



土壤因子对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

邓彩萍¹, 冯佳康^{1,2}, 王建敏¹, 李欢乐², 乔海莉²,

徐常青², 刘 赛^{2*}

(1. 山西农业大学林学院, 太谷 030801; 2. 中国医学科学院/北京协和医学院/药用植物研究所, 北京 100193)

摘要: 开展枸杞红瘿蚊 *Gephyraulus lycantha* Jiao & Kolesik 羽化生物学特性研究, 探讨不同土壤因子对其出土羽化的影响, 旨在为其有效防控提供理论指导。在室内模拟条件下, 设置不同土壤含水量 (0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%)、土壤基质 (沙土、壤土、沙壤土)、土壤容重 (1.0 g/cm³、1.2 g/cm³、1.4 g/cm³) 和土壤深度 (5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm), 调查枸杞红瘿蚊老熟幼虫的出土羽化率及逐日出土羽化情况。结果显示枸杞红瘿蚊在土壤中原位完成蛹期发育后, 以后期蛹形态钻出土壤表面后完成羽化。不同的土壤因子显著影响枸杞红瘿蚊成虫出土羽化, 土壤含水量为 15% 时, 枸杞红瘿蚊出土羽化率最高为 13.75%, 在次条件下, 沙壤土最适合枸杞红瘿蚊出土羽化。枸杞红瘿蚊仅在 1.0 g/cm³ 容重下可以正常出土羽化, 超过 1.2 g/cm³ 则无法出土羽化; 土壤深度为 5 cm 时枸杞红瘿蚊出土羽化率显著高于其余土壤深度处理。本研究表明枸杞红瘿蚊出土羽化最适宜的条件为土壤含水量为 15%、土壤基质为沙壤土、土壤容重为 1.0 g/cm³、土壤深度为 5 cm。

关键词: 枸杞红瘿蚊; 土壤含水量; 土壤基质; 出土羽化

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

Effect of soil factors on the eclosion of *Gephyraulus lycantha* Jiao & Kolesik

DENG Cai-Ping¹, FENG Jia-Kang^{1,2}, WANG Jian-Min¹, LI Huan-Le², QIAO Hai-Li², XU Chang-Qing², LIU Sai^{2*} (1. College of Forestry Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Beijing 100193, China)

Abstract: The eclosion biological characteristics and effects of soil factors on its emergence and eclosion of *Gephyraulus lycantha* Jiao & Kolesik were researched, with the aim of providing theoretical guidance for effective control of this pest. Under indoor simulation conditions, different soil moisture conditions (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%), soil matrixes (sandy soil,

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFC3501502); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目 (CIFMS 2021-I2M-1-031)

作者简介: 邓彩萍, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 林木病害及害虫生物防治, E-mail: forestdeng99@126.com

*通讯作者 Author for correspondence: 刘赛, 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 药用植物病虫害防治, E-mail: sliu@implad.ac.cn

收稿日期 Received: 2023-11-13; 修回日期 Revision received: 2024-03-17; 接受日期 Accepted: 2024-03-25

loam soil, sandy loam soil), soil bulk densities (1.0 g/cm³, 1.2 g/cm³, 1.4 g/cm³) and soil depths (5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm) were performed to investigate the eclosion rate and daily eclosion rate of fully-grown larvae of *G. lycantha*. The results showed that *G. lycantha* completed its pupal development in situ in the soil, and completed eclosion after the late pupal emerged from the soil surface. Different soil factors significantly affect the emergence and eclosion of *G. lycantha*. When the soil moisture content is 15%, the highest rate of eclosion is 13.75%. Under this condition, sandy loam soil is most suitable for emergence and eclosion. *G. lycantha* can emerge normally only under the bulk density of 1.0 g/cm³, and cannot emerge beyond 1.2 g/cm³. The emergence rate of *G. lycantha* at a soil depth of 5 cm is significantly higher than that of other soil depth treatments. This study indicated that the most suitable conditions for the emergence of *G. lycantha* were soil moisture content of 15%, soil matrix of sandy loam, soil bulk density of 1.0 g/cm³, and soil depth of 5 cm. The results showed that the wolfberry red gall midge completed its pupal development in situ in the soil, and completed eclosion after the late pupal emerged from the soil surface

Key words: *Gephyraulus lycantha*; soil moisture content; soil matrix; eclosion

枸杞红瘿蚊 *Gephyraulus lycantha* Jiao & Kolesik 属双翅目 Diptera 瘿蚊科 Cecidomyiidae, 是目前宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 生产中最为严重的成灾害虫之一 (刘美珍等, 1987; 李建领等, 2017), 在我国西北枸杞主产区均有分布, 其中以宁夏产区为害较重 (徐常青等, 2014)。该虫主要以幼虫为害枸杞花蕾, 幼虫孵化后取食枸杞花蕾致其畸形膨大形成虫瘿, 不能正常开花结果, 危害率即损失率 (李峰等, 2006; 刘赛等, 2020)。在宁夏地区, 枸杞红瘿蚊一般一年发生 6 代, 为害严重时可导致产量损失超过 60%, 甚至绝收, 因其隐蔽为害, 防治难度大, 故又称“枸杞癌症” (吴福珍等, 1982; 刘赛等, 2020)。由于枸杞红瘿蚊成虫寿命极短, 羽化后立即产卵, 幼虫为害后又入土结茧化蛹, 其生活史大部分时间在土壤中 (刘赛等, 2020)。

