿命、总繁殖率和预期寿命,缩短了种群加倍时间。总体而言,*N. variabilis*可从感染和传播SVNV过程中获益,从而提高存活率、寿命和适应性^[32-33]。在植株生长初期,*N. variabilis*遍布整个植株;在植株生长后期,成虫主要分布在新叶上,然后向豆荚转移,再迁移到晚播的植株上^[34]。这些特性可能导致了SVNV在北美大豆种植区短期内快速扩散,但目前对于不常见的传毒介体及其传毒特性的认知可能远远不够。

2.2 田间发生规律

了解介体蓟马的田间发生规律是了解SVNV的重要第一步。*N. variabilis*、东花蓟马 (*F. tritici*)、褐花蓟马 (*F. fusca*) 等蓟马是美国棉花上的常见害虫^[35-36]。菜豆巢针蓟马 (*C. phaseoli*) 是墨西哥以及美国和中南美洲大豆的重要经济害虫^[23,37]。在SVNV流行之前,这些蓟马在大豆上的发生规律并不明确,而且很少有研究同时调查监测蓟马传毒和



注:A. 1龄若虫;B. 2龄若虫初期;C. 2龄若虫末期;D. 预蛹;E. 伪蛹;F. 成虫。

Note: A. First instar larvae; B. Early second instar larvae; C. Late second instar larvae; D. Prepupa; E. Pupa; F. Adult.

图2 *Neohydatothrips variabilis* (Beach) 各虫态图^[4]

Fig. 2 Different life stages of *Neohydatothrips variabilis* (Beach)^[4]

蓟马种类,限制了对植物病毒传播的潜在介体昆虫、主要传播时间以及大豆田间二次传播重要性的判断。Chitturi 等^[22]在阿拉巴马州(2015—2016年)发现3种传播 SVN 的介体蓟马,主要种类是 *N. variabilis* 和东花蓟马 (*F. tritici*),另外,美洲棘蓟马 [*Echinothrips americanus* (Morgan)] 也是当地常见种。Bloomingdale 等^[26]在威斯康星州(2013—2014年)和爱荷华州(2014—2015年)田间调查,发现 *N. variabilis* 等介体蓟马在诱捕总量中占比相对较小。种群数量在不同地区和不同年份之间存在显著差异,认为 *N. variabilis* 种群可能在美国北方气候条件下越冬,而不是仅依靠迁移到北方的大豆田定殖。Keough 等^[27]在印第安纳州(2013—2014年)田间调查,发现 *N. variabilis*、东花蓟马 (*F. tritici*)、褐花蓟马 (*F. fusca*) 3种蓟马的活动程度和时间差异很大,*N. variabilis* 的高峰期在每年8月中旬。东花蓟马 (*F. tritici*) 的第一个高峰在6月下旬,第2个高峰在8月上旬。褐花蓟马 (*F. fusca*) 的种群数量基本保持不变,没有出现高峰。这些蓟马在印第安纳州不具迁徙性,可能在土壤或多年生非作物寄主植物和其他杂草上越冬,即这些蓟马可能会在非大豆生长季和大豆生长季初期,迁移到其他寄主植物,特别是多年生植物上越冬,然后再迁入大豆田^[27]。*N. variabilis* 和东花蓟马 (*F. tritici*) 的捕获率只与温度有关,而褐花蓟马 (*F. fusca*) 的捕获率与温度和降水这两个变量均无关。首次检测到 SVN 的时期是8月中下旬,这与主要介体蓟马 *N. variabilis* 的活动高峰期相吻合。尽管东花蓟马 (*F. tritici*) 的活动也达到高峰期,但在此之前并没有检测到 SVN。宾夕法尼亚州中部的 *N. variabilis* 种群数量在8月达到高峰^[6]。2016—2017年,在宾夕法尼亚州,*N. variabilis* 数量较多的大豆品种其 SVN 发生率也较高,大豆品种 Hubner 3917R2x 上的 *N. variabilis* 数量最高,而大豆品种 SG3322 上的蓟马数量明显较少。在大豆植株 V3 期,首次观察到 *N. variabilis* 种群,种群数量在8月份达到峰值,9—10月份下降^[34]。这表明 SVN 的发生与传毒蓟马种群动态有相关性。

