

一种炭基有机肥对 “大豆-大豆蚜-异色瓢虫”系统的影响*

张宏钰¹, 赛序歧¹, 李俊鹏¹, 付雪^{1,2}, 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: 有机肥能否通过强化作物营养促成自身代谢物的合成, 增加植物的抗虫特性, 影响植株上取食的植食性昆虫及其捕食性天敌个体的生理生化指标和种群指标, 从而为植物保护的免疫学方法提供理论基础。本研究以“大豆-蚜虫-瓢虫”为研究对象, 分别构建有机肥和化肥(无蚜无瓢、有蚜无瓢、有蚜有瓢)6个处理; 测定各处理组中大豆植株株高、地上地下生物量、大豆蚜种群数量动态、瓢虫发育历期、蛹质量, 以及各处理中大豆、蚜虫、瓢虫的超氧化物歧化酶(SOD)/过氧化氢酶(CAT)/谷胱甘肽S-转移酶(GST)活性水平等指标。主要结果如下: (1) 在“有蚜有瓢”最接近田间情况的大豆植株上施用有机肥会导致大豆植株显著“矮化”(-12.3%, $P=0.0211$)。 (2) 有机肥在第7天时显著减少苗期大豆蚜种群数量(-25.9%, $P=0.0249$, $P=0.0575$), 在第5个观测点减少有翅蚜数量(-40.7%)。 (3) 有机肥升高瓢虫蛹质量(2.4%), 缩短瓢虫幼虫(-2.5%)和蛹的发育历期(-13.4%)。 (4) 大豆抗逆酶活性受到有机肥显著影响, SOD活性下降20.7%, CAT活性升高14.8%, GST活性升高27.8%。有机肥能够在有蚜有瓢接近田间实际的条件下优化作物性状, 对同时受植物寄主及瓢虫天敌调节的植食性昆虫表现为中和的种群受抑制; 有翅蚜减少, 传毒潜力下降; 对瓢虫天敌能够提供更好的营养条件, 表现为蛹质量增加, 低龄幼虫发育加快等变化。因此, 有机肥对植物害虫免疫力的增强有积极影响。

关键词: 异色瓢虫(*Harmonia axyridis*); 炭基有机肥; 三级营养系统; 抗逆酶

中图分类号: S435.29 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2023)04-0073-10

Effects of a carbon-based organic fertilizer on “*Glycine max* - *Aphis glycines* - *Harmonia axyridis*”

ZHANG Hongyu¹, SAI Xuqi¹, LI Junpeng¹, FU Xue^{1,2}, YE Lefu¹

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

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

Abstract: Whether the organic fertilizer can promote the synthesis of its own metabolites by strengthening crop nutrition, increasing the insect resistance of plants, thus affecting the physiological and biochemical indicators and population indicators of herbivorous insects and their predatory natural enemies that feed on plants, which can provide a theoretical basis for immunological methods of plant protection. In this study, “*Glycine max* - *Aphis glycines* - *Harmonia axyridis*” was taken as the research

* 收稿日期: 2022-11-20

录用日期: 2023-01-12

网络首发日期: 2023-04-10

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2017YFD0300506); 东北农业大学学术骨干项目(518501); 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费基础研究项目(KJCX201820)

作者简介: 张宏钰(1998年生), 女; 研究方向: 农业昆虫与害虫防治; E-mail: zhanghyu153@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

object, and six treatments of organic fertilizer and chemical fertilizer were constructed, namely, without aphid and without ladybug, with aphid and without ladybug, with aphid and ladybug; The plant height, aboveground and underground biomass of soybean in each treatment group, the population dynamics of soybean aphid, the development duration of ladybug, pupa weight and the SOD/CAT/GST activity level of soybean, aphid and ladybug in each treatment group were measured. The main results are as follows: (1) Applying organic fertilizer on the soybean plant with "aphids and ladybird" closest to the field situation will lead to significant "dwarfing" of the soybean plant (-12.3%, $P=0.0211$). (2) On the 7th day, organic fertilizer significantly reduced the number of soybean aphids in seedling stage (-25.9%, $P=0.0249$, $P=0.0575$), and the number of winged aphids in the fifth observation point (-40.7%). (3) Organic fertilizer increased the weight of ladybird pupae (2.4%), shortened the larval (-2.5%) and pupal development duration (-13.4%) of ladybirds. (4) The activity of soybean stress resistant enzyme was significantly affected by organic fertilizer. The activity of SOD decreased by 20.7%, the activity of CAT increased by 14.8%, and the activity of GST increased by 27.8%. Organic fertilizer can optimize crop characters when aphids and ladybirds are close to the actual conditions in the field, and inhibit the neutral population of phytophagous insects regulated by both plant hosts and ladybird natural enemies; The number of winged aphids decreased, and the potential of virus transmission decreased; It can provide better nutritional conditions for ladybird natural enemies, such as pupa weight gain, accelerating development of young larvae, etc. Therefore, organic fertilizer has a positive impact on the enhancement of plant pest immunity.

