

陕西延川枣区叶蝉种类鉴定及其种群消长动态 与传播枣疯病潜在介体叶蝉筛查*

陈玉鑫^{1,2**} 刘瑞昌^{1,2} 刘锦春³ 陈秀琳^{1,2} 李伯辽^{1,3} 李广伟^{1,3***}

(1. 陕西省红枣重点实验室(延安大学), 延安 716000; 2. 延安大学生命科学学院, 延安 716000;

3. 延安市枣业工程技术研发中心, 延安 716000)

摘要 【目的】明确陕西延川县枣区叶蝉种类及其种群消长动态, 筛查携带枣疯植原体的潜在介体叶蝉, 为预防和控制枣疯病在陕北枣区的蔓延流行提供科学依据。【方法】利用黄色粘虫板诱捕法调查枣园发生的叶蝉种类及主要种类的种群消长动态, 以枣疯植原体 16S rDNA 为检测基因通过 PCR 技术筛查携带枣疯植原体的叶蝉种类及携带率。【结果】陕西延川枣区发生的叶蝉共 11 种, 包括异色对纹叶蝉 *Zygina discolor* Horváth、镇原树小叶蝉 *Arboridia zhenyuana* Song & Li、桃一点叶蝉 *Singaporea shinshana* Matsumura、蒙奥小叶蝉 *Austroasca mitjaevi* Dworakowska、白边大叶蝉 *Kolla paulula* Walker、截突长突叶蝉 *Batracomorphus allionii* Turton、端钩菱纹叶蝉 *Hishimonus hamatus* Kuoh、新东方叶蝉 *Orientus ishidae* Matsumura、亨氏普叶蝉 *Platymetopius henribauti* Dlabola、褐背普叶蝉 *Platymetopius obsoletus* Signoret 和茶网背叶蝉 *Reticuluma testacea* Kuoh。异色对纹叶蝉、截突长突叶蝉和蒙奥小叶蝉的诱集量较大, 分别占叶蝉总诱集量的 49.64%、21.82% 和 11.76%, 属于优势种。延川县枣区叶蝉主要发生在 4 月下旬至 11 月上旬, 异色对纹叶蝉成虫有 3 个发生高峰, 截突长突叶蝉和茶网背叶蝉成虫有 2 个明显的发生高峰, 其他叶蝉仅有 1 个或无明显的发生高峰期。PCR 检测结果显示不同种类的叶蝉其枣疯植原体携带率显著不同, 异色对纹叶蝉和端钩菱纹叶蝉携带枣疯植原体的比例最高, 达 80% 以上; 桃一点叶蝉、茶网背叶蝉和新东方叶蝉次之, 携带率介于 50%-68% 之间, 截突长突叶蝉的携带率相对较低 (39%), 白边大叶蝉成虫中未检测到枣疯植原体。【结论】延川枣园携带枣疯病植原体的叶蝉种类多、携带率高, 应根据不同叶蝉的发生规律对潜在的枣疯植原体介体叶蝉进行高效治理, 有助于阻断和延缓枣疯病在陕北枣区的流行蔓延。

关键词 枣疯病; 植原体; 叶蝉; 介体昆虫; 种群动态

Species identification, population dynamics and screening of leafhoppers as potential vectors of the jujube witches'-broom in jujube orchards in Yanchuan, Shaanxi province

CHEN Yu-Xin^{1,2**} LIU Rui-Chang^{1,2} LIU Jin-Chun³ CHEN Xin-Lin^{1,2}
LI Bo-Liao^{1,3} LI Guang-Wei^{1,3***}

(1. Shaanxi Province Key Laboratory of Jujube (Yan'an University), Yan'an 716000, China; 2. College of Life Science, Yan'an University, Yan'an 716000, China; 3. Yan'an Jujube Industry Engineering Technology R & D Center, Yan'an 716000, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the species and population dynamics of leafhoppers in jujube orchards in Yanchuan county, Shaanxi province in order to identify potential vectors of jujube witches' broom (JWB), and thereby provide a theoretical basis for preventing the spread of this disease in northern Shaanxi. 【Methods】The species and population dynamics of leafhoppers in jujube orchards were investigated using yellow sticky traps, and species carrying JWB

*资助项目 Supported projects: 陕西省教育厅重点实验室项目 (20JS148); 陕西省重点研发计划项目 (一般项目-农业领域) (2022NY-129); 服务地方企业横向项目 “沿黄枣区枣疯病媒介昆虫调查及防控研究”

**第一作者 First author, E-mail: 2151833816@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liguangwei@yau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-04-11; 接受日期 Accepted: 2023-03-19

phytoplasma 16S rDNA were identified with PCR. **[Results]** A total of 11 leafhopper species were captured, including *Zygina discolor* Horváth, *Arboridia zhenyuana* Song & Li, *Singapore shinshana* Matsumura, *Austroasca mitjaevi* Dworakowska, *Kolla paulula* Walker, *Batracomorphus allionii* Turton, *Hishimonus hamatus* Kuoh, *Orientus ishidae* Matsumura, *Platymetopius henribauti* Dlabola, *Platymetopius obsoletus* Signoret, and *Reticuluma testacea* Kuoh. The most common species captured were *Z. discolor*, *B. allionii*, and *A. mitjaevi*, which comprised for 49.64%, 21.82%, and 11.76%, respectively, of all leafhoppers captured. These three leafhoppers are the dominant species in jujube orchards. Leafhoppers are most common in Yanchuan jujube orchards from late April to early November. There are three occurrence peaks for *Z. discolor*, two for *B. allionii* and *R. testacea* adults, and only one, or no obvious peak, for the other monitored species. PCR indicated that a high proportion (> 80%) of *Z. discolor* and *H. hamatus* carried JWB phytoplasm, followed by *S. shinshana*, *R. testacea*, and *O. ishidae* (50%-68%) and *B. allionii* (39%). No phytoplasma were detected in adult *K. paulula*. **[Conclusion]** Leafhopper species were abundant in Yanchuan jujube orchards and a high proportion of several common species were infected with JWB phytoplasma. Potential vectors of JWB should be effectively controlled based on their species-specific population dynamics, which will help break the chain of transmission and delay the spread of JWB in the jujube growing area of northern Shaanxi.