和枸杞红瘿蚊类似, 很多农业害虫都具有入土化蛹的习性, 该类害虫通常也较难防控, 基于土壤环境对其羽化影响的研究对该类害虫的防控具有重要参考意义 (黄健等, 2010; 唐松等, 2012; 韩云等, 2015)。有研究表明, 土壤基质 (李峰等, 2004; 韩云等, 2015; 任杰群等, 2018)、土壤含水量 (李峰等, 2004; 韩云等, 2015) 和土壤容重 (黄健等, 2010) 等土壤因子显著影响这类昆虫的出土羽化 (张孝羲等, 1980; 张忠和李子忠, 2001; 林进添等, 2005)。例如, 土壤基质方面, 豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 在沙土中的羽化率显著低于壤土与沙壤土 (韩云等, 2015); 地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 在沙土中的羽化率显著低于壤土 (Ahmed *et al.*, 2007)。土壤含水量方面, 极高或极低的土壤含水量均会显著降低入土昆虫的存活率, 如南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* 在相对含水量小于 30% 和超过 90%

的土壤中羽化率不足 7% (张忠和李子忠, 2001); 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 在土壤相对含水量超过 90% 时, 其羽化率仅为 23.3% (张翠翠等, 2023); 豆大蓟马在土壤含水量为 5% 时羽化率仅为 6.67%, 而土壤含水量为 15% 时其羽化率最高达到 52.08% (黄健等, 2010)。

瘿蚊科昆虫也有类似的研究, 例如, 土壤基质方面, 桑椹瘿蚊 *Cotarina* sp. 在沙土中的羽化率显著高于沙壤土 (任杰群等, 2018); 桑橙瘿蚊 *Diplosis mori* 在壤土中的羽化率最高, 沙土次之, 粘土最差 (王敦崇和张辉, 2006)。土壤深度或土壤容重方面, 将刺槐叶瘿蚊 *obolodiplosis robiniae* 覆土 2 cm 后踩实, 即可阻止其羽化 (穆希凤等, 2010); 覆土 6 cm 以上可以阻止大部分桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 的出土羽化 (Hou *et al.*, 2006)。针对瘿蚊科昆虫上述特点, 通过生活史阻断是防控枸杞红瘿蚊的重要措施, 如李峰等 (2004; 2005) 通过漫灌等方式应用于枸杞红瘿蚊等害虫防控; 李峰等 (2006) 通过地面覆盖塑料膜阻止枸杞红瘿蚊老熟幼虫入土化蛹, 在一定程度上减少了枸杞红瘿蚊的为害; 张凡等 (2019) 针对塑料膜极易被枸杞枝刺和农事操作影响而破损的问题, 提出在地表铺设除草布防治枸杞红瘿蚊的方法。

然而, 探究具体土壤因子和枸杞红瘿蚊羽化发生的相关研究较少。基于此, 本团队首先研究枸杞红瘿蚊出土羽化的生物学特性; 然后探索不同土壤因子对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响, 以期进一步做好该虫的预测预报, 并通过调节土壤含水量、覆土、增加土壤容重等措施来阻止枸杞红瘿蚊出土羽化, 达到防控目的; 此外, 也为其他入土化蛹习性的害虫防控提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

2022 年 9 月自宁夏回族自治区中卫市中宁县西环路荒弃枸杞地 (N37°29'18", E105°38'24") 采集枸杞红瘿蚊虫果, 带回室内置于直径 30 cm、孔径 0.4 mm 的网筛中, 待老熟幼虫自然脱离虫果并从网筛落入托盘后, 收集老熟幼虫作为试验虫源, 将老熟幼虫放入装有沙壤土的 5 mL 离心管中, 待老熟幼虫入土后放入冰箱 5°C 恒温贮存。PRX-450D 智能人工气候箱 (宁波赛福实验仪器有限公司); EZ4 E 体视显微镜 (徕卡显微系统 (上海) 贸易有限公司)。

1.2 枸杞红瘿蚊出土羽化习性观察

使用透明亚克力夹层装置, 观察枸杞红瘿蚊的出土羽化行为。装置由两块透明亚克力板 (长 158 mm、宽 108 mm、厚 1 mm) 制成具有 2 mm 空腔的观察装置, 将 15% 含水量的沙

壤土填入空腔，土壤深度 7 cm、厚度 2 mm，将枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入空腔内底部（间距 1 cm 均匀放置），盖亚克力板后用封口膜固定扎紧四周以防成虫逃逸。将观察装置垂直放置，并放入人工气候箱（23°C±1°C，RH 60%±10%，L : D=10 h : 14 h），观察并记录红瘿蚊出土羽化行为，试验处理各设置 10 次重复。布置试验后每天 8:00-9:00 定时观察枸杞红瘿蚊幼虫化蛹情况，化蛹后 24 h 内持续观察其出土行为直至羽化。

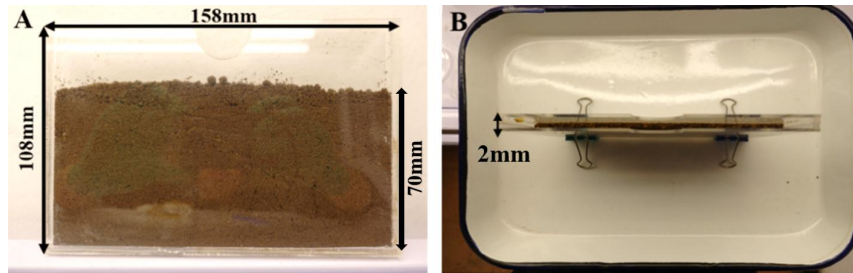


图 1 透明亚克力夹层装置

Fig. 1 Transparent acrylic board laminating device

注：A，正视图；B，俯视图。Note: A, Front view of worm track observation experimental device; B, Top view of worm track observation experimental device.