3 大豆叶脉坏死病防控技术研究进展

人们对 SVN 的生物学和流行病学的了解还很有限,而这些方面对于制定有效的病害控制和管理至关重要。目前,针对大豆叶脉坏死病制定有效的防控策略,很大程度上依赖于有效防治其传毒介体蓟马,主要是减少介体蓟马对大豆的危害、寻找和控制田间潜在的病毒库(virus reservoirs)。已有的

研究报道包括种子处理、品种抗虫性、天敌昆虫和诱导抗性4个方面。

3.1 种子处理

药剂拌种处理是预防大豆苗期害虫的重要措施之一^[38]。与对照(未用药剂处理大豆种子)相比,用2种新烟碱类药剂(吡虫啉、噻虫嗪)种子处理后,能降低田间蓟马的虫口密度。在播种后第35天,噻虫嗪处理比吡虫啉处理更有效地降低了蓟马成虫密度。成虫密度在播种后逐渐增大,在第18天达到峰值,随后逐渐下降;若虫密度在播种后逐渐增大,在第28天达到峰值,随后下降。处理组与对照组在产量上都没有明显差异,说明吡虫啉、噻虫嗪处理种子对产量无显著促进作用^[39]。

3.2 品种抗性

对 SVN 或介体蓟马具有抗性的品种可以改变 SVN 或介体蓟马的行为,减少 SVN 传播,从而降低病害发生率。尽管一些研究发现不同品种的疾病症状强度存在差异,但目前尚未发现 SVN 的抗性种质,所以,鉴定种质对介体蓟马的抗性成为有应用价值的替代性策略。Zhou 等^[40]发现 *N. variabilis* 在短柔毛水平低的基因型上危害程度有所降低;所有暴露于感染 SVN 的 *N. variabilis* 的大豆基因型都表现出典型的 SVN 症状,且 SVN 检测呈阳性,这表明所测试的大豆基因型对 SVN 均没有抗性。Lagos-Kutz 等^[41]在用未感染和感染 SVN 的 *N. variabilis* 侵染大豆的选择性试验中,大豆品种 PI 229358 (Soden-Daizu) 和 PI 604464 (HC95-15MB) 上若虫数量最少,而大豆品种 Williams 82 和 Williamsfield Illini 3590N 上成虫数量较多。大豆基因型对未感染和感染 SVN 的 *N. variabilis* 具有排趋型抗性(antixenosis type resistance),但不具有抗生型抗性(antibiosis type resistance)。因此,推测大豆对 *N. variabilis* 的抗蓟马性可能与生化反应或形态性状有关,也可能是这两种因素的结合,需要进一步研究选择试验中发现的抗性机制。

3.3 天敌昆虫

美洲小花蝽 [*Orius insidiosus* (Say)] 是北美地区 *N. variabilis* 的重要捕食性天敌^[42-43]。在人工食料中增加 *N. variabilis*,对美洲小花蝽的生命表参数有积极影响,与每1d取食0.5头 *N. variabilis* 相比,每1d取食20头 *N. variabilis* 的美洲小花蝽若虫寿命显著延长,发育历期显著缩短^[44]。取食大豆蚜 [*Aphis glycines* (Matsumura)] 的美洲小花蝽若虫的发育历期为21~34d,取食 *N. variabilis* 时则为15~22d,说明 *N. variabilis* 可作为更优质的猎物^[44]。当大豆蚜和 *N. variabilis* 共存时,美洲小花蝽若虫和成虫均

更偏好捕食 *N. variabilis*, 而不偏好捕食大豆蚜^[45-46]。美洲小花蝽对 *N. variabilis* 的生防潜能和应用技术还需进一步评估。

3.4 诱导抗性

诱导抗性是植物受到外界因子的影响而表现出明显的防卫反应。利用诱导抗性可以在一定程度上提高植物抗性能力。在 24 h 内, *N. variabilis* 诱导大豆的茉莉酸相关标记基因, 经茉莉酸甲酯处理的大豆植株中, *N. variabilis* 数量有所减少 (47%), 经水杨酸处理以及水杨酸加茉莉酸甲酯组合处理, 对 *N. variabilis* 数量则无影响, 水杨酸加茉莉酸甲酯可能存在拮抗作用^[47]。