Key words jujube witches broom; phytoplasma; leafhopper; insect vector; population dynamics

枣 *Ziziphus jujuba* 原产于中国, 已有几千年的栽培和利用历史, 目前仍是我国第一大干果树种 (李继东等, 2021; 谢学军等, 2021)。枣疯病是由榆树黄化组植原体 16Sr V-B 侵染诱发的致死性病害, 染病枣树呈现花器返祖、叶片黄化、小枝丛生、果实畸形等症状, 发病 3-4 年后常常整株枯死 (王合等, 2018)。在第十届国际菌原体组织大会上将枣疯植原体命名为 *Canidatus Phytoplasma ziziphi* (Jung et al., 2003)。随着研究的不断深入, 透射电镜显微观察 (Yi and La, 1973; Park et al., 2021)、酶联免疫技术 (王振东和王清和, 1988)、荧光染色技术 (Liu et al., 2012)、核酸杂交技术 (Wang et al., 2010) 以及聚合酶链式反应技术 (Tian et al., 2000; Han, 2005; Sun et al., 2013) 等先后用于枣疯植原体的定性和定量检测。枣疯植原体 16S rDNA (Bu et al., 2016)、核糖体蛋白 (Ribosomal protein, rp) (Lin et al., 2010)、延伸因子 *tu* (Elongation factor *tu*, *tuf*) (Xie et al., 2016)、运输蛋白 *SecY* (Secretion Y, *SecY*) (陈妮等, 2011; 张磊等, 2014) 等基因已广泛用于枣疯植原体的鉴定及遗传多样性分析, 16S rDNA 因其序列高度保守成为目前枣疯植原体鉴定中最常用的检测基因。

枣疯植原体主要分布在病株根、枝干、嫩枝和叶脉的韧皮部筛管中, 主要通过嫁接和介体叶蝉传播 (郝新迪等, 2021; 阎雄飞等, 2022)。王

焯等 (1981) 及王焯 (1982) 研究证实凹缘菱纹叶蝉 *Hishimonus sellatus* 和中华拟菱纹叶蝉 *Hishimonoides chinensis* 能够传播枣疯病, 凹缘菱纹叶蝉也是韩国和日本枣树种植区传播枣疯病的主要介体叶蝉 (La and Woo, 1980; Han and Cha, 2002; Kusunoki et al., 2002)。北京、广西等地的枣园中, 片突菱纹叶蝉 *Hishimonus lamellatus* 和凹缘菱纹叶蝉常常混合发生, 在片突菱纹叶蝉成虫及 2-5 龄若虫中能够检测到枣疯植原体, 推测该虫也是传播枣疯病的潜在介体叶蝉 (郭家洛等, 2021)。陕北枣区是我国重要的红枣产区, 至 2020 年枣园种植面积达 21 万 hm^2 , 主要分布在陕北黄河沿岸。近年来由于撂荒枣园杂草丛生, 树势衰弱, 叶蝉滋生, 导致枣疯病暴发蔓延, 严重影响了当地枣农的经济收入和脆弱的生态环境, 开发高效治理枣疯病的防治措施已成为亟待解决的难题。明确陕北枣区枣园的叶蝉种类, 筛查携带枣疯植原体的叶蝉类群, 摸清枣疯病介体叶蝉在枣园的发生规律, 对通过防治介体叶蝉阻断枣疯病传播链、延缓枣疯病的暴发蔓延具有重要的作用。

本研究选取了位于陕北枣区偏南部的延川县红枣主要种植区为调查监测点, 利用黄色粘虫板 (简称“黄板”) 诱集和捕虫网网捕对枣园叶蝉的种类展开收集调查, 利用黄板诱集法监测了主要叶蝉在枣园的种群消长动态规律, 以枣疯植

原体 16S rDNA 为鉴定基因通过 PCR 技术筛查了枣园主要叶蝉携带枣疯植原体的情况。本研究为有效预防和控制枣疯病在陕北枣区的暴发流行提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 陕西延川县枣园叶蝉种类调查及鉴定

此次调查地陕西省延川县,属陕北枣区最偏南的红枣种植县区,地处北纬 36°37'15"-37°05'55",东经 109°36'20"-110°26'44"。调查点均是近 2 年初撂荒的枣园,全年不施肥,不喷洒杀虫剂、杀菌剂和除草剂。调查于 2021 年 4 月至 11 月进行,每月中旬调查 1 次,采用黄板诱集法和捕虫网网捕法进行。调查时在各个调查点悬挂 3 张黄板诱集 3 日,同时使用自制的捕虫网(金网圈直径:35 cm,网深:80 cm,网孔直径:250 目)在枣树树体、园内杂草、地埂杂草处网捕收集叶蝉。参照代丽珍等的(2019)方法对叶蝉标本进行脱水处理,参考《中国叶蝉分类研究》(张雅林,1990)、《中国经济昆虫志第十册同翅目叶蝉科》(葛钟麟,1966)将叶蝉标本初步分类至亚科水平,之后邀请叶蝉分类专家鉴定种名。

1.2 枣园主要叶蝉种类的种群消长动态监测

在延川县延水关镇选择大面积种植红枣的达连沟村、东村、庄头村作为 3 个固定监测点,枣树树龄 20-25 年。在各监测点每次悬挂 5 张 25 cm×20 cm 黄板(北京格瑞碧源科技有限公司,中国)于枣树侧枝上,距离地面 1.0-1.2 m,相邻黄板之间相距 40 m。叶蝉种群消长动态调查试验于 2021 年 4 月 16 日至 2021 年 11 月 2 日进行,每隔 15 d 调查一次,每次调查的叶蝉种类和数量为悬挂黄板诱集 5 日的虫量,由于降雨会明显抑制叶蝉的活动从而影响调查结果,为了避免黄板悬挂期间经历持续降雨,每次实际调查的间隔期与试验设计有所差异。全年调查结束后统计每种叶蝉总的诱集量、平均单板 5 日诱集量和相对丰富度,相对丰富度为黄板上不同种类叶蝉的诱集量占诱集到叶蝉总数的百分比,绘制枣园主要叶蝉的种群消长动态图。

