

干旱胁迫下木醋液对“大豆-大豆蚜-异色瓢虫” 三级营养系统的影响*

李俊鹏¹, 付雪^{1,2}, 张宏钰¹, 叶乐夫¹

1. 东北农业大学植物保护学院, 黑龙江 哈尔滨 150030

2. 黑龙江大学现代农业与生态环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150080

摘要: 大豆(*Glycine max*)生长发育在生物(蚜虫)和非生物因子(干旱)胁迫下, 能否通过施用木醋液复合生物制剂增加作物抗逆性, 实现作物稳定生产对于应对未来气候变化给农业生产带来的挑战具有重要意义。本研究以干旱与木醋液为处理因子, 以“大豆-蚜虫-瓢虫”三级营养系统为研究对象, 共设置18个处理, 测定大豆生物量、根冠比、大豆蚜(*Aphis glycines*)种群动态、异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)捕食量、发育历期, 以及大豆、大豆蚜、异色瓢虫的谷胱甘肽-S-转移酶(GST)和过氧化氢酶(CAT)活性等指标, 其主要结果如下: (1) 轻度与重度干旱胁迫下大豆生物量(-29.6%, -66.6%)显著降低, 根冠比(15.2%, 37.5%)显著升高; 仅有蚜虫(缺少天敌)时, 轻度干旱胁迫下喷施木醋液相对于未施木醋液组大豆生物量(16.2%)显著增高; 轻度干旱下, 大豆GST活性显著升高(117.5%), 喷施木醋液后大豆GST(46.5%)和CAT(13.3%)活性均显著升高; 重度干旱胁迫下大豆GST(-78.0%)、POD(-63.9%)和CAT(-81.4%)活性均显著降低。(2) 轻度与重度干旱胁迫下大豆蚜种群数量(-12.9%, -22.1%)显著降低; 轻度干旱胁迫与重度干旱胁迫下, 施用木醋液相对于不用木醋液大豆蚜种群数量分别显著降低(-16.9%, -20.0%); 重度干旱胁迫下大豆蚜GST(149.6%)和CAT(48.3%)活性均显著升高; 轻度干旱胁迫下喷施木醋液大豆蚜GST(77.8%)和CAT(52.4%)活性显著上升。(3) 重度干旱胁迫下, 异色瓢虫成虫日捕食量显著降低(-16.6%), 施用木醋液后异色瓢虫成虫日捕食量显著增高(8.7%); 轻度干旱与重度干旱胁迫下相对于正常浇水组异色瓢虫幼虫发育历期显著延长(4.9%, 10.9%), 轻度干旱木醋液处理与重度干旱下木醋液处理蚜虫饲喂瓢虫幼虫, 其发育历期(-4.2%, -5.3%)均显著缩短; 重度干旱胁迫下异色瓢虫GST(43.2%)和CAT(156.5%)活性均显著升高。因此, 干旱胁迫会抑制大豆生长发育, 而喷施木醋液能促进大豆生长发育, 提高大豆的抗旱性, 同时对直接防治大豆蚜和提高天敌对大豆蚜的防治效果有一定的积极作用。

关键词: 干旱胁迫; 木醋液; 三级营养系统; 生物制剂; 保护酶

中图分类号: S435.29 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2024)05-0090-09

Effects of wood vinegar on the tertiary nutrition system of “*Glycine max*-*Aphis glycines*-*Harmonia axyridis*” under drought stress

LI Junpeng¹, FU Xue^{1,2}, ZHANG Hongyu¹, YE Lefu¹

1. College of Plant Protection of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. College of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, China

Abstract: Under the stress of biological (aphid) and abiotic factors (drought), whether the application of wood vinegar compound biological agents can increase crop resistance and achieve stable crop

* 收稿日期: 2024-05-07

录用日期: 2024-05-23

网络首发日期: 2024-07-22

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费(2022-KYYWF-1068)

作者简介: 李俊鹏(1997年生), 男; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: lijunpeng0815@163.com

通信作者: 叶乐夫(1975年生), 男; 研究方向: 昆虫生态学; E-mail: yelefuneau@foxmail.com

全文阅读



ZR20240144

production is of great significance for coping with the challenges brought by future climate change to agricultural production. In this study, drought and wood vinegar were used as treatment factors, and the “*Glycine max*-*Aphis Glycines*-*Harmonia Axyridis*” three-level nutrition system was used as the research object, with a total of 18 treatments. Soybean biomass, root-shoot ratio, population dynamics of *A.glycines*, predation of *H.axyridis*, developmental duration, and activities of glutathione-S-transferase (GST) and catalase (CAT) in soybean, *A.glycines* and *H.axyridis* were measured. The main results are as follows: (1) Under mild and severe drought stress, soybean biomass (-29.6%, -66.6%) decreased significantly, and root shoot ratio (15.2%, 37.5%) increased significantly. When there were only aphids (lack of natural enemies), spraying wood vinegar liquid phase under mild drought stress significantly increased the biomass of soybean in the group without wood vinegar (16.2%). Under mild drought, the GST activity of soybean increased significantly (117.5%), and the GST (46.5%) and CAT (13.3%) activities of soybean increased significantly after spraying wood vinegar. However, the activities of GST (-78.0%), POD (-63.9%) and CAT (-81.4%) were significantly decreased under severe drought stress. (2) The population of *A.glycines* (-12.9%, -22.1%) decreased significantly under mild and severe drought stress. Under mild drought stress and severe drought stress, the application of wood vinegar liquid phase significantly reduced the population of soybean aphids without wood vinegar (-16.9%, -20.0%). The activities of GST (149.6%) and CAT (48.3%) were significantly increased under severe drought stress. Under mild drought stress, the activities of GST (77.8%) and CAT (52.4%) of *A.glycines* sprayed with wood vinegar increased significantly. (3) Under severe drought stress, the daily predation of *H.axyridis* adults decreased significantly (-16.6%), and the daily predation of *H.axyridis* adults increased significantly after the application of wood vinegar (8.7%). The developmental duration of *H.axyridis* larvae under mild drought and severe drought stress was significantly longer than that under normal watering group (4.9%, 10.9%). The developmental duration (-4.2%, -5.3%) of *H.axyridis* larvae fed with wood vinegar treatment under mild drought and wood vinegar treatment under severe drought was significantly shortened. The activities of GST (43.2%) and CAT (156.5%) of *H.axyridis* were significantly increased under severe drought stress. Therefore, drought stress will inhibit the growth and development of soybean, while spraying wood vinegar can promote the growth and development of soybean, improve the drought resistance of soybean, and have a positive effect on the direct control of soybean aphids and the improvement of the control effect of natural enemies on *A.glycines*.