此外, 由于 *N. variabilis* 的活动高峰期是在大豆叶脉坏死病症状出现时或出现之前, 可参照 Kleczewski^[48] 提出的建议, 通过调整种植制度或播种日期来降低该病害的发生率。

4 讨论与展望

植食性蓟马是大豆田中数量庞大而具独特性的害虫类群。*N. variabilis* 等植食性蓟马能够传播植物病毒 SVNV 并造成大范围流行, 因此, 植食性蓟马作为大豆害虫具有重要的经济价值。我国为害大豆的植食性蓟马有 20 种以上^[7]。成虫和若虫取食为害大豆叶片、花等器官, 造成直接危害, 由于虫体微小、生活隐蔽, 植食性蓟马对大豆造成的隐性为害不易被察觉^[7], 由于蓟马繁殖周期短、繁殖力强, 且对多种杀虫剂产生了抗药性, 在局部地区已上升为优势种^[49-51]。一些种类是大豆病毒病的传毒介体, 造成间接危害^[51]。介体蓟马的寄主植物种类越多、范围越广, 地理分布和潜在地理分布 (即适生范围) 越广, 其带毒传播扩散的范围就越广^[52]。尽管国内还没有该病毒病发生的报道, SVNV 属非检疫性有害生物, 也没有记载 *N. variabilis* 自然分布情况^[7], 但是, 一旦携带 SVNV 的大豆种子进入农田, 将对我国大豆生产造成严重影响^[8]。我国为害大豆的植食性蓟马种类也非常丰富, 例如, 西花蓟马、花蓟马 [*Frankliniella intonsa* (Trybom)]、棕榈蓟马 (*Thrips palmi* Karny)、烟蓟马 (*Thrips tabaci* L.) 等, 可能是潜在的传毒介体^[7]。

随着全球气候变化和人类活动的日益频繁, 植食性蓟马的多样性、危害性及其在生态系统中的复杂功能未来不可忽视^[53-54]。应重视加强植物检疫监管, 严防 SVNV 及其介体昆虫等外来有害生物入侵、定殖和扩散, 同时, 积极开展田间监测和绿色综合防控技术储备研究。

参考文献

- [1] TZANETAKIS I E, WEN R H, NEWMAN M, et al. Soybean vein necrosis virus: A new threat to soybean production in Southeastern United States? [J]. *Phytopathology*, 2009, 99(6): 131.
- [2] TENUTA A. First confirmation of soybean vein necrosis in Ontario, Ontario, Canada: Field Crop News [DBO/L]. 2012. <http://fieldcropnews.com/2012/09/first-confirmation-of-soybean-vein-necrosis-virus-in-ontario>.
- [3] Abd EL-WAHAB A S, EL-SHAZLY M A. Identification and characterization of soybean vein necrosis virus (SVNV): A newly isolated thrips-borne tospovirus in Egypt [J]. *Journal of Virology Science*, 2017, 1: 76-90.
- [4] ZHOU J, TZANETAKIS I E. Soybean vein necrosis virus: An emerging virus in North America [J]. *Virus Genes*, 2019, 55(1): 12-21.
- [5] ANDERSON N R, IRIZARRY M D, BLOOMINGDALE C A, et al. Effect of soybean vein necrosis on yield and seed quality of soybean [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2017, 39(3): 334-341.
- [6] THEKKE-VEETIL T, LAGOS-KUTZ D, MCCOPPIN N K, et al. Soybean thrips (Thysanoptera: Thripidae) harbor highly diverse populations of arthropod, fungal and plant viruses [J]. *Viruses*, 2020, 12(12): 1376.
- [7] 高宇, 刘延超, 史树森, 等. 我国大豆田蓟马研究现状 [J]. *作物杂志*, 2017(1): 8-13. (GAO Y, LIU Y C, SHI S S, et al. Review on soybean thrips in China [J]. *Crops*, 2017(1): 8-13.)
- [8] 胡佳续, 郭京泽, 张莹, 等. 美国大豆中大豆叶脉坏死病毒检疫鉴定 [J]. *植物检疫*, 2020, 34(5): 38-41. (HU J X, GUO J Z, ZHANG Y, et al. Quarantine and identification of soybean vein necrosis virus in US soybean [J]. *Plant Quarantine*, 2020, 34(5): 38-41.)
- [9] ZHOU J, KANTARTZI S K, WEN R H, et al. Molecular characterization of a new tospovirus infecting soybean [J]. *Virus Genes*, 2011, 43(2): 289-295.
- [10] KHATABI B, WEN R H, HERSHMAN D E, et al. Generation of polyclonal antibodies and serological analyses of nucleocapsid protein of soybean vein necrosis-associated virus: A distinct soybean infecting tospovirus serotype [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 133(4): 783-790.
- [11] ZHOU J, TZANETAKIS I E. Epidemiology of soybean vein necrosis-associated virus [J]. *Phytopathology*, 2013, 103(9): 966-971.
- [12] ZHOU J. Soybean vein necrosis virus: Expansion of plant host range, screening for tolerance to virus vector, peptides mediated vector transmission efficiency and mixed infections with other prevalent soybean viruses [D]. Fayetteville: University of Arkansas, 2018.
- [13] SIKORA E J, CONNER K N, JACOBSON A L. Incidence of soybean vein necrosis virus in Alabama soybean fields [J]. *Plant Health Progress*, 2018, 19(1): 76-81.
- [14] ZHOU J, ABOUGHANEM-SABANADZOVIC N, SABANADZOVIC S, et al. First report of soybean vein necrosis virus infecting kudzu (*Pueraria montana*) in the United States of America [J].