1.3 土壤因子对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

1.3.1 土壤含水量对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

试验采用的土壤含水量为土壤绝对含水量，为 100 g 烘干壤土中含有的水分克数，土壤含水量 = (含水壤土质量 / 烘干后壤土质量) × 100%。称取 100 g 烘干后的壤土，分别加水 0、5、10、15、20、25、30 mL 配置成土壤含水量为 0 (CK)、5%、10%、15%、20%、25%、30% 共 7 个梯度的土壤含水量。枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入组培瓶（高 11 cm，直径 6.7 cm）底部，将不同含水量供试壤土（0、5%、10%、15%、20%、25%、30%）倒入瓶中覆盖在枸杞红瘿蚊老熟幼虫上，土壤深度为 6.0 cm、容重为 1.0 g/cm³。瓶口使用黄色粘虫板封紧瓶口，置于人工气候箱（23°C±1°C，RH 60%±10%，L : D=10 h : 14 h），每日调查枸杞红瘿蚊出土羽化情况，出土羽化率 (%) = (累计出土头数 / 16) × 100、逐日出土羽化率 (%) = (当日出土头数 / 16) × 100。每组设 10 次重复，每次重复放置 16 头枸杞红瘿蚊。

1.3.2 土壤基质对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

沙土、壤土取自中国医学科学院药用植物研究所药用植物园内（N40°02'4.13"；E116°16'27.43"）的表层土（3~10 cm），过 10 目筛去除杂质后放入 TAISITE WGL-230B 电热鼓风干燥箱（天津市泰斯特仪器有限公司）48 h 烘至恒重。沙壤土为供试沙土和供试壤土按照 1:1 比例的混合物，烘干后备用。土壤含水量选择为枸杞红瘿蚊出土羽化率最高的 15%

土壤含水量,枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入组培瓶底部,将不同基质土壤倒入瓶中,土壤深度为 6.0 cm、土壤容重为 1.0 g/cm³。使用黄色粘虫板封紧瓶口,调查方法、实验条件、计算公式、实验重复与上述一致。

1.3.3 土壤容重对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

土壤选择含水量为 15%的壤土,将枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入组培瓶底部,将 200 g 供试壤土放入瓶中,使用圆形压土器将土壤高度分别压缩为 6.0 cm、5.0 cm、4.28 cm,对应土壤容重为 1.0 g/cm³ (CK)、1.2 g/cm³、1.4 g/cm³,使用黄色粘虫板封紧瓶口,调查方法、实验条件、计算公式、实验重复与上述一致。试验前调查不同土壤容重下枸杞红瘿蚊老熟幼虫活力,显示土壤压缩并不会导致老熟幼虫的直接死亡。

1.3.4 土壤深度对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

土壤选择含水量为 15%的壤土,将枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入塑料杯(高 8 cm,直径 6 cm)底部,将枸杞红瘿蚊老熟幼虫放入塑料杯底部,杯口接圆柱形无底塑料管(高 20 cm,直径 5.5 cm)后装入不同深度的供试壤土。设置 5 cm (CK)、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 共 5 个土壤深度,土壤容重为 1.0 g/cm³。使用黄色粘虫板封紧管口,调查方法、实验条件、计算公式、实验重复与上述一致。

1.4 数据分析

采用 IBM SPSS 19.0 软件进行数据分析,枸杞红瘿蚊在不同土壤含水量、基质、容重、深度中的出土羽化率和逐日出土羽化率采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),并进行多重比较(Duncan's)。

2 结果与分析

2.1 枸杞红瘿蚊出土羽化行为

枸杞红瘿蚊老熟幼虫在土中原位化蛹(图 2-A、B),后期蛹阶段才开始活动出土,出土前较为活跃,在土中扭动调整为头部朝上姿态(图-2C、D),随后依靠蛹体腹部扭动开始向上蠕动,利用头顶角状突顶破土层,挖掘孔道(图 2-D)。枸杞红瘿蚊蛹在出土过程中若遇坚硬物无法突破时则会向旁侧蠕动躲避绕行,绕过后继续向上蠕动,直至蛹头部或整个蛹体钻出土壤表面(图 2-E)。

枸杞红瘿蚊后期蛹钻出土壤后,一开始静伏不动,约 8 min 后开始羽化。羽化时头部首先顶出蛹壳,随后摆动躯体向上(图 2-F),依靠头部与腹部力量,触角最先抽出蛹壳,随后四肢和翅抽出蛹壳,最后腹部抽出蛹壳,留下乳白色蛹壳,整个过程持续约 20 min。刚