1.3 枣园主要叶蝉携带枣疯植原体的 PCR 检测

在 1.1 和 1.2 节确定枣园主要叶蝉种类和发生规律的基础上,在每种叶蝉的发生期悬挂黄板进行诱集,将粘在黄板上尚未死亡的叶蝉单头收集于 1.5 mL 无菌离心管中。由于悬挂在不同枣树侧枝上的黄板其附近感染枣疯病的枣树分布不均匀,为了消除试验误差,每个黄板上收集的同种叶蝉不超过 5 头,每种叶蝉共收集 100 头,带回实验室后将样品保存于 -80 °C 备用。利用 CTAB 法提取所有叶蝉样本的基因组 DNA(杨海旭等,2011;陈妮等,2015),使用 RNaseA(DIYIBIO,中国)去除基因组 DNA 中的 RNA,利用微量分光光度计(Nano-300,杭州奥盛仪器有限公司)测定 DNA 样品的 OD_{260/280} 值及浓度。以枣疯植原体 16S rDNA 为鉴定基因,设计特异性引物(F:CGCTAAAGTCCCCACCATTA,R:CACATTGGGACTGAGACACG)扩增 16S rDNA 保守区 828 bp 的 DNA 片段。20 μL RT-PCR 反应体系:2×Rapid Taq Master Mix 10 μL(Vazyme,中国),10 μmol/L 正反向引物各 0.4 μL,DNA 模板 100 ng,ddH₂O 补足至 20 μL。以 ddH₂O 代替 DNA 模板的反应为阴性对照。反应条件:94 °C 预变性 4 min;94 °C 变性 30 s,60 °C 退火 30 s,72 °C 延伸 45 s,共 35 个循环;最后 72 °C 延伸 10 min。采用 1%琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 目标产物,如 PCR 产物在目标大小位置有条带、阴性对照在相应位置无条带,则判定该样本所对应的叶蝉携带枣疯植原体,反之则不携带。为确保 PCR 检测的准确性,每种叶蝉随机挑选 5 个样本的阳性 PCR 产物使用 SteadyPure DNA 凝胶回收试剂盒(艾科瑞生物,中国)纯化回收,之后送北京奥科鼎盛生物科技有限公司测序验证。根据 PCR 产物阳性数量统计每种叶蝉携带枣疯植原体的百分率。

2 结果与分析

2.1 枣园叶蝉种类组成分析

在陕西延川县枣园收集和鉴定到的叶蝉隶属于 5 个亚科 11 种(图 1),分别为小叶蝉亚科 Typhlocybinae 的异色对纹叶蝉 *Zygina discolor*

Horváth、镇原树小叶蝉 *Arboridia zhenyuana* Song & Li、桃一点叶蝉 *Singapora shinshana* Matsumura 和蒙奥小叶蝉 *Austroasca mitjaevi* Dworakowska; 大叶蝉亚科 Cicadellinae 的白边大叶蝉 *Kolla paulula* Walker; 叶蝉亚科 Iassidae 的截突长突叶蝉 *Batracomorphus allionii* Turton; 角顶叶蝉亚科

Deltocephalinae 的端钩菱纹叶蝉 *Hishimonus hamatus* Kuoh、新东方叶蝉 *Orientus ishidae* Matsumura、亨氏普叶蝉 *Platymetopius henribauti* Dlabola 和褐背普叶蝉 *Platymetopius obsoletus* (中国新纪录种) 以及乌叶蝉亚科 Penthimiinae 的茶网背叶蝉 *Reticuluma testacea* Kuoh。其中亨

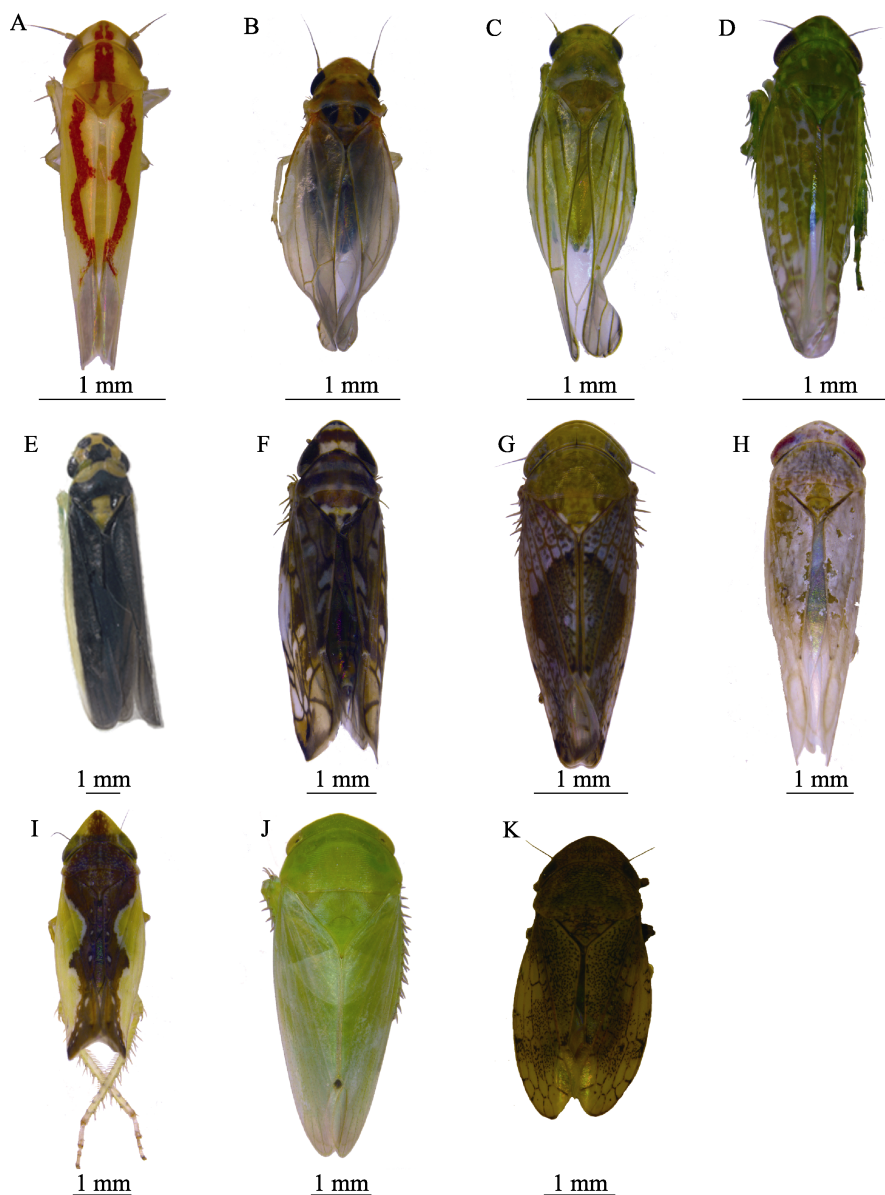


图 1 陕西延川县主要红枣种植区枣园叶蝉种类组成

Fig. 1 Species of leafhopper in jujube orchards in main jujube planting areas of Yanchuan county, Shaanxi province