Key words: drought stress; wood vinegar; three-level nutrition system; biological agents; protective enzymes

植物在干旱胁迫下出现细胞膜破坏、色素含量降低, 光合系统会受影响, 渗透势会发生改变(李琬, 2019)。研究发现, 干旱胁迫改变了大豆的农艺性状, 干旱处理下大豆株高、叶面积、根长、生物量、主茎节数、百粒质量及产量均随干旱程度的增加而不断下降(霍建玲等, 2018; Song et al., 2022; 王兴荣等, 2023; 王敏等, 2012)。土壤含水量会影响植物根冠比, 在大豆不同生长时期控水, 随着土壤含水量的降低根冠比增大(阎春娟等, 2012)。

大豆(*Glycine max*)所含的营养元素种类非常广泛, 同时其含量也特别丰富, 其中包括蛋白质、

碳水化合物、脂类物质、矿物质等, 营养价值极高, 在多个生产领域均有极高的价值(Wille et al., 2017; Wang et al., 2019; Sun et al., 2020; Yan et al., 2016)。大豆种植过程中会经历多种病虫害的困扰, 其中大豆蚜(*Aphis glycines*)的危害较为常见, 多聚集在大豆嫩茎, 嫩叶部位吸食大豆植株汁液, 造成叶片卷缩、发黄、根系发育不良、植株矮小等不利影响(Beckendorf et al., 2008; Wu et al., 2009; 许国庆等, 2011; 王兴亚等, 2011a)。此外, 有翅大豆蚜可作为多种病毒病的传播载体, 如大豆花叶病毒(SMV)(王春荣等, 2005)。

植物在受到生物(虫害)或非生物逆境胁迫(干旱)时,其体内多种生理生化反应受到影响。在干旱胁迫下,植物的叶片水势与相对水含量都会逐渐减低,保卫细胞失水,气孔会关闭,从而导致 CO_2 不能顺利进入叶片,致使光合速率降低。相关研究表明多种植物在短期干旱胁迫下CAT活性会增高,但随胁迫时长不断增加而逐渐下降(胡义等,2015)。受大豆蚜危害后的大豆叶片中POD及CAT活性均增强(王兴亚等,2011a)。

木醋液是由木材加工工业中的木材、树枝、竹子、农作物秸秆、果壳和其他生物材料经热解后冷凝而获得的酸性红棕色水性液体。木醋液可作为植物生长调节剂,促进植物生长发育,同时也可提高植物抗逆性。干旱胁迫下喷施木醋液可使烤烟抵御干旱的能力有所增强(周建云等,2022)。研究表明木醋液能有效促进赤豆种子萌发及幼苗的生长发育(杨帆等,2018)。

植物与昆虫之间存在复杂的相互作用。为适应环境及抵御害虫的危害,植物形成了多种防御机制,既可通过自身生成毒性物质毒害植食性昆虫又可通过吸引植食性昆虫天敌的方式防御植食性昆虫(Mithofer et al.,2012)。植食性昆虫同样也形成了反防御措施,适应植物的防御措施。植物-害虫-天敌系统是个有机的整体,对农业的可持续发展有着重大意义。本试验通过研究干旱胁迫下木醋液对其三级营养系统的影响,可为农业可持续发展提供一定的参考意义。

1 材料与方法

1.1 供试植物与昆虫

大豆种子为中黄13号,大豆蚜与异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)均为实验室内饲养的敏感种群,饲养条件:温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度(70 ± 5)%,光周期14L:10D。

1.2 供试药剂

木醋液(哈尔滨五常市润农科技有限责任公司),考马斯亮蓝法蛋白含量/谷胱甘肽S-转移酶(GST)/过氧化氢酶(CAT)活性测定试剂盒/(江苏艾迪生生物科技有限公司)。

1.3 供试仪器

电子天平(XJ220A-SCS,上海天美天平仪器有限公司);高速冷冻离心机(MIKRO 220R,上海安亭科学仪器厂);多功能酶标仪(INFINITE-200

PRO,瑞士TECAN公司);游标卡尺(MNT-150,上海美奈特实业有限公司);植物培养架(ZPY-P5,哈尔滨海洲科技有限责任公司);高压灭菌锅(HVE-50,日本Hirayama manufacturing公司)。