羽化的枸杞红瘿蚊成虫翅未完全展开，身体柔弱无飞行能力，短暂静伏展翅后即快速爬行飞走。

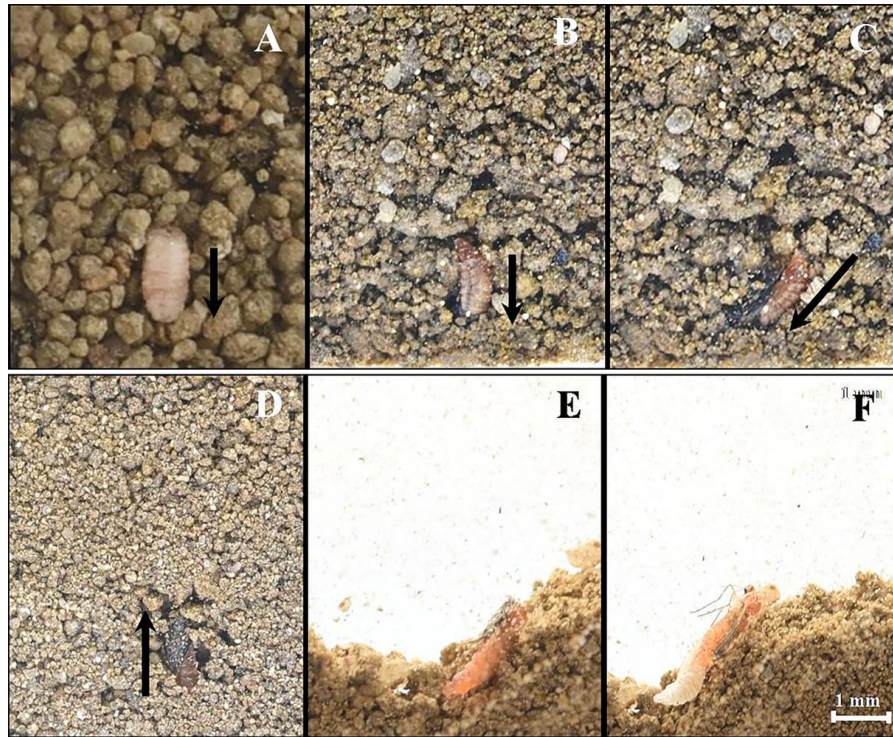


图2 枸杞红瘿蚊后期蛹出土羽化过程

Fig. 2 Unearthed eclosion process of the late pupa of *Gephyraulius lycantha*

注：A，老熟幼虫；B，后期蛹开始活动；C，后期蛹调整姿态；D，后期蛹向上爬动；E，后期蛹出土；F，后期蛹完成羽化。箭头方向表示枸杞红瘿蚊头部方向。Note: A, Mature larva; B, Late pupa began to move; C, Late pupa adjusted posture; D, Late pupa climbed upwards; E, Late pupa completed eclosion. The arrow direction represented the direction of the pupa's head.

2.2 土壤因子对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响

土壤因子显著影响枸杞红瘿蚊的出土羽化，在不同土壤含水量、基质、容重和深度条件下出土羽化率均存在显著差异（图3）。枸杞红瘿蚊出土羽化率随土壤含水量的增加呈先上升后下降趋势（图3-A），以含水量为15%时出土羽化率最高（13.75%）；当含水量为0%时，出土羽化率仅0.62%；当含水量超25%后，无枸杞红瘿蚊出土羽化。枸杞红瘿蚊在纯沙土中出土羽化率最低，仅为4.38%；而在沙壤土中出土羽化率最高，为23.13%；在壤土中出土羽化率居中，为13.13%（图3-B）。土壤容重可显著影响枸杞红瘿蚊出土羽化（图3-C），随着土壤容重升高，枸杞红瘿蚊出土羽化率下降显著，土壤容重为1.0 g/cm³时，其出土羽化率达到最大值为13.88%，当土壤容重为1.2 g/cm³或1.4 g/cm³后，均无枸杞红瘿蚊出土，结果显示较高的土壤容重显著抑制枸杞红瘿蚊出土羽化。枸杞红瘿蚊出土羽化率随土壤深度增

加而呈显著下降趋势，土壤深度为 5 cm 时，出土羽化率最高达 11.13%；土壤深度由 5 cm 增加至 15 cm 后，枸杞红瘿蚊出土羽化率显著下降；而当土壤深度超过 20 cm 后，无枸杞红瘿蚊出土羽化（图 3-D）。

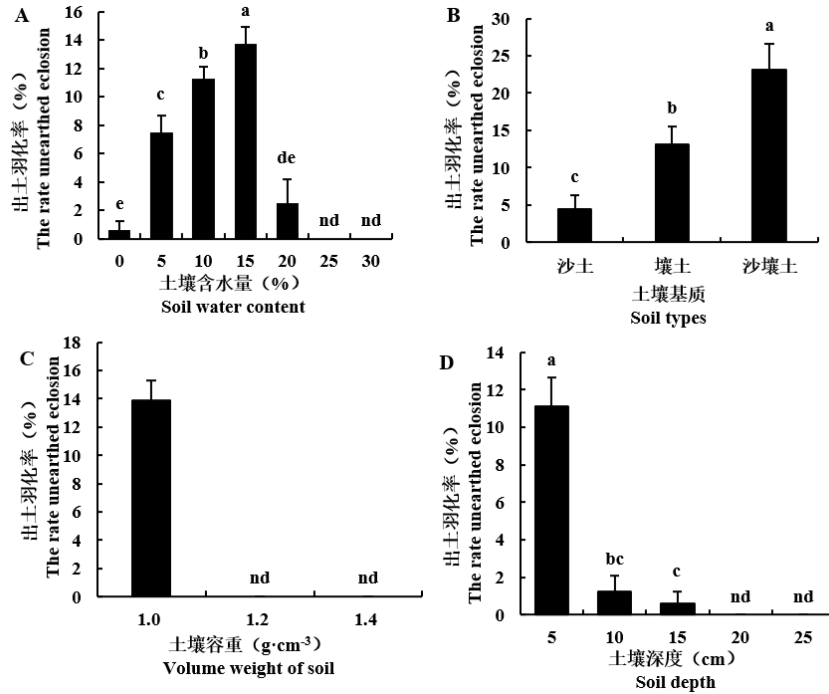


图 3 不同土壤因子对枸杞红瘿蚊出土羽化影响

Fig. 3 The eclosion rate of *Gephyraululus lycantha* in different soil factor

注：nd，无成虫出土。Note: nd, No adults unearthed.