- Plant Disease, 2018, 102(8): 1674.
- [15] IRIZARRY M D, ELMORE M G, BATZER J C, et al. Alternative hosts for soybean vein necrosis virus and feeding preferences of its vector soybean thrips[J]. Plant Health Progress, 2018, 19(2): 176-181.
- [16] ANDERSON N R. Effect of soybean vein necrosis on soybean yield and seed quality, and symptom expression on soybean and alternative hosts[D]. West Lafayette: Purdue University, 2017.
- [17] GROVES C, GERMAN T, DASGUPTA R, et al. Seed transmission of soybean vein necrosis virus: The first tospovirus implicated in seed transmission [J]. PLoS One, 2016, 11(1): e0147342.
- [18] HAJIMORAD M R, HALTER M C, WANG Y, et al. Evaluation of seed transmissibility of soybean vein necrosis-associated virus in two soybean cultivars grown under field conditions[J]. Journal of Plant Pathology & Microbiology, 2015, 6: 278-283.
- [19] SMITH D L, FRITZ C, WATSON Q, et al. First report of soybean vein necrosis disease caused by soybean vein necrosis-associated virus in Wisconsin and Iowa [J]. Plant Disease, 2013, 97(5): 693.
- [20] VITERI D, CABRERA I, ESTÉVEZ DE JENSEN C. Identification and abundance of thrips species on soybean in Puerto Rico [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2010, 30(1): 57-60.
- [21] MOUND L A. Thysanoptera: Diversity and interactions[J]. Annual Review of Entomology, 2005, 50: 247-269.
- [22] CHITTURI A, CONNER K, SIKORA E J, et al. Monitoring seasonal distribution of *Thrips* vectors of soybean vein necrosis virus in Alabama soybeans[J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111(6): 2562-2569.
- [23] IRWIN M, YEARGAN K, MARSTON N. Spatial and seasonal patterns of phytophagous thrips in soybean fields with comments on sampling techniques [J]. Environmental Entomology, 1979, 8(1): 131-140.
- [24] IRWIN M E, YEARGAN K V. Sampling phytophagous thrips on soybean[M]//KOGAN M, HERZOG D C. Sampling methods in soybean entomology. Springer, Verlag New York Inc, 1980.
- [25] STUART R R, GAO Y L, LEI Z R. Thrips: Pests of concern to China and the United States[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 867-892.
- [26] BLOOMINGDALE C, IRIZARRY M D, GROVES R L, et al. Seasonal population dynamics of thrips (Thysanoptera) in Wisconsin and Iowa soybean fields [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(1): 133-141.
- [27] KEOUGH S, DANIELSON J, MARSHALL J M, et al. Factors affecting population dynamics of *Thrips* vectors of soybean vein necrosis virus [J]. Environmental Entomology, 2018, 47(3): 734-740.
- [28] KEOUGH S, HAN J, SHUMAN T, et al. Effects of soybean vein necrosis virus on life history and host preference of its vector, *Neohydatothrips variabilis*, and evaluation of vector status of *Frankliniella tritici* and *Frankliniella fusca* [J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(5): 1979-1987.
- [29] HAN J, NALAM V J, YU I C, et al. Vector competence of thrips species to transmit soybean vein necrosis virus [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 431.