A. 异色对纹叶蝉 *Zygina discolor*; B. 镇原树小叶蝉 *Arboridia zhenyuana*; C. 桃一点叶蝉 *Singapora shinshana*; D. 蒙奥小叶蝉 *Austroasca mitjaevi*; E. 白边大叶蝉 *Kolla paulula*; F. 新东方叶蝉 *Orientus ishidae*; G. 端钩菱纹叶蝉 *Hishimonus hamatus*; H. 褐背普叶蝉 *Platymetopius obsoletus*; I. 亨氏普叶蝉 *Platymetopius henribauti*; J. 截突长突叶蝉 *Batracomorphus allionii*; K. 茶网背叶蝉 *Reticuluma testacea*.

氏普叶蝉和褐背普叶蝉在枣园的数量非常少,亨氏普叶蝉仅在延水关镇达连沟村的枣园诱集到1头,褐背普叶蝉在延水关镇和延川镇的枣园共诱捕到7头,其他9种叶蝉在所有调查点的枣园均可用黄板稳定诱集到。

2.2 枣园叶蝉的丰富度分析及主要叶蝉的种群消长动态规律

利用黄板诱集法对枣园主要叶蝉的种群数量与消长动态规律进行了监测(表1),结果表明异色对纹叶蝉数量最多,平均单板5 d诱捕量达(13.51±3.92)头;截突长突叶蝉和蒙奥小叶蝉数量次之,平均单板5 d诱捕量分别达(5.94±2.31)和(3.20±1.23)头;桃一点叶蝉、白边大叶蝉、新东方叶蝉、端钩菱纹叶蝉、茶网背叶蝉和镇原树小叶蝉的种群数量相对较少,平均单板5 d诱捕量在2头以下。亨氏普叶蝉和褐背普叶蝉在调查期内平均单板5 d诱捕量均低于0.05头,在枣园属于偶见种类。异色对纹叶蝉、截突长突叶蝉和蒙奥小叶蝉的相对丰富度分别达49.64%、

21.82%和11.76%,其他9种叶蝉的相对丰富度均在10%以下,异色对纹叶蝉、截突长突叶蝉和蒙奥小叶蝉是枣园叶蝉的优势种。

异色对纹叶蝉成虫在整个调查期内均能诱捕到,成虫在5月初、6月下旬和8月上旬各有1个明显的发生高峰期,3个发生高峰期的单板5 d累积诱集量分别达(26.06±3.71)、(44.73±6.31)和(34.07±5.46)头,异色对纹叶蝉具有明显的世代重叠现象(图2)。截突长突叶蝉全年发生2代,第1代成虫始见于6月初,6月下旬成虫种群数量达到高峰,单板5 d累积诱集量达(23.67±2.14)头,至7月下旬第1代成虫大部分死亡;第2代成虫在8月下旬达到发生高峰,单板5 d累积诱集量达(16.46±1.95)头,之后种群数量逐渐降低,至10月中旬无法诱捕到成虫(图2)。与其他叶蝉相比,蒙奥小叶蝉成虫在枣园出现时间较晚,6月下旬首次诱集到成虫,8月上中旬成虫种群数量达到高峰,高峰期5 d累积诱集量达(15.26±5.85)头,之后成虫种群数量逐渐减少直至11月上旬全部死亡(图2)。

表1 黄板诱集调查枣园叶蝉的种类和数量组成

Table 1 Species and quantitative of trapped leafhopper by yellow sticky traps in jujube orchards

叶蝉种类 Leafhopper species	总诱捕量(头) Total trapping amount (ind.)	平均单板5 d诱捕量(头) Average catches of single yellow sticky trap in 5 days (ind.)	相对丰富度(%) Relative abundance (%)
异色对纹叶蝉 <i>Zygina discolor</i>	2 634	13.51±3.92 a	49.64
镇原树小叶蝉 <i>Arboridia zhenyuana</i>	35	0.18±0.05 d	0.66
桃一点叶蝉 <i>Singapora shinshana</i>	303	1.55±0.93 cd	5.71
蒙奥小叶蝉 <i>Austroasca mitjaevi</i>	624	3.20±1.23 cd	11.76
白边大叶蝉 <i>Kolla paulula</i>	195	1.00±0.40 d	3.68
新东方叶蝉 <i>Orientus ishidae</i>	138	0.71±0.32 d	2.60
端钩菱纹叶蝉 <i>Hishimonus hamatus</i>	100	0.51±0.24 d	1.88
褐背普叶蝉 <i>Platymetopius obsoletus</i>	4	<0.05 e	0.08
亨氏普叶蝉 <i>Platymetopius henribauti</i>	1	<0.05 e	0.02
截突长突叶蝉 <i>Batracomorphus allionii</i>	1 158	5.94±2.31 bc	21.82
茶网背叶蝉 <i>Reticuluma testacea</i>	114	0.58±0.21 d	2.15

表中第2列数据表示平均值±标准误,数据后标有不同小写字母表示在0.05水平上有显著性差异($P<0.05$, Tukey's HSD)。The data in the second column are mean±SE, and followed by the different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level ($P<0.05$) by method of Tukey's HSD.