2.3 土壤因子对枸杞红瘿蚊逐日出土羽化率的影响

不同土壤因子对枸杞红瘿蚊逐日出土羽化率均有一定影响，枸杞红瘿蚊羽化始于第 4 天。不同土壤因子条件下，枸杞红瘿蚊羽化高峰无显著变化，均为第 8~10 天（图 4）。枸杞红瘿蚊在 15% 及 20% 含水量条件下最早开始出土羽化，15% 含水量处理下枸杞红瘿蚊逐日出土羽化率显著高于其余含水量处理（图 4-A）。不同土壤基质下，枸杞红瘿蚊均在第 6 天开始出土羽化，第 9 天达到峰值，但沙土基质下枸杞红瘿蚊的逐日出土羽化率明显低于沙壤土及壤土（图 4-B）。不同土壤容重下，仅容重为 1.0 g/cm³ 时见枸杞红瘿蚊正常出土羽化（图 4-C）。土壤深度显著影响枸杞红瘿蚊的羽化，土壤深度为 5 cm 时，枸杞红瘿蚊出土最早，土壤深度为 10 cm 时，第 9 天有极少数红瘿蚊出土，土壤深度为 15 cm 时，仅在第 10 天有极少数枸杞红瘿蚊出土，而当土壤深度超过 20 cm 后，无枸杞红瘿蚊羽化出土（图 4-D）。

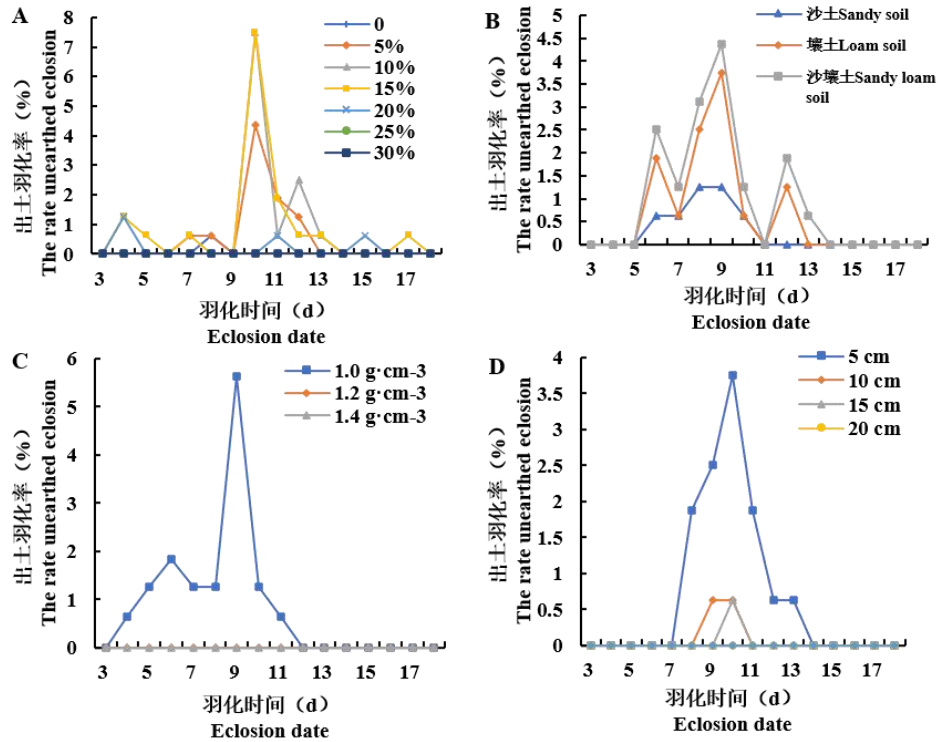


图4 不同土壤因子对枸杞红瘿蚊逐日出土羽化影响

Fig. 4 The daily eclosion rate of *Gephyraululus lycantha* in different soil factor

注：A，不同土壤含水量；B，不同土壤基质；C，不同土壤容重；D，不同土壤深度。Note: A, Different soil moisture content; B, Different soil types; C, Different volume weight of soil; D, Different soil depth.