1.4 实验方法

1.4.1 实验室建立“大豆-蚜虫-瓢虫”三级营养系统 试验共分为18个处理,具体见图1。

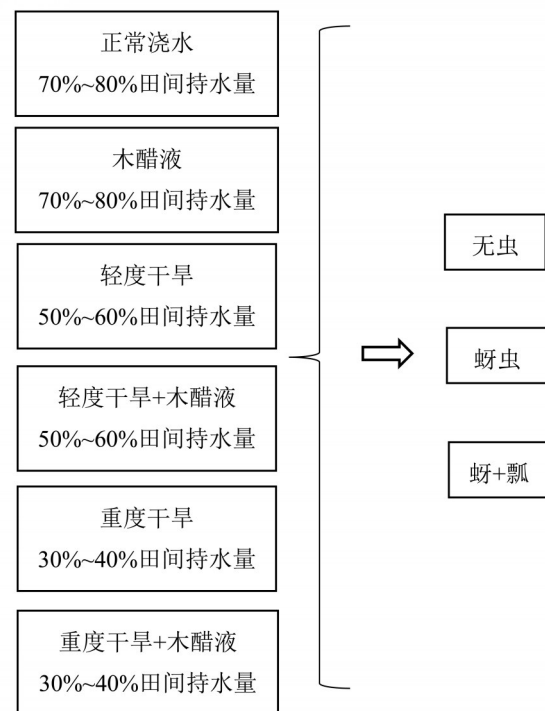


图1 试验处理

Fig. 1 Test treatment

选用直径15 cm,深度20 cm花盆,每盆装土1.5 kg,播5粒颗粒饱满,大小基本相同的大豆种子,第1片真叶展开后每盆留1株长势较好且各处理间较一致的大豆苗,在第1片三出复叶完全展开时,每株大豆上接20头大豆蚜无翅雌成蚜(羽化24 h内),待蚜虫开始稳定取食后,需要木醋液处理组的用稀释300倍的木醋液2 mL进行叶面喷施,其余处理喷施等体积清水,每5 d喷施一次,需要接种瓢虫的处理组,在接种蚜虫10 d后每株大豆接种1头异色瓢虫成虫(羽化24 h内)。蚜虫接种后开始控水,每日18:00利用称重法,补足所耗水分,控制各处理水分在对应范围内(轻度干旱:50%~60%田间持水量;重度干旱:30%~40%田间持水量),共计胁迫30 d。为防止试验过程中蚜虫与瓢虫逃逸,所有处理组均有笼罩。

1.4.2 大豆生物量与根冠比测定 处理30 d后,将各处理大豆拔出,用清水小心冲去多余泥土,

测定大豆根部生物量和地上部分生物量。

1.4.3 大豆蚜种群动态测定 在大豆第1片三出复叶完全展开时,用毛刷小心将大豆蚜成蚜(羽化24 h内)接种在各处理大豆叶片上,保证所有大豆蚜都能稳定取食,每株大豆接种20头成蚜,每48 h观察各株大豆有翅蚜及总大豆蚜数量,连续观察5次,历时10 d。

1.4.4 异色瓢虫成虫捕食量测定 在9 cm的培养皿中放入对应处理的大豆叶片,人工挑取各处理大豆植株上4龄若蚜180头置于大豆叶片上,每皿放入一头饥饿24 h的异色瓢虫雌成虫,分别记录1及24 h后培养皿内蚜虫数量,计算异色瓢虫1、24 h捕食量,每个处理10次重复。

1.4.5 异色瓢虫幼虫发育历期测定 培养皿内放入1头刚孵化的1龄异色瓢虫,依据所处龄期每日放入各处理不同数量的蚜虫,1~4龄分别放入40、70、100、160头,每个处理10次重复,于每天8:00、12:00、16:00、20:00观察异色瓢虫虫龄变化情况,记录各龄期发育时长。

1.4.6 大豆、大豆蚜及异色瓢虫保护酶活性测定 大豆农艺性状观察结束时,取各处理大豆叶片、大豆蚜及异色瓢虫分别用不同酶活试剂盒进行酶活测定,每个处理3次重复。

1.5 数据处理

用IBM SPSS Statistics 26软件对所得实验数据进行方差分析(LSD法),分析各处理间显著性差异($P<0.05$),采用Microsoft Office Excel 2016软件完成作图。

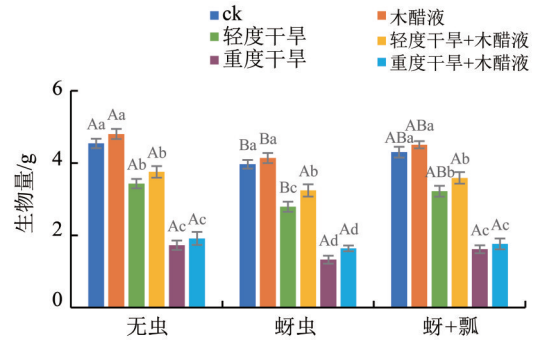
2 结果

2.1 不同处理对大豆生物量与根冠比的影响

不同处理下大豆植株生物量的变化情况如图2所示,轻度干旱处理组与重度干旱处理组无虫、蚜虫、既有蚜虫又有瓢虫的大豆植株生物量均显著低于对照组($P<0.001$, -24.5% ~ -66.6%)。仅有蚜虫条件下,轻度干旱木醋液处理组生物量显著高于轻度干旱处理组($P=0.025$, 16.2%)。对照组、木醋液与轻度干旱处理组有蚜大豆生物量较无虫大豆生物量显著降低($P=0.010$, $P=0.003$, $P=0.008$)。

不同处理下大豆植株根冠比的变化情况如图3所示,根冠比随干旱程度加深而增高。在无虫和既有蚜虫又有瓢虫时,轻度干旱处理组($P=0.006$, $P=0.004$, 13.1%, 15.2%)与重度干旱处理组($P<0.001$, 27.7%, 22.3%)大豆根冠比显著高于对照