- [30] RILEY D G, JOSEPH S V, SRINIVASAN R, et al. *Thrips* vectors of tospoviruses[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2011, 2(1): II-II0.
- [31] WHITFIELD A E, ULLMAN D E, GERMAN T L. Tospovirus-thrips interactions[J]. Annual Review of Phytopathology, 2005, 43: 459-489.
- [32] HAMEED A, ROSA C, RAJOTTE E G. The effect of species *Soybean vein necrosis orthotospovirus* (SVNV) on life table parameters of its vector, soybean thrips (*Neohydatothrips Variabilis* Thysanoptera: Thripidae) [J]. Insects, 2022, 13(7): 632.
- [33] HAMEED A, ULMER J M, MIKO I, et al. Morphology of the female reproductive system of the soybean thrips, *Neohydatothrips variabilis* (Beach, 1896) (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Insects, 2022, 13(7): 566.
- [34] HAMEED A, ROSA C, O'DONNELL C A, et al. Ecological interactions among thrips, soybean plants, and soybean vein necrosis virus in Pennsylvania, USA [J]. Viruses, 2023, 15(8): 1766.
- [35] LRIZARRY M. Soybean vein necrosis virus: Impacts of infection on yield loss and seed quality and expansion of plant host range [D]. Iowa City: Iowa State University, 2016.
- [36] REAY-JONES F P F, GREENE J K, HERBERT D A, et al. Within-plant distribution and dynamics of thrips species (Thysanoptera: Thripidae) in cotton [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1563-1575.
- [37] MOUND L A, MARULLO R. The thrips of Central and South America: An introduction (Insecta: Thysanoptera) [M]. The Associated Publishers. Memoirs on Entomology, International. Gainesville, Florida, 1996.
- [38] 高宇, 孙晨祺, 罗英, 等. 中国大豆种子处理剂应用现状及研究进展[J]. 大豆科学, 2022, 41(5): 617-623. (GAO Y, SUN C Q, LUO Y, et al. Research and application development of soybean seed treatment agent in China [J]. Soybean Science, 2022, 41(5): 617-623.)
- [39] REISIG D D, HERBERT D A, MALONE S. Impact of neonicotinoid seed treatments on thrips (Thysanoptera: Thripidae) and soybean yield in Virginia and north Carolina [J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(3): 884-889.
- [40] ZHOU J, JOHNSON D T, TZANETAKIS I E. Assessing soybean genotypes for feeding damage by *Neohydatothrips variabilis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Crop Protection, 2020, 128: 104983.
- [41] LAGOS-KUTZ D, PAWLOWSKI M L, HAUDENSHIELD J, et al. Evaluation of soybean for resistance to *Neohydatothrips variabilis* (Thysanoptera: Thripidae) noninfected and infected with soybean vein necrosis virus [J]. Journal of Economic Entomology, 2020, 113(2): 949-955.
- [42] HARWOOD J D, YOO H J S, GREENSTONE M H, et al. Differential impact of adults and nymphs of a generalist predator on an exotic invasive pest demonstrated by molecular gut-content analysis [J]. Biological Invasions, 2009, 11(4): 895-903.
- [43] YOO H J S, O'NEIL R J. Temporal relationships between the generalist predator, *Orius insidiosus*, and its two major prey in