3 结论与讨论

本研究通过观察枸杞红瘿蚊的出土羽化行为，明确枸杞红瘿蚊在土壤中原位完成蛹期变化后，以后蛹形态钻出土壤后完成羽化，其结果与李峰等（2005）发现枸杞红瘿蚊化蛹羽化时幼虫需上迁至土表，及蛹羽化前仅移动 2.5 cm 的结果有所差异。以往关于瘿蚊类昆虫的出土羽化行为研究较少，主要围绕在植株上化蛹羽化的类群报道较多，如黄燕丽等（2006）研究发现花椒瘿蚊 *Asphondylia zathoyli* 羽化时利用头顶角状突顶破枝条表皮，形成一个小的羽化孔，说明蛹壳比较坚硬，更适用于突破土壤或植物表皮，类似的还有菊瘿蚊 *Diarthronomyia chrysanthemi*（吴波等，2020）、芒果壮铈普瘿蚊 *Procontarinia robusta*（王伟新和王宏毅，2005）等。观察枸杞红瘿蚊出土过程发现，枸杞红瘿蚊蛹出土前活动能力很强，其形态很适合在土中蠕动，因此，我们推测其它需出土羽化的瘿蚊类昆虫也主要以蛹的方式出土羽化。

不同土壤因子对枸杞红瘿蚊羽化具有显著影响，当土壤绝对含水量超过 25%、土壤容

重超过 1.2 g/cm^3 或土壤深度超过 15 cm 以上时, 均可显著降低枸杞红瘿蚊的出土羽化率。极高和极低的土壤含水量下均不利于入土昆虫的羽化, 如草地贪夜蛾 (张翠翠等, 2023), 粘虫 *Mythimna separata* (李立坤等, 2019), 番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (韦昌华和曾玲, 2011), 柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (唐松等, 2012), 粤北桑芽瘿蚊 *Giadomyia* sp. (谭炳安和马秀翠, 1999), 桑椹瘿蚊 (任杰群等, 2018) 等昆虫。枸杞红瘿蚊在 15% 土壤含水量下出土羽化率最高, 过高或过低均不利于其出土羽化, 这与李峰等 (2004) 报道的枸杞红瘿蚊羽化率与土壤含水量的关系基本一致。本研究中枸杞红瘿蚊在 15% 土壤含水量下的出土羽化率并未达到已报道的 53.3% (李峰等, 2004), 推测原因可能与本试验中枸杞红瘿蚊虫源在冰箱中保存时间较久活力下降有关。土壤基质是影响昆虫出土羽化的重要土壤因子, 这与其质地和密度有关 (钟继洪等, 2002), 沙土的水稳定性和团聚性较差, 但孔隙性较高, 壤土与之相反, 沙壤土既有壤土的水稳定性和团聚性又有沙土的透气性 (钟继洪等, 2002; 韦昌华和曾玲, 2011)。本研究发现枸杞红瘿蚊出土羽化率在沙土中羽化率最低, 而在沙壤土中最高, 与李峰等 (2004) 研究结果基本一致, 而且还有许多昆虫也表现出类似现象, 如豆大蓟马在沙土中羽化率显著低于壤土 (韩云等, 2015), 蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* 在细沙中羽化率显著低于壤土 (唐良德等, 2015)。

土壤深度可显著影响入土昆虫的羽化, 入土太浅容易导致脱水死亡, 而入土太深则增加了出土难度, 如卿薇等 (2016) 等发现土壤表面的春尺蠖蛹因脱水死亡而无法羽化, 而当土壤深度超过 30 cm 后, 春尺蠖无法顺利出土羽化; 唐松等 (2012) 发现当土壤深度超过 10 cm 后柑橘大实蝇出土羽化率显著下降。本研究显示枸杞红瘿蚊在土壤深度为 5 cm 时其出土羽化率最高, 且随着土壤深度的增加而下降, 当土壤深度超过 20 cm 后, 红瘿蚊无法出土羽化, 这与已有研究显示枸杞红瘿蚊主要分布于 3 cm 土层的结果相符 (李峰等, 2005; 李建领等, 2017; 刘赛等, 2020)。本研究调查发现 20 cm 土壤中有枸杞红瘿蚊蛹或成虫在土层中死亡, 但无法找到所有未羽化瘿蚊停留土层位置, 后续将改进观察方式或选择不同颜色土壤等以利于观察红瘿蚊位置。土壤容重与土壤基质、土壤孔隙度等密切相关 (张国红等, 2006; 刘吉福等, 2013), 表层土壤通常有机质含量高, 团聚体较多, 孔隙度较大, 土壤容重通常较低, 而土壤容重通常随土壤深度上升而升高 (邹俊等, 2018)。本文研究中只有土壤容重为 1.0 g/cm^3 状态下有红瘿蚊出土羽化, 当土壤容重超过 1.2 g/cm^3 时, 红瘿蚊无法出土羽化。在宁夏中宁枸杞产区, 农民常用秋翻春灌的方式, 越冬幼虫出土前灌水, 使土壤板结, 降低土表孔隙度, 提高土壤容重可直接阻止 40% 以上红瘿蚊出土羽化 (李峰等, 2004)。