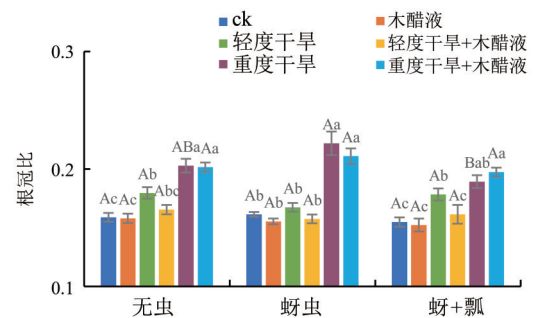
组。既有蚜虫又有瓢虫条件下,轻度干旱木醋液处理组根冠比显著低于轻度干旱处理组($P=0.032$, -9.5%)。



不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异($P<0.05$);不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异($P<0.05$)。

图2 不同处理大豆植株生物量

Fig. 2 Soybean plant biomass under different treatments



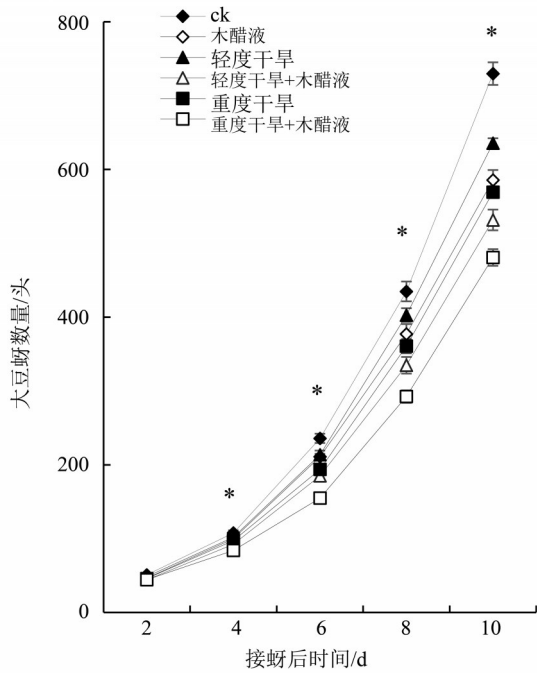
不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异;不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异。

图3 不同处理大豆植株根冠比

Fig. 3 Root-shoot ratio of soybean plant under different treatments

2.2 不同处理对大豆蚜种群动态的影响

不同处理下大豆植株上大豆蚜种群动态变化如图4所示,大豆蚜数量快速增长。木醋液处理组大豆蚜数量在接蚜第6天后显著低于对照组,并在第10天较对照组降低最多($P<0.001$, -19.8%)。轻度干旱木醋液处理组大豆蚜数量在接蚜第4天开始显著低于轻度干旱处理组,并在第8天降低最多($P<0.001$, -16.9%)。重度干旱木醋液处理组大豆蚜数量在接蚜后第4天开始显著低于重度干旱处理组,并在第6天时降低最多($P<0.001$, -20.0%)。轻度干旱处理组在接蚜后第10天大豆蚜数量较对照组显著降低($P<0.001$, -12.9%),重度干旱处理



*代表不同处理间有显著差异。

图 4 不同处理对大豆蚜数量的影响
Fig. 4 Effects of different treatments on the number of *A. glycines*

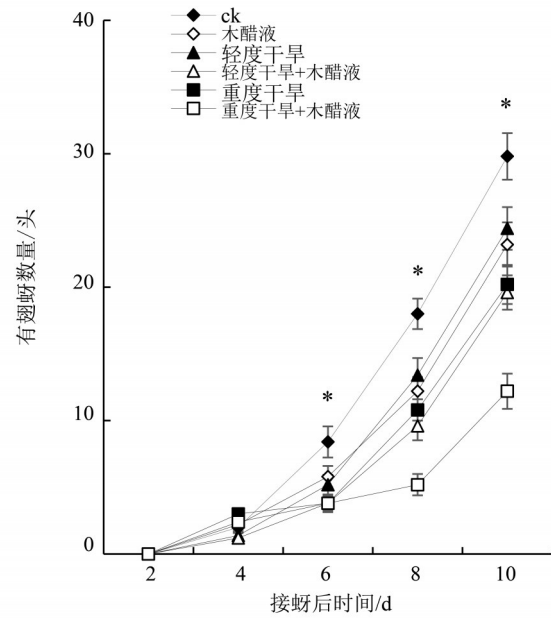
组在接蚜后第 6 和第 10 天大豆蚜数量显著低于对照组 ($P < 0.001$, -22.1%)。

不同处理对大豆植株上有翅蚜数量的影响如图 5 所示, 接蚜后起始几天有翅蚜没有出现, 中后期有翅蚜数量不断增高。木醋液处理组在接蚜后第 6 天开始有翅蚜数量显著低于对照组, 并在第 8 天时降低最多 ($P = 0.001$, -34.3%)。轻度干旱木醋液处理组与重度干旱处理组有翅蚜数量都在接蚜后第 8 天开始分别较轻度干旱和重度干旱处理组显著降低, 且降低最多 ($P = 0.002$, $P < 0.001$, -28.8%, -52.6%)。轻度干旱与重度干旱处理组均在接蚜后第 6 天开始有翅蚜数量较对照组显著降低, 且降低最多 ($P < 0.001$, -38.1%, -54.8%)。