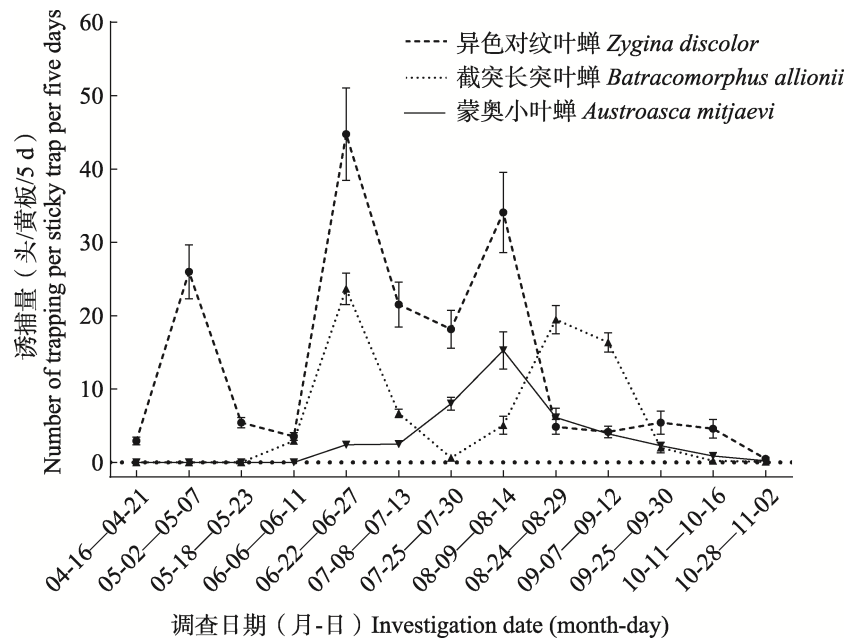


图 2 主要叶蝉在枣园的种群消长动态规律调查

Fig. 2 Investigation on the population dynamics of the main leafhoppers in jujube orchards

2.3 枣园主要叶蝉携带枣疯植原体的 PCR 检测

以枣疯植原体 16S rDNA 为鉴定基因对枣园主要叶蝉成虫携带植原体情况进行了检测,并在每种叶蝉的阳性 PCR 扩增产物中随机挑选 5 个克隆进行测序验证,确保了 PCR 检测的可靠性。利用 R 语言包调用广义线性模型中的二项式分布检验对不同叶蝉枣疯植原体携带率的差异显著性进行分析,结果表明不同叶蝉之间枣疯植原

体携带率存在显著差异 ($\chi^2=292.053$, $df=7$, $P<0.001$), 异色对纹叶蝉和端钩菱纹叶蝉枣疯植原体携带率最高 (分别为 86% 和 82%), 显著高于其他叶蝉 (表 2); 桃一点叶蝉次之 (68%); 茶网背叶蝉和新东方叶蝉枣疯植原体携带率介于 50%-60% 之间, 且两者之间无显著性差异 ($P=0.396$); 截突长突叶蝉枣疯植原体携带率较低 (39%), 显著低于桃一点叶蝉 ($P<0.001$) 和

表 2 枣园叶蝉携带枣疯植原体的 PCR 检测

Table 2 PCR detection of the leafhoppers carried the jujube witches's broom phytoplasma

叶蝉物种 Leafhopper species	样本数 Number of samples	阳性数量 Number of positive	植原体携带率 (%) Rate of phytoplasma carrier (%)
异色对纹叶蝉 <i>Zyginia discolor</i>	100	86	86 a
白边大叶蝉 <i>Kolla paulula</i>	100	0	0 f
截突长突叶蝉 <i>Batracomorphus allionii</i>	100	39	39 d
茶网背叶蝉 <i>Reticuluma testacea</i>	100	56	56 c
新东方叶蝉 <i>Orientus ishidae</i>	100	50	50 c
端钩菱纹叶蝉 <i>Hishimonus hamatus</i>	100	82	82 a
桃一点叶蝉 <i>Singapora shinshana</i>	100	68	68 b
蒙奥小叶蝉 <i>Austroasca mitjaevi</i>	100	5	5 e

表中数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著性差异 ($P<0.05$, 二项分布检验)。

Data followed by the different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level ($P<0.05$) by method of Binomial test.

茶网背叶蝉 ($P=0.016$) 的枣疯植原体携带率, 但与新东方叶蝉无显著性差异 ($P=0.118$); 蒙奥小叶蝉枣疯病植原体携带率仅为 5%, 低于所有携带植原体的叶蝉; 在白边大叶蝉成虫中未检测到枣疯植原体。由于镇原树小叶蝉、亨氏普叶蝉和褐背普叶蝉种群数量小, 黄板诱集到的样本量少, 故没有检测成虫枣疯植原体的携带率。

3 讨论

通过黄板诱集和捕虫网网捕对陕西延川县主要红枣种植区的叶蝉种类进行了采集, 共鉴定到 11 种叶蝉, 包括异色对纹叶蝉、镇原树小叶蝉、桃一点叶蝉、蒙奥小叶蝉、白边大叶蝉、新东方叶蝉、端钩菱纹叶蝉、褐背普叶蝉、亨氏普叶蝉、截突长突叶蝉和茶网背叶蝉。枣园发生的叶蝉种类与红枣种植区的地理环境紧密相关, 如北京昌平、海淀、朝阳、通州所属区域枣园发生的叶蝉主要有凹缘菱纹叶蝉、片突菱纹叶蝉、一点木叶蝉 *Phlogotettix cyclops*、条沙叶蝉 *Psanrmotettix strintus*、小绿叶蝉 *Empoasca* spp.、红闪小叶蝉 *Zygina* sp.、斑叶蝉 *Erythroneura* sp.、桃一点叶蝉 *Singapore shinshana*、横带叶蝉 *Scaphoideus festivus*、白边大叶蝉、大青叶蝉 *Cicadella viridis*、窗耳叶蝉 *Ledra auditura* 和新县长突叶蝉 *Batracomorphus xinianensis* (代丽珍等, 2019), 鉴定至种水平的叶蝉仅白边大叶蝉和桃一点叶蝉与陕西延川县枣园发生的叶蝉种类有相同。河北玉田县枣园常见的叶蝉主要有橙带拟菱纹叶蝉、凹缘菱纹叶蝉、红闪小叶蝉、假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis*、斑姬叶蝉 *Motschulskyia pulchar*、黄缘短头叶蝉 *Bythoscopus chlorophuna*、白脊匙头叶蝉 *Paraboloratus rusticus*、长柄叶蝉 *Alebroides iwateusis*、梯顶叶蝉 *Jassus* sp.、圆头叶蝉 *Gargargenisate fabycius* 和电光叶蝉 *Deltocephalus dorsalis* 等 (陈子文等, 1984), 与延川县枣园发生的叶蝉种类均不相同。韩国全罗南北道、忠清北道和庆尚南道等枣树集中种植区, 枣园发生的叶蝉主要有凹缘菱纹叶蝉、大青叶蝉、阔横带叶蝉 *Scaphoideus festivus* 和胫槽叶蝉 *Drabescus* sp., 其中凹缘菱纹叶蝉种