综合枸杞红瘿蚊出土羽化行为, 以及不同土壤因子下的出土羽化情况, 在实际生产中可

采用不同的物理手段改变土壤因子而达到防治枸杞红瘿蚊的目的,如在枸杞红瘿蚊越冬幼虫出土羽化之前灌水,提高土壤含水量破坏红瘿蚊越冬环境;行间挖沟施肥时将土壤均匀压在枸杞树冠下红瘿蚊较多的区域,增加土壤深度阻止红瘿蚊出土;或在红瘿蚊出土前压实土壤,提高土壤容重从而防止红瘿蚊出土羽化。本研究较为细致的记录了土壤基质和土壤含水量等物理特性对枸杞红瘿蚊出土羽化的影响,关于土壤 pH 和土壤有机质等化学特性对枸杞红瘿蚊的影响有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Ahmed A, Soltani N, Kellouche A. Effects of the soil texture and the burying depth of the larvae on some biological parameters of *Ceratitis capitata* (Diptera: Trypetidae) [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2007, 2 (3): 105-111.
- Han Y, Tang LD, Fu BL, *et al.* The influences of different soil moisture and type on pupation and eclosion of *Megalurothrips usitatus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 710-714. [韩云, 唐良德, 付步礼, 等. 土壤含水量和土壤类型对豆大蓟马蛹期发育和羽化的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 710-714]
- Hou B, Xie Q, Zhang R. Depth of pupation and survival of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) pupae at selected soil moistures [J]. *Applied Entomology & Zoology*, 2006, 41 (3): 515-520.
- Huang J, Pu ZC, Zhang SQ, *et al.* Effect of soil bulk density on eggs of *Helicoverpa armigera* occurrence [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (22): 277-281. [黄健, 普宗朝, 张山清, 等. 土壤容重对棉铃虫卵发生的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (22): 277-281]
- Huang YL, Li Q, Li ZY, *et al.* Study on biological features and population dynamics of *Asphondylia zathoyli* [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2006, 21 (3): 307-310. [黄燕丽, 李强, 李正跃, 等. 花椒瘿蚊生物学特性及种群动态研究 [J]. 云南农业大学学报, 2006, 21 (3): 307-310]
- Li F, Sun HX, Li SX, *et al.* Operation rules of cover isolation and control technology of *Jaapiella* sp. [J]. *Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2006, 4: 18. [李峰, 孙海霞, 李绍先, 等. 枸杞红瘿蚊覆盖隔离防治技术操作规程 [J]. 宁夏农林科技, 2006, 4: 18]
- Li F, Sun HX, Wu JX. Analyzation on *Jaapiella* sp. Bury, unearthed and the activity law in the soil [J]. *Forestry Science & Technology*, 2005, 30 (5): 30-32. [李峰, 孙海霞, 仵均祥. 枸杞红瘿蚊入土、出土及其在土壤中活动规律 [J]. 林业科技, 2005, 30 (5): 30-32]
- Li F, Wang Y, Zhang ZS, *et al.* Preliminary report on the effect of soil type and water content on the emergence rate of gall midge *Jaapiella* sp. [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2004, 5: 48-49. [李峰, 王英, 张宗山, 等. 土壤质地与含水量对枸杞红瘿蚊羽化率的影响初步研究 [J]. 甘肃农业科技, 2004, 5: 48-49]
- Li JL, Liu S, Xu CQ, *et al.* Population dynamics and control strategies of major pests of wolfberry, *Lycium barbarum* [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2017, 19 (11): 1599-1604. [李建领, 刘赛, 徐常青, 等. 宁夏枸杞主要害虫发生规律与防治策略 [J]. 中国现

- 代中药, 2017, 19 (11): 1599-1604]
- Li LK, Wang XH, Liu JW, *et al.* Effect of soil moisture on the pupation and emergence of the armyworm, *Mythimna separata* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (6): 1324-1330. [李立坤, 王晓辉, 刘佳文, 等. 土壤湿度对粘虫入土化蛹和羽化出土的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (6): 1324-1330]
- Lin JT, Liang GW, Zeng L, *et al.* Influence of soil moisture on the survival of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) pupa [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 416-418. [林进添, 梁广文, 曾玲, 等. 土壤含水量对桔小实蝇蛹期存活的影响 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 416-418]
- Liu JF, Gao YF. Analysis on correlation of physical and mechanical indices of soft clay in Guangdong [J]. *Subgrade Engineering*, 2013, 2: 47-52. [刘吉福, 高玉峰. 广东软粘土物理力学指标相关性分析 [J]. 路基工程, 2013, 2: 47-52]
- Liu MZ, Zhao YH, Zhang ZS. Preliminary report on the study of *Jaapiella* sp. [J]. *Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology*, 1987, 4: 25-28. [刘美珍, 赵怡红, 张宗山. 枸杞瘿蚊研究初报 [J]. 宁夏农林科技, 1987, 4: 25-28]
- Liu S, Lei JW, Chen J, *et al.* Biological characteristics and occurrence patterns of the gall midge *Jaapiella* sp. in Zhongning County, Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (2): 446-454. [刘赛, 雷捷惟, 陈君, 等. 宁夏回族自治区中宁县枸杞红瘿蚊生物学特性及发生规律 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (2): 446-454]
- Mu XF, Sun JS, Lu WF, *et al.* Bionomics and control of *Obolodiplosis robiniae* in Beijing [J]. *Forest Pest and Disease*, 2010, 29 (5): 15-18. [穆希凤, 孙静双, 卢文锋, 等. 北京地区刺槐叶瘿蚊生物学特性及防治 [J]. 中国森林病虫, 2010, 29 (5): 15-18]
- Qing W, ADiLi · STE, Yan WB. Bionomics of *Apocheima cinerarius* Erschoff [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (1): 174-184. [卿薇, 阿地力·沙塔尔, 闫文兵. 春尺蠖生物学特性研究 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (1): 174-184]
- Ren JQ, Chen L, Yang Y, *et al.* Preliminary report on the effect of soil type and water content on the emergence rate of *Cotarina* sp. [J]. *South China Agriculture*, 2018, 12 (19): 56-58. [任杰群, 陈力, 杨义, 等. 土壤类型及含水量对桑椹瘿蚊羽化率的影响研究初报 [J]. 南方农业, 2018, 12 (19): 56-58]
- Tan BA, Ma XC. Effects of temperature and humidity on pupation and eclosion of *Giadomyia* sp. [J]. *Acta Sericologica Sinica*, 1999, 25 (1): 62-64. [谭炳安, 马秀翠. 温湿度对粤北桑芽瘿蚊 (*Giadomyia* sp.) 化蛹羽化的影响 [J]. 蚕业科学, 1999, 25 (1): 62-64]
- Tang LD, Zhao HY, Qin S. Biological characteristics of *Spalangia endius* and effects of soil on its parasitic capacity [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (4): 467-472. [唐良德, 赵海燕, 秦双. 蝇蛹俑小蜂生物学特性及土壤因子对其寄生的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (4): 467-472]
- Tang S, Gong QT, Dou W, *et al.* Effects of temperature, soil humidity and depth of buried pupae on adult emergence of *Bactrocera minax* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2012, 39 (2): 137-141. [唐松, 宫庆涛, 豆威, 等. 温度、土壤含水量和埋蛹深度对柑橘大实蝇羽化的影响 [J]. 植物保护学报, 2012, 39 (2): 137-141]
- Wang DC, Zhang H. Experiment on the relationship between soil water content and the emergence of gall *Diplosis mori* [J]. *Jiangsu*