2.3 不同处理对异色瓢虫成虫捕食量与幼虫发育历期的影响

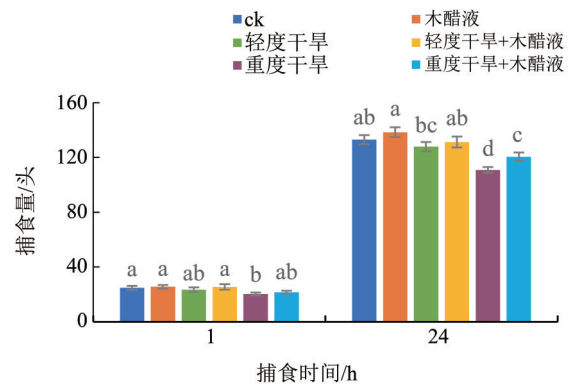
不同处理异色瓢虫 1、24 h 捕食量如图 6 所示, 饲喂重度干旱处理组大豆蚜的异色瓢虫 1 h 捕食量显著低于饲喂对照组 ($P = 0.040$, -17.7%), 饲喂重度干旱木醋液处理组大豆蚜的异色瓢虫 24 h 捕食量均显著高于饲喂重度干旱处理组 ($P = 0.043$, 8.7%), 饲喂重度干旱处理的大豆蚜异色瓢虫 24 h 捕食量显著低于对照组 ($P < 0.001$, -16.6%)。

饲喂不同处理的蚜虫的异色瓢虫发育历期如



*代表不同处理间有显著差异。

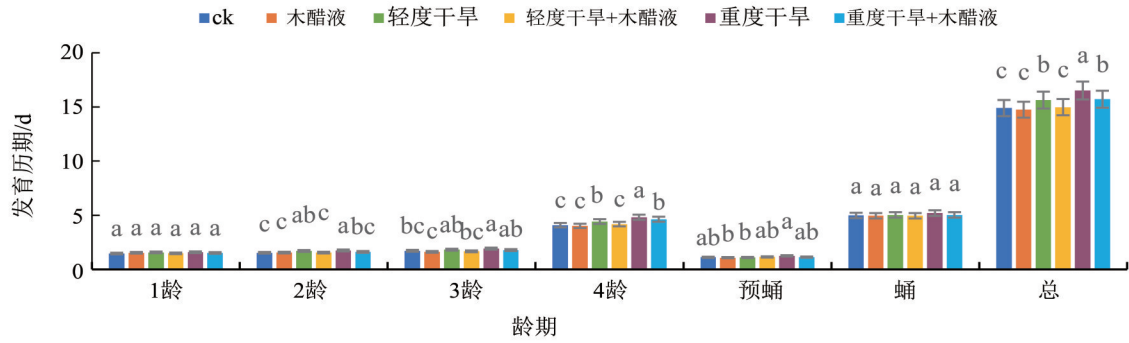
图 5 不同处理对大豆蚜有翅蚜数量的影响
Fig. 5 Effects of different treatments on the number of alate aphids of *A. glycines*



不同小写字母代表不同处理间有显著差异。

图 6 不同处理异色瓢虫捕食量
Fig. 6 Predatory amount of *H. axyridis* under different treatments

图 7 所示, 饲喂轻度干旱处理 ($P = 0.014$, $P = 0.001$, $P = 0.003$, 10.9%, 8.2%, 4.9%) 和重度干旱处理 ($P < 0.001$, 14.1%, 18.0%, 10.9%) 的蚜虫的异色瓢虫的 2 龄、4 龄幼虫及幼虫的总发育历期较对照组均显著增长, 饲喂轻度干旱木醋液 ($P = 0.026$, $P = 0.024$, $P = 0.010$, -8.8%, -5.3%, -4.2%) 和重度干旱木醋液处理 ($P = 0.049$, $P = 0.014$, $P = 0.001$, -7.6%, -5.2%, -5.2%) 蚜虫的异色瓢虫 2 龄、4 龄幼虫及幼虫发育总历期分别较饲喂轻度和重度干旱处理蚜虫显著缩短。



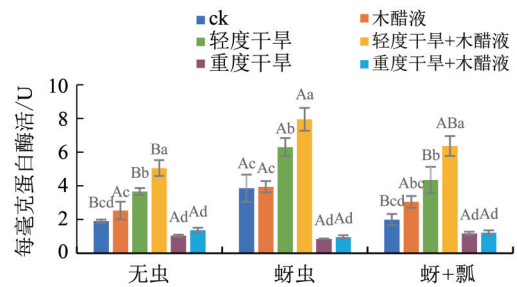
不同小写字母代表不同处理间有显著差异。

图 7 不同处理异色瓢虫幼虫发育历期

Fig. 7 Development duration of *H. axyridis* larvae under different treatments

2.4 不同处理对大豆叶片保护酶活性的影响

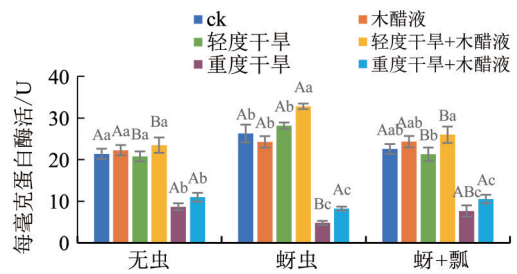
不同处理对大豆叶片 GST 活性的影响如图 8 所示。在没有蚜虫、仅有蚜虫、既有蚜虫又有瓢虫的情况下, 轻度干旱木醋液处理组较轻度干旱处理组, 其 GST 活性均显著增高 ($P=0.008, P=0.038, P=0.008, 37.9%, 26.3%, 46.5%$), 轻度干旱处理组 GST 活性均显著高于对照组 ($P=0.002, P=0.005, P=0.003, 92.8%, 63.1%, 117.5%$)。在仅有蚜虫时, 重度干旱处理组 GST 活性显著低于对照组 ($P=0.001, -77.96%$)。轻度干旱与轻度干旱木醋液处理组有蚜虫时的大豆叶片 GST 活性较无虫 ($P=0.016$) 和有瓢虫 ($P=0.050$) 时大豆叶片 GST 活性均显著升高。



不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异;不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异。

图 8 不同处理大豆叶片 GST 活性的影响
Fig. 8 Effects of different treatments on GST activity in soybean leaves