群数量最多, 为优势种 (La and Woo, 1980)。本研究通过黄板诱捕监测试验表明, 异色对纹叶蝉、截突长突叶蝉和蒙奥小叶蝉是当地枣园叶蝉的优势种, 是否能够传播枣疯病尚待进一步证实。

通过对陕西延川枣园主要叶蝉种群动态消长规律的监测发现, 异色对纹叶蝉、白边大叶蝉、茶网背叶蝉和镇原树小叶蝉 4 种叶蝉在 5 月至 10 月下旬均可诱捕到, 表明以上叶蝉常年栖居于枣园或枣园周边, 以枣树或枣园杂草为食完成生长发育和繁殖。调查发现桃一点叶蝉在枣园的发生期较短, 仅在 9 月初至 11 月初能诱捕到成虫, 成虫仅在 9 月下旬有 1 个发生高峰, 其在春夏季的发生不明。张安盛等 (2003) 的研究发现, 在山东济南地区的桃园中, 桃一点叶蝉在 4 月下旬、5 月下旬、8 月下旬、10 月上中旬分别有一个为害高峰, 年发生 4 代以上。桃一点叶蝉在枣园的发生规律尚需进一步的调查研究。截突长突叶蝉和新东方叶蝉以卵在寄主植物皮层内越冬, 若虫孵化后在枣树叶背刺吸取食, 若虫期 25-30 d, 故诱捕到以上两种叶蝉的时间较其他叶蝉晚 (Valley and Wheeler, 1985; Lessio et al., 2019)。明确延川县红枣种植区主要传播枣疯植原体的介体叶蝉, 对介体叶蝉的越冬虫态、越冬场所、寄主植物、迁移能力等特性进行深入研究, 对建立以治理介体叶蝉阻断枣疯病传播链, 延缓枣疯病的暴发、蔓延的防控措施具有重要的指导意义。

在本次调查到的 11 种叶蝉中, 由于诱集到的镇原树小叶蝉、亨氏普叶蝉和褐背普叶蝉的数量少没有检测枣疯植原体携带率外, 发现异色对纹叶蝉和端钩菱纹叶蝉携带率高达 80% 以上, 桃一点叶蝉、茶网背叶蝉和新东方叶蝉的携带率亦在 50% 以上, 显著高于北京地区枣园叶蝉的携带率 (代丽珍等, 2019)。造成陕西延川县枣园叶蝉携带枣疯植原体比例较高的原因可能有两方面, 一是调查区枣疯病发病率较高 (11.5%-20.0%), 多种叶蝉对疯病丛枝、簇枝具有趋性, 导致园内叶蝉极易刺吸到病树汁液从而使 PCR 检测的阳性率较高; 二是由于陕北枣区干旱少雨, 枣园内植被多样性偏低 (李智, 2020), 园内叶蝉取食除

枣树外其他替代寄主植物的概率偏低, 导致叶蝉的枣疯植原体携带率较高。目前已证实能够传播枣疯病的凹缘菱纹叶蝉和中华拟菱纹叶蝉, 以及高度疑似传病的片突菱纹叶蝉均属于拟菱纹叶蝉属或菱纹叶蝉属, 北京地区枣园中菱纹叶蝉以凹缘菱纹叶蝉和片突菱纹叶蝉混合发生(郝少东等, 2015), 广西红枣种植区以片突菱纹叶蝉为主(罗标等, 1998), 山东、河南枣区以中华拟菱纹叶蝉为优势种(王焯等, 1984), 此次调查发现陕西延川枣区发生的菱纹叶蝉仅有端钩菱纹叶蝉, 该叶蝉是否能够传播枣疯病、枣疯植原体在该虫体内的分布和增殖方式等问题均有待进一步深入研究。

致谢: 感谢西北农林科技大学张雅林教授团队鉴定异色对纹叶蝉、镇原树小叶蝉、桃一点叶蝉、白边大叶蝉和茶网背叶蝉, 戴武教授鉴定截突长突叶蝉, 吕林博士鉴定端钩菱纹叶蝉、新东方叶蝉、亨氏普叶蝉和褐背普叶蝉; 江西农业大学徐业博士鉴定蒙奥小叶蝉。

参考文献 (References)