- Sericulture*, 2006, 3: 48-50. [王敦崇, 张辉. 土壤含水量与桑橙瘿蚊羽化关系的试验 [J]. *江苏蚕业*, 2006, 3: 48-50]
- Wang WX, Wang HY. A preliminary report on biological characters of *Procontarinia robusta* in mango [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 20 (2): 74-76. [王伟新, 王宏毅. 芒果壮蛱普瘿蚊生物学特性初报 [J]. *福建农业学报*, 2005, 20 (2): 74-76]
- Wei CH, Zeng L. Effect of different soil water content on pupa of *Bactrocera correcta* (Bezzi) [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38 (9): 65-67. [韦昌华, 曾玲. 土壤含水量对番石榴实蝇蛹羽化的影响 [J]. *广东农业科学*, 2011, 38 (9): 65-67]
- Wu B, Zhang ZQ, Huang WX. Study on biological characteristics and control techniques of *Rhopalomyia longicauda* [J]. *Modern Agriculture*, 2020, 6: 40-41. [吴波, 张志强, 黄文祥. 药菊花瘿蚊生物学特性与防治技术研究 [J]. *现代农业*, 2020, 6: 40-41]
- Wu FZ, Gao ZN, Guo YY. Atlas of Agricultural Insects in Ningxia [M]. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 1982: 56-57. [吴福桢, 高兆宁, 郭予元. 宁夏农业昆虫图志 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1982: 56-57]
- Xu CQ, Liu S, Xu R, et al. Investigation of production status in major wolfberry producing areas of China and some suggestions [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2014, 39 (11): 1979-1984. [徐常青, 刘赛, 徐荣, 等. 我国枸杞主产区生产现状调研及建议 [J]. *中国中药杂志*, 2014, 39 (11): 1979-1984]
- Zhang CC, Chen QD, Chen S, et al. Effects of soil depth and soil water content on the emergence of *Spodoptera frugiperda* [J]. *China Plant Protection*, 2023, 43 (3): 41-45. [张翠翠, 陈庆东, 陈松, 等. 入土深度和土壤含水量对草地贪夜蛾羽化的影响 [J]. *中国植保导刊*, 2023, 43(3): 41-45]
- Zhang F, Li JL, Liu S, et al. Application of weeding cloth to control wolfberry gall midge, *Jaapiella* sp. [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2019, 21 (7): 937-940. [张凡, 李建领, 刘赛, 等. 应用除草布防治枸杞红瘿蚊效果评价 [J]. *中国现代中药*, 2019, 21 (7): 937-940]
- Zhang GH, Zhang ZX, Huang YN, et al. Effect of compaction on soil properties and soil enzyme activities [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (6): 1094-1097. [张国红, 张振贤, 黄延楠, 等. 土壤紧实程度对其某些相关理化性状和土壤酶活性的影响 [J]. *土壤通报*, 2006, 37 (6): 1094-1097]
- Zhang XX, Wang YC, Geng JG. Study on rampant factors of *Helicoverpa armigera* - relationship between soil water content and pupation and emergence [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1980, 1: 9-13. [张孝羲, 王荫长, 耿济国. 棉铃虫猖獗因子研究——土壤含水量与化蛹、羽化的关系 [J]. *昆虫知识*, 1980, 1: 9-13]
- Zhang Z, Li ZZ. Study on the effects of the soil relative moisture content and the soil soaking on pupal development of *Liriomyza huidobrensis* [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2001, 20 (6): 422-425. [张忠, 李子忠. 土壤相对含水量及浸水时间对南美斑潜蝇蛹发育的影响 [J]. *山地农业生物学报*, 2001, 20 (6): 422-425]
- Zhong JH, Tang SY, Tan J. Structure characteristics of red soils and their effective factors [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2002, 11 (1): 61-65. [钟继洪, 唐淑英, 谭军. 广东红壤类土壤结构特征及其影响因素 [J]. *土壤与环境*, 2002, 11 (1): 61-65]
- Zou J, Liu L, Guo QS. Effects of soil bulk density on growth physiology and quality of *Glechoma longituba* [J]. *China Journal of*

Chinese Materia Medica, 2018, 43 (19): 3848-3854. [邹俊, 刘丽, 郭巧生. 土壤容重对活血丹生长、生理及药材品质的影响 [J].

中国中药杂志, 2018, 43 (19): 3848-3854]