不同处理对大豆叶片 CAT 活性的影响如图 9 所示, 重度干旱处理组大豆叶片 CAT 活性均显著低于对照组 ($P<0.001, -64.6%, -81.4%, -66.9%$)。在仅有蚜虫与既有蚜虫又有瓢虫条件下, 轻度干旱木醋液处理组大豆叶片 CAT 活性均显著高于轻度干旱处理组 ($P=0.015, P<0.001, 10.5%, 13.3%$)。轻度干旱和轻度干旱且木醋液处理组有蚜虫时的大豆叶片 CAT 活性较无虫 ($P=0.005, P=0.006$) 和有瓢虫 ($P=0.008, P=0.024$) 时的大豆叶片 CAT 活性显著升高。



不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异;不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异。

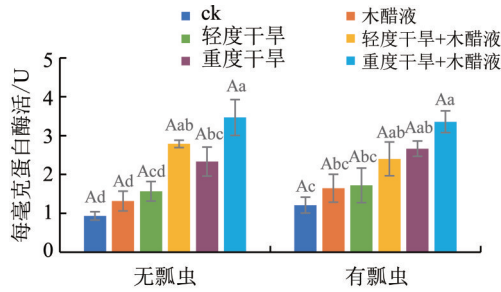
图 9 不同处理对大豆叶片 CAT 活性的影响
Fig. 9 Effects of different treatments on CAT activity in soybean leaves

2.5 不同处理对大豆蚜保护酶活性的影响

不同处理下大豆蚜 GST 活性的变化情况如图 10 所示, 在没有瓢虫情况下, 轻度干旱木醋液处理组 GST 活性较轻度干旱处理组显著升高 ($P=0.011, 77.8%$), 重度干旱木醋液处理组 GST 活性较重度干旱处理组也显著升高 ($P=0.017, 48.6%$)。无论有无瓢虫, 重度干旱处理组 GST 活性均显著高于对照组 ($P=0.005, P=0.010, 149.6%, 120.0%$)。

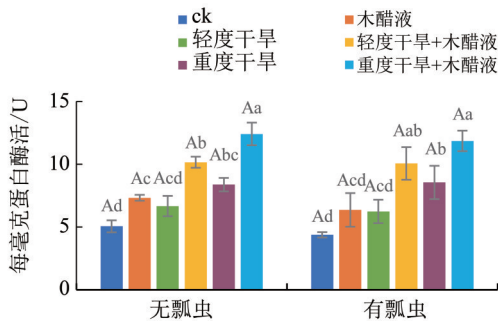
不同处理下大豆蚜 CAT 活性的变化情况如图

11 所示, 无论有无瓢虫, 轻度干旱木醋液处理组与 CAT 活性显著高于轻度干旱处理组 ($P=0.002, P=0.026, 52.4%, 61.2%$), 重度干旱木醋液处理组 CAT 活性也显著高于重度干旱处理组 ($P=0.001, P=0.049, 48.3%, 38.7%$), 重度干旱处理组 CAT 活性均



不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异;不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异。

图 10 不同处理对大豆蚜 GST 活性的影响
Fig. 10 Effects of different treatments on GST activity in *A. glycines*



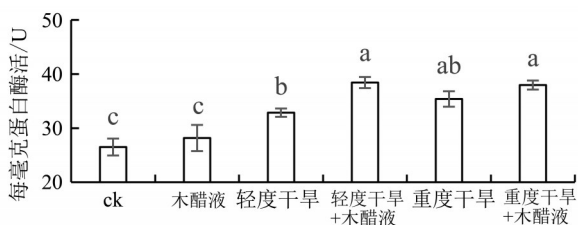
不同大写字母表示同一处理在无虫、蚜虫、有蚜有瓢之间的显著差异;不同小写字母表示分别在无虫、蚜虫、有蚜有瓢时不同处理间的显著差异。

图 11 不同处理对大豆蚜 CAT 活性的影响
Fig. 11 Effects of different treatments on CAT activity of *A. glycines*

显著高于对照组($P=0.002, P=0.017, 65.7%, 95.3%$)。

2.6 不同处理对异色瓢虫保护酶活性的影响

不同处理对异色瓢虫 GST 活性的影响如图 12 所示,轻度干旱与重度干旱处理组 GST 活性均显著高于对照组($P=0.009, P=0.001, 33.5%, 43.2%$),轻度干旱木醋液处理组 GST 活性显著高于轻度干

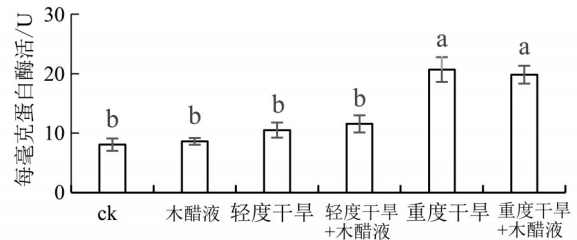


不同小写字母代表不同处理间有显著差异。

图 12 不同处理对异色瓢虫 GST 活性的影响
Fig. 12 Effects of different treatments on the activity of GST in *H. axyridis*

旱处理组($P=0.019, 16.9%$)。

不同处理下异色瓢虫 CAT 活性的变化情况如图 13 所示,重度干旱处理组 CAT 活性显著高于对照组($P<0.001, 156.5%$),轻度干旱木醋液处理组与轻度干旱处理组、重度干旱木醋液处理组与重度干旱处理组均无显著差异($P>0.05$)。



不同小写字母代表不同处理间有显著差异。

图 13 不同处理对异色瓢虫 CAT 活性的影响
Fig. 13 Effects of different treatments on CAT activity of *H. axyridis*