- Bu JD, Peng L, Liu MJ, Zhao J, 2016. 16S rDNA sequence analysis of witches' broom phytoplasma isolates from Chinese jujube in North China. *Australasian Plant Pathology*, 45(1): 119–122.
- Chen N, Gong JF, Chen XF, Jing MF, Zhu XP, 2011. Molecular identification of phytoplasma associated with jujube witches' broom in Shandong province based on secY gene. *Shandong Agricultural Sciences*, 2011(10): 4–7. [陈妮, 公娇芬, 陈小飞, 景茂峰, 竺晓平, 2011. 基于secY基因对山东临沂枣疯病植原体的分子鉴定. *山东农业科学*, 2011(10): 4–7.]
- Chen N, Liu YG, Qiu PP, Liu WH, Su WM, Zhu XP, 2015. Molecular identification and sequence polymorphism of phytoplasma associated with jujube witches' broom in Shandong province. *Acta Phytopathologica Sinica*, 45(2): 113–120. [陈妮, 刘永光, 仇平平, 刘文浩, 苏文敏, 竺晓平, 2015. 山东省枣疯病植原体的鉴定及分子变异分析. *植物病理学报*, 45(2): 113–120.]
- Chen ZW, Zhang FW, Tian XD, Zhang JQ, Wang QK, Shi CL, Ma JC, 1984. On the transmission of jujube witches'-broom disease. *Acta Phytopathologica Sinica*, 14(3): 141–146. [陈子文, 张凤舞, 田旭东, 张金歧, 王祈楷, 史春霖, 马俊才, 1984. 枣疯病传病途径的研究. *植物病理学报*, 14(3): 141–146.]
- Dai LZ, Guo JL, Feng YH, Wang L, Hao SD, Guo L, Yang BD, Ren ZG, Wang JZ, 2019. Leafhopper species screening of potential vector transmitting jujube witches'-broom phytoplasma in Beijing. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 34(3): 59–65. [代丽珍, 郭家洛, 冯玉环, 王龙, 郝少东, 郭力, 杨宝东, 任争光, 王进忠, 2019. 北京地区枣疯病植原体潜在介体叶蝉种类筛查. *北京农学院学报*, 34(3): 59–65.]
- Ge ZL, 1966. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 10, Homoptera: Cicadellidae. Beijing: Science Press. 29–200. [葛钟麟, 1966. 中国经济昆虫志·第十册·同翅目·叶蝉科. 北京: 科学出版社. 29–200.]
- Guo JL, Wang JX, He GX, Hapazi · Qiaheban, Dai LZ, Huang LB, Zhang ZY, Zhang TQ, Ren ZG, Wang JZ, 2021. Infection of *Hishimonus lamellatus* by *Wolbachia* (Rickettsiales: Alphaproteobacteria) and jujube witches'-broom phytoplasma, and phylogenetic analysis of these pathogens. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(4): 949–958. [郭家洛, 王金萱, 贺光学, 哈帕孜·恰合班, 代丽珍, 黄利斌, 张志勇, 张铁强, 任争光, 王进忠, 2021. 片突菱纹叶蝉感染枣疯植原体与 *Wolbachia* 的检测及系统发育分析. *应用昆虫学报*, 58(4): 949–958.]
- Han S, Cha B, 2002. Genetic similarity between jujube witches broom and mulberry dwarf phytoplasmas transmitted by *Hishimonus sellatus* Uhler. *The Plant Pathology Journal*, 18(2): 98–101.
- Han S, 2005. Specific primer for detection of jujube witches broom phytoplasma group (16SrV) in Korea. *The Plant Pathology Journal*, 21(1): 55–58.
- Hao SD, Chen YQ, Wang JZ, Wang H, Tao WQ, Zhang ZY, Shi XY, Zhou S, 2015. Multiplex-PCR for identification of two *Hishimonus* species (Hemiptera: Cicadellidae) in jujube orchards and detection of jujube witches' broom (JWB) phytoplasma in their bodies. *Acta Entomologica Sinica*, 58(3): 264–270. [郝少东, 陈昱圻, 王进忠, 王合, 陶万强, 张志勇, 石小玉, 周赛, 2015. 多重PCR法区分枣园两种菱纹叶蝉及检测其体内枣疯病植原体. *昆虫学报*, 58(3): 264–270.]
- Hao XD, Lu JJ, Dai LZ, Zhang TQ, Wang JZ, Wang L, Guo JL, Ren ZG, Wang JW, 2021. Resistance of six varieties to witches-broom disease and difference in migration characteristics of phytoplasma in jujube. *Journal of Fruit Science*, 38(4): 560–568. [郝新迪, 路瑾瑾, 代丽珍, 张铁强, 王进忠, 王龙, 郭家洛, 任争光, 王建文, 2021. 6个枣品种枣疯病抗性与枣疯植原体迁移特性差

- 异研究. 果树学报, 38(4): 560–568.]
- Jung HY, Sawayanagi T, Kakizawa S, Nishigawa H, Wei W, Oshima K, Miyata S, Ugaki M, Hibi T, Namba S, 2003. ‘*Candidatus Phytoplasma ziziphi*’, a novel phytoplasma taxon associated with jujube witches’-broom disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(4): 1037–1041.
- Kusunoki M, Shiomi T, Kobayashi M, Okudaira T, Ohashi A, Nohira T, 2002. A leafhopper (*Hishimonus sellatus*) transmits phylogenetically distant phytoplasmas: Rhus yellows and hovenia witches’ broom phytoplasma. *Journal of General Plant Pathology*, 68(2): 147–154.
- La Y, Woo KS, 1980. Transmission of jujube witches’-broom mycoplasma by the leafhopper *Hishimonus sellatus* Uhler. *Journal of Korean Society of Forest*, 48(1): 29–39.
- Lessio F, Bocca F, Alma A, 2019. Development, spatial distribution, and presence on grapevine of nymphs of *Orientus ishidae* (Hemiptera: Cicadellidae), a new vector of flavescence dorée phytoplasmas. *Journal of Economic Entomology*, 112(6): 2558–2564.
- Li JD, Chen LC, Wang HY, Chen P, Yang QQ, Zhang Y, Li QC, Feng JC, 2021. Research progress on the pathogenic mechanism and control of jujube witches’ broom disease. *Journal of Henan Agricultural University*, 55(1): 1–7. [李继东, 陈立川, 王会鱼, 陈鹏, 杨琦琪, 张玉, 李奇承, 冯建灿, 2021. 枣疯病发生机制与防治研究进展. 河南农业大学学报, 55(1): 1–7.]
- Li Z, 2020. Research on soil seed bank of jujube garden in Yellow River basin of northern Shaanxi. Master dissertation. Yan’an: Yan’an University. [李智, 2020. 陕北黄河流域枣园土壤种子库的研究. 硕士论文. 延安: 延安大学.]
- Lin W, Mou H, Zhao W, Xu Q, Tian G, Liao X, Zhu S, 2010. Cloning and analysis of *tuf* and *rp* gene of the phytoplasma associated with jujube witches’-broom. *Acta Microbiologica Sinica*, 50(10): 1313–1319.
- Liu GN, Zha J, Liu MJ, 2012. Destructive phytoplasma disease—jujube witches’ broom and its control. *Acta Horticulturae*, 940: 707–711.
- Luo B, Chen FX, Tang JY, Wen KL, Tang YF, Chen YR, 1998. Biological characteristics and occurrence of *Hishimonus lamellatus* Cai et Kuo. *Guangxi Plant Protection*, 1998(3): 4–7. [罗标, 陈富祥, 唐洁瑜, 文克莲, 唐运发, 陈宇让, 1998. 片突菱纹叶蝉生物学特性及发生规律研究. 广西植保, 1998(3): 4–7.]
- Park J, Kim HJ, Huh YH, Kim KW, 2021. Ultrastructure of phytoplasma-infected jujube leaves with witches’ broom disease. *Micron*, 148: 103108.
- Sun XC, Mou HQ, Li TT, Tian Q, Zhao WJ, 2013. Mixed infection of two groups (16SrI & V) of phytoplasmas in a single jujube tree in China. *Journal of Phytopathology*, 161(9): 661–665.
- Tian JB, Guo HP, Bertaccini A, Martini M, Paltrinieri S, Pastore M, 2000. Molecular detection of jujube witches’ broom phytoplasmas in micropropagated jujube shoots. *HortScience*, 35(7): 1274–1275.
- Valley KR, Wheeler AG, 1985. Leaf hoppers (Hemiptera: Cicadellidae) associated with ornamental honey locust: Seasonal history, habits, and descriptions of eggs and fifth instars. *Annals of the Entomological Society of America*, 78(6): 709–716.
- Wang H, Ren ZG, Pan YP, Feng SK, Lin CL, Chang EZ, Yu SS, Tian GZ, 2018. Determination of individual jujube trees against jujube witches’-broom disease and screening of resistant varieties from the ancient individual jujube trees growing in Beijing. *Scientia Silvae Sinicae*, 54(8): 124–132. [王合, 任争光, 潘彦平, 冯术快, 林彩丽, 常恩忠, 于少帅, 田国忠, 2018. 北京市区古枣树单株种源抗枣疯病测定与抗病品种(系)筛选. 林业科学, 54(8): 124–132.]
- Wang J, Zhu XP, Gao R, Lin CL, Li Y, Xu QC, Piao CG, Li XD, Li HF, Tian GZ, 2010. Genetic and serological analyses of elongation factor EF-Tu of paulownia witches’-broom phytoplasma (16SrI-D). *Plant Pathology*, 59(5): 972–981.
- Wang Z, Yu BW, Zhou PZ, Jiang XY, Shen JY, Chen ZY, 1981. A study of the insect vector (*Hishimonoides chinensis* Anufriev) transmitting the jujube witches’-broom disease (I) the insect vector *Hishimonoides chinensis* Anufriev. *Acta Phytopathologica Sinica*, 11(3): 27–31. [王焯, 于保文, 周佩珍, 姜秀英, 沈菊英, 陈作义, 1981. 枣疯病传病昆虫研究(I)传病昆虫——中国拟菱纹叶蝉. 植物病理学报, 11(3): 27–31.]
- Wang Z, 1982. Transmission of jujube witches’-broom mycoplasma by the leafhopper *Hishimonus sellatus* Uhler. *Shanxi Fruits*, 1982(3): 58–59. [王焯, 1982. 凹缘菱纹叶蝉对枣疯病的传播. 山西果树, 1982(3): 58–59.]
- Wang Z, Zhou PZ, Yu BW, Jiang XY, Zhang CA, 1984. On the bionomics and control of *Hishimonoides chinensis* Anufriev, the vector of jujube witches’ broom disease. *Journal of Plant Protection*, 11(4): 247–252. [王焯, 周佩珍, 于保文, 姜秀英, 张承安, 1984. 枣疯病媒介昆虫——中华拟菱纹叶蝉生物学和防治的研究. 植物保护学报, 11(4): 247–252.]
- Wang ZD, Wang QH, 1988. Studies on antiserum preparation and application on of Chineses jujube witches’ broom mycoplasma-