- soybean[J]. *Biological Control*, 2008, 48(2): 168-180.
- [44] BUTLER C D, O'NEIL R J. Life history characteristics of *Orius insidiosus* (Say) fed diets of soybean aphid, *Aphis glycines* Matsumura and soybean thrips, *Neohydatothrips variabilis* (Beach)[J]. *Biological Control*, 2007, 40(3): 339-346.
- [45] BUTLER C D, O'NEIL R J. Voracity and prey preference of insidious flower bug (Hemiptera: Anthoridae) for immature stages of soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) and soybean thrips (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2008, 37(4): 964-972.
- [46] DESNEUX N, O'NEIL R J. Potential of an alternative prey to disrupt predation of the generalist predator, *Orius insidiosus*, on the pest aphid, *Aphis glycines*, via short-term indirect interactions [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2008, 98(6): 631-639.
- [47] SELIG P, KEOUGH S, NALAM V J, et al. Jasmonate-dependent plant defenses mediate soybean thrips and soybean aphid performance on soybean[J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2016, 10(4): 273-282.
- [48] KLECZEWSKI N M. Prevalence and cropping system impacts on soybean vein necrosis disease in Delaware soybeans[J]. *Plant Health Progress*, 2018, 19(1): 11-12.
- [49] 高宇, 崔娟, 史树森. 中国大豆害虫发生为害动态及其影响因素[J]. *吉林农业大学学报*, 2023, 45(3): 264-271. (GAO Y, CUI J, SHI S S. Occurrence and damage dynamics of soybean pests and their influencing factors in China[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2023, 45(3): 264-271.)
- [50] 王迪, 高宇, 赵一瑾, 等. 大豆黄蓟马的生物学特性及危害特征研究[J]. *大豆科学*, 2021, 40(3): 394-397. (WANG D, GAO Y, ZHAO Y J, et al. Study on biological and damage characteristics of *Thrips flavus* on soybean[J]. *Soybean Science*, 2021, 40(3): 394-397.)
- [51] 高宇, 史树森. 大豆病毒病介体昆虫研究概况[J]. *大豆科技*, 2020(1): 49-54. (GAO Y, SHI S S. Overview of soybean virus vector insect research[J]. *Soybean Science & Technology*, 2020(1): 49-54.)
- [52] 谢永辉, 张宏瑞, 刘佳, 等. 传毒蓟马种类研究进展(缨翅目, 蓟马科)[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(6): 1726-1736. (XIE Y H, ZHANG H R, LIU J, et al. Advances in research on vector thrips species (Thysanoptera, Thripidae)[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50(6): 1726-1736.)
- [53] GAO Y, DING N, WANG D, et al. Effect of temperature on the development and reproduction of *Thrips flavus* (Thysanoptera: Thripidae)[J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2022, 24(3): 279-288.
- [54] GAO Y, SHI S, XU M, et al. Current research on soybean pest management in China[J]. *Oil Crop Science*, 2018, 3(4): 215-227.

欢迎订阅 2025 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办、国内外公开发行的专业学术刊物。自 1982 年创刊以来,始终秉承宣传我国大豆科研成果及研究进展,加强国际间的学术交流,推动大豆学术研究和生产发展的办刊宗旨,在学术上严格把关,在出版上精益求精。《大豆科学》被 CA 化学文摘(美)、JST 日本科学技术振兴机构数据库等多家国际知名数据库收录,连续入选北京大学《中文核心期刊要目总览》、中国科学引文数据库(CSCD)、中国科技核心期刊、中国农林核心期刊、《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》等国内主要期刊数据库。期刊开设遗传育种、分子生物学、耕作栽培、生理生化、土壤肥料、植物保护、分析加工、综述等多个栏目,对大豆科研领域的学术研究成果、技术创新、交流合作等方面内容进行全面报道。

《大豆科学》为双月刊,16 开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00 元,全年 240.00 元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00 美元(含邮资),全年 240.00 美元,国外邮发代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅。

地址:哈尔滨市松北区创新三路 800 号

邮编:150023

电话:0451-51522862

网址: <http://ddkx.haasep.cn>

E-mail: soybeanscience@vip.163.com