3 讨论

研究发现,对烤烟进行木醋液灌根和叶片喷施能显著促进烟叶长宽的增高,显著增大烟叶面积和质量(邵慧芳等,2015),而在干旱胁迫下施用木醋液后,烤烟叶片叶绿素含量升高,提高烤烟光合效率和根系活力,对根系的生长有一定的促进作用,可有效提高烤烟的抗旱能力(周建云等,2022)。外施丁酸可使干旱胁迫下大麦株高、穗长和产量不断增加,促进其在干旱胁迫下的生长(向莉等,2023)。本试验研究发现,干旱胁迫下,喷施木醋液可促进大豆生长,增加大豆生物量,与上述研究结果一致,可见,干旱胁迫下喷施木醋液可缓解干旱带来的不利影响,提高大豆抗旱能力,促进其生长发育。

蚜虫的生长发育和种群动态变化受环境、防治方法等多种因素共同影响。其中干旱作为环境因素对大豆蚜有重要的直接和间接影响。干旱胁迫时,由于蚜虫表体比较大,特别容易失水,又因为干旱时通常湿度较低,对有翅蚜羽化后的展翅有不利影响,严重影响有翅蚜的生长和繁殖(Chown et al., 2011)。大豆蚜通过从大豆植株茎叶等部位吸食汁液来获取能量维持自身的生长发育,因此植物的生长和营养状态直接影响大豆蚜的生长发育。植物叶片受到干旱胁迫后发生萎缩卷曲、关闭气孔等方式减少水分散失,一系列的变化导致叶片膨压下降,增加蚜虫的取食难度,尤其影

响刺吸式昆虫的生长发育(Nguyen et al., 2007)。有研究表明干旱胁迫下西花蓟马(Rad et al., 2024)、棉蚜(王晨等, 2023)和大豆蚜(王兴亚等, 2011b)数量及密度均有所减低, 种群增长能力不断降低。木醋液处理桃蚜可延长其若蚜发育时长, 显著降低产蚜量和繁殖期, 缩短寿命, 同时还能降低后代的存活率(于慧玲等, 2021; 王欣宇等, 2022)。本研究发现, 干旱胁迫下大豆蚜种群数量显著降低, 经木醋液处理后, 大豆蚜种群数量进一步降低, 这与前人研究结果一致。

食物的来源和质量对瓢虫的生长发育有重要影响。异色瓢虫自然条件下可取食多种蚜虫来维持其正常的生长发育和繁殖, 但不同的食物来源对异色瓢虫的影响有所差异(喻会平等, 2018)。我们研究发现重度干旱处理下, 异色瓢虫1、24 h捕食量均显著低于对照组, 可能是重度干旱胁迫下, 植物会产生多种次生代谢物质, 包括一些抗虫物质, 会对蚜虫产生毒害, 一旦蚜虫食入后, 很可能会传递给下一营养级, 从而对异色瓢虫产生负面影响, 异色瓢虫为降低毒性物质的累积, 选择减少食物量摄取, 将会导致幼虫发育迟缓等不良影响。而木醋液处理后, 大豆生长状况得到改善, 营养物质有所提高, 蚜虫可从大豆植株获取更多能量, 而传给下一营养级异色瓢虫, 有效缓解干旱带来的多种负面影响。

许多逆境胁迫(如干旱)会扰乱植物体内活性氧自我调节平衡, 为能及时清除多余的活性氧等有毒物质, 植物进化出一系列防御措施, 其中GST、CAT是两个重要的抗氧化酶, 可有效清除多种有害物质(张玉等, 2022)。轻度干旱胁迫下

SOD、POD和CAT活性呈上升趋势, 重度干旱胁迫下CAT活性随胁迫时长增长而逐渐降低, 轻度干旱时植物可利用自身防御系统, 通过提高保护酶活性, 抵御不良影响, 但重度干旱会严重破坏细胞膜的完整结构及功能, 从而破坏保护酶系统, 植株自身难以抵抗(陈庆华, 2009)。大豆叶片受蚜虫为害后, GST和CAT活性均有所上升(张宏钰等, 2023)。施用木醋液能显著提高元宝枫幼苗POD和CAT活性, 能促进其生长发育(王雅倩等, 2023)。这与本试验结果相符, 干旱胁迫下木醋液能提高大豆叶片GST、POD和CAT活性, 可见干旱胁迫下木醋液能提高大豆叶片保护酶活性, 提高大豆抵御逆境的能力。干旱胁迫下棉花叶片的棉酚含量会显著升高, 随着干旱胁迫的持续, 这些有毒物质会在植株内不断累积, 为了减少有毒物质的危害, 蚜虫会分泌大量解毒酶来消除这些有毒物质(罗定等, 2012), 这与本试验结果一致, 由于蚜虫为降低各种有毒物质的危害, 从而导致体内蚜虫解毒酶活性升高, 而这些有毒物质会通过异色瓢虫的捕食作用进入其体内, 诱导其保护酶活性升高。

4 结论

干旱胁迫下大豆生长受抑制, 表现为生物量降低, 保护酶活性升高(轻度干旱)或降低(重度干旱); 干旱胁迫下喷施木醋液能提高大豆抗旱能力, 表现为提高生物量与保护酶活性, 同时能降低大豆蚜繁殖能力与发生量, 提高天敌控蚜潜力, 因此干旱胁迫下木醋液既能增强大豆“抗旱性”, 又能提高对大豆蚜直接与间接的“抑制作用”。

参考文献:

- 陈庆华, 2009. 干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 安徽农业科学, 37(14): 6396-6398.
- 胡义, 胡庭兴, 陈洪, 等, 2015. 干旱胁迫及复水对香樟幼树生理特性及生长的影响[J]. 西北植物学报, 35(2): 294-301.
- 霍建玲, 邢雪莹, 杨雪等, 2018. 干旱对黑龙江省大豆品种农艺性状的影响[J]. 分子植物育种, 16(5): 1668-1676.
- 李琬, 2019. 干旱对大豆根系生育的影响及灌溉缓解效应研究进展[J]. 草业学报, 28(4): 192-202.
- 罗定, 杨亚军, 徐红星, 等, 2012. 植物干旱胁迫对植食性昆虫及其天敌的影响[J]. 环境昆虫学报, 34(2): 229-235+253.
- 邵惠芳, 张慢慢, 刘国庆, 等, 2015. 木醋液对烤烟品质和抗病性的影响[J]. 中国农业科技导报, 17(6): 102-110.
- 王晨, 刘金萍, 杨益众, 等, 2023. 干旱胁迫对棉花上棉蚜种群增长影响的评价方法[J]. 植物保护, 49(1): 193-199.
- 王春荣, 邓秀成, 2005. 2004年黑龙江省大豆蚜虫暴发因素分析[J]. 大豆通报, (3): 19-20.
- 王敏, 杨万明, 杜维俊, 2012. 苗期大豆根系及地上部性状与耐旱性的关系[J]. 大豆科学, 31(3): 399-405.
- 王欣宇, 韩亚静, 历佳月, 等, 2022. 两种叶面肥对桃蚜“绿色防控”的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), 61(6): 60-68.
- 王兴荣, 张彦军, 陈光荣, 等, 2023. 干旱胁迫对大豆光合、产

- 量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 41(2): 150-159.
- 王兴亚, 周俐宏, 陈彦, 等, 2011a. 大豆蚜危害胁迫对大豆叶片几个重要生理指标的影响[J]. 应用昆虫学报, 48(6): 1655-1660.
- 王兴亚, 陈彦, 许国庆, 等, 2011b. 不同磷肥处理和干旱胁迫对大豆蚜种群发生及大豆结荚量的影响[J]. 江苏农业科学, 39(6): 209-211.
- 王雅倩, 张尚昆, 李冬兵, 2021. 木醋液对元宝枫幼苗生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 37(25): 41-46.
- 向莉, 王仙, 董裕生, 等, 2023. 外源丁酸对干旱胁迫下大麦产量及品质的影响[J]. 新疆农业科学, 60(9): 2173-2181.
- 许国庆, 陈彦, 王兴亚, 等, 2011. 大豆蚜对环境的适应及对大豆产量的影响[J]. 应用昆虫学报, 48(6): 1638-1645.
- 闫春娟, 王文斌, 孙旭刚, 等, 2012. 干旱胁迫对大豆根系发育影响初报[J]. 大豆科学, 31(6): 924-926+931.
- 杨帆, 韩如月, 李睿瑞, 等, 2018. 木醋液对赤豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农学通报, 24(8): 9-10+28.
- 于慧龄, 叶乐夫, 王雪, 等, 2021. 木醋液对桃蚜生长繁殖的慢性效应[J]. 中国农学通报, 37(18): 147-152.
- 喻会平, 王召, 龙贵云, 等, 2018. 三种猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护, 44(4): 105-109.
- 张宏钰, 赛序岐, 李俊鹏, 等, 2023. 一种炭基有机肥对“大豆-大豆蚜-异色瓢虫”系统的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), 62(4): 73-82.
- 张玉, 冷海楠, 曹宏杰, 等, 2022. 干旱胁迫对植物的影响研究[J]. 黑龙江科学, 13(14): 22-24+47.
- 周建云, 余佳斌, 刁朝强等, 2022. 干旱胁迫下木醋液对烤烟光合特性及根系生长的影响[J]. 湖北农业科学, 61(4): 85-88+211.
- BECKENDORF E A, CATANGUI M A, RIEDELL W E, 2008. Soybean aphid feeding injury and soybean yield, yield components, and seed composition [J]. Agron J, 100(2): 237.
- CHOWN S L, SØRENSEN J G, TERBLANCHE J S, 2011. Water loss in insects: An environmental change perspective[J]. J Insect Physiol, 57(8): 1070-1084.
- MITHÖFER A, BOLAND W, 2012. Plant defense against herbivores: Chemical aspects [J]. Annu Rev Plant Biol, 63: 431-450
- AN NGUYEN T T, MICHAUD D, CLOUTIER C, 2007. Proteomic profiling of aphid *Macrosiphum euphorbiae* responses to host-plant-mediated stress induced by defoliation and water deficit [J]. J Insect Physiol, 53(6): 601-611.
- RAD F, ALEOSFOOR M, FEKRAT L, et al, 2024. Water stress decreases the demographic performance of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on tomato [J]. Arthropod Plant Interact, 18(1): 105-116.
- SONG S, LI X, WANG X, et al, 2022. Effects of drought stress on key enzymes of carbon metabolism, photosynthetic characteristics and agronomic traits of soybean at the flowering stage under different soil substrates [J]. Phyton, 91(11): 2475-2490.
- SUN J, YANG L, ZHAO F, et al, 2020. Domestic dynamics of crop production in response to international food trade: Evidence from soybean imports in China [J]. J Land Use Sci, 15(1): 91-98.
- WANG Y, WANG H, GUO S, 2019. Research on dynamic game model and application of China's imported soybean price in the context of china-US economic and trade friction [J]. Complexity, 2019: 6048186.
- WILLE P E, PEREIRA B A, WILLE C L, et al, 2017. Natural resistance of soybean cultivars to the soybean looper larva *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Pesq Agropec Bras, 52(1): 18-25.
- WU T L, MA X H, YAO L M, et al, 2009. Identification of soybean resources of resistance to aphids [J]. Agric Sci China, 8(8): 979-984.
- YAN H, CHEN Y, BUN K H, 2016. China's soybean crisis: The logic of modernization and its discontents [J]. J Peasant Stud, 43(2): 373-395.

(责任编辑 张冰)