- like organisms (MLO). *Journal of Microbiology*, 8(4): 17–21. [王振东, 王清和, 1988. 枣疯病类菌原体抗血清的制备及其应用的初步研究. 微生物学杂志, 8(4): 17–21.]
- Xie NN, Yuan Z, Zhang LM, Zhao J, Liu MJ, 2016. Molecular cloning and expression of a novel eukaryotes elongation factor 1 α gene (ZjeEF-1 α) from Chinese jujube in response to phytoplasma infection. *Physiological & Molecular Plant Pathology*, 96: 101–108.
- Xie XJ, Jin DY, Dai JS, Bao YL, Zhang YE, Wang SK, 2021. Research report on the development of jujube industry. *China Rural Science & Technology*, 2021(10): 54–57. [谢学军, 金东艳, 戴俊生, 包艳丽, 张永恩, 王书可, 2021. 红枣产业发展情况调研报告. 中国农村科技, 2021(10): 54–57.]
- Yan XF, Zhang Q, Zhang P, Liu QZ, Hao Z, Li G, Liu YH, 2022. Risk analysis and management of jujube witches' broom disease in Shaanxi province, China. *Journal of Biosafety*, 31(3): 262–267. [阎雄飞, 张权, 张鹏, 刘青钊, 郝哲, 李刚, 刘永华, 2022. 陕西省枣疯病的潜在风险分析及管理对策. 生物安全学报, 31(3): 262–267.]
- Yang HX, Wang Y, Zhao YL, Zhao J, Liu MJ, 2011. Molecular classification of jujube witches' broom (JWB) associated phytoplasma from *Ziziphus jujuba* Mill. 'Zanhuangdazao'. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(21): 4429–4437. [杨海旭, 王洋, 赵彦嫖, 赵锦, 刘孟军, 2011. 赞皇大枣枣疯病植原体分子分类. 中国农业科学, 44(21): 4429–4437.]
- Yi CK, La YJ, 1973. Mycoplasma-like bodies found in the phloem elements of jujube trees infected with witches-broom disease. *The Research Reports of the Forestry Research Institute*, 20: 111–114.
- Zhang AS, Feng JG, Yu Y, Zhang SZ, Li ZH, 2003. The population dynamics and spatial distribution pattern of *Erythroneura sudra*. *Entomological Knowledge*, 40(5): 429–432. [张安盛, 冯建国, 于毅, 张思聪, 李照会, 2003. 桃一点斑叶蝉种群消长动态和空间分布型研究. 昆虫知识, 40(5): 429–432.]
- Zhang L, Han X, Sui DD, Wu JL, Wu YF, Han CX, 2014. Sequence analyses of *rp* and *secY* genes of phytoplasma of jujube witches broom. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 42(7): 102–105. [张磊, 韩翔, 隋丹丹, 吴景龙, 吴云锋, 韩崇选, 2014. 枣疯植原体 *rp* 基因和 *secY* 基因序列分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 42(7): 102–105.]
- Zhang YL, 1990. A Taxonomic Study of Chinese Cicadellidae (Homoptera). Yangling: Tianze Publishing House Press. 20–182. [张雅琳, 1990. 中国叶蝉分类研究(同翅目: 叶蝉科). 杨陵: 天则出版社. 20–182.]