Key words: *Harmonia axyridis*; carbon-based organic fertilizer; tertiary nutrition system; anti-stress enzyme

大豆 *Glycine max* (Linn.) Merr. 是食物中蛋白质和油的重要来源, 世界上大豆产量最高的国家包括美国、巴西、阿根廷、中国和印度。大豆蚜 *Aphis glycines* 广泛分布于世界许多国家和地区, 是危害大豆作物的主要害虫之一, 包括无翅胎生雌蚜和有翅胎生雌蚜两个型(许向利等, 2020)。通过观测有翅蚜数量可以判断大豆蚜的“传毒潜力”: 有翅蚜是植物病毒传播的重要媒介, 是植物病毒病异株传播的主要力量, 有翅蚜个体数量的多寡是决定植物病毒病传播扩散速度及距离的主要因素, 而有翅蚜数量是显示蚜虫种群所承受的环境胁迫高低的重要指针, 所以监测有翅蚜的种群发生动态有利于评估某些植物病毒病传播扩散风险高低。在我国大豆蚜主要分布在东北、华北、华南、西南等地区, 台湾省、宁夏回族自治区和内蒙古自治区也受到了大豆蚜的侵害(马世炎等, 2022)。除了直接以大豆为食导致减产外, 大豆蚜还会传播病毒, 严重威胁大豆的生产(Tiab et al., 2019; Sandra et al., 2020; 傅意茗等, 2022; Todd et al., 2022)。异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 在我国分布广泛, 是一种广泛应用于农林害虫捕食的生物防治剂(Qu et al., 2021), 可取食各类蚜虫, 是大豆种

植区大豆蚜的优势天敌, 对大豆蚜发生的中后期控制作用较大。异色瓢虫蛹时体质量较为稳定, 有比较意义, 蛹质量较大的个体繁殖力和适应能力更强(查达球, 2015)。

研究发现, 昆虫能利用自身的解毒酶系统对摄入体内的有毒物质进行解毒(张月白等, 2020)。当害虫受到植物次生代谢物的影响, 昆虫凭借自身形成的生理、生化防御机制来抵御外源毒物对其造成的影响, 而保护酶系是昆虫生理、生化防御系统中的重要组成部分(袁星星等, 2020), 其中, 过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)是昆虫体内2种重要的保护酶(Liu et al., 2020), 在不利因子的作用下其活性发生相应变化, 进而影响昆虫的正常代谢(Zhang et al., 2022), 谷胱甘肽 *S*-转移酶(GST)是一种具有多种生理功能的活性蛋白质, 在生物体代谢过程中产生, 是大家公认的具有解毒功能的同工酶(赵美臣, 2022)。

近年来, 植物与昆虫间的相互作用逐渐成为研究新热点(Howe et al., 2015)。植物和植食性昆虫及其捕食性昆虫在漫长进化过程中形成了直接或间接的相互作用关系。在大豆-蚜虫-异色瓢虫三级营养关系中, 大豆作为第一营养级, 不仅会

影响蚜虫,还会对异色瓢虫产生直接或间接的影响,蚜虫从大豆植株中获得营养,异色瓢虫也会间接地从植物中获得营养(Naikoo et al.,2019)。有研究表明,氮肥对于植物-植食性昆虫-天敌三级营养关系之间的调控作用有一定的影响(葛阳等,2021)。氮肥会一定程度上改变土壤以及非生物环境,由于土壤和非生物环境的变化,植物也会受到相应的影响,进而对以植物为食的植食性昆虫和以植食性昆虫为食的天敌造成一定的影响。当前,有机肥是健康种植的一个重要内容,有机肥方案对植物的害虫免疫力影响如何亟待研究。因此,深入研究有机肥对于三级营养系统的影响具有重要意义,能够为科学施肥防控害虫以及植物保护的免疫学方法提供理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 供试植物和虫源

大豆品种东农46,大豆蚜为实验室内用大豆苗多年饲养的敏感种群,异色瓢虫为实验室内用大豆蚜长期饲养的敏感种群。大豆蚜和异色瓢虫的饲养条件:温度(25±1)℃、相对湿度(70±10)%,光周期14L:10D。

1.2 供试肥料

有机肥(哈尔滨五常市润农科技有限公司,成分:w(有机质)≥45%,总养分:w(N+P₂O₅+K₂O)≥8%);尿素(安阳中盈化肥有限公司);磷酸二铵(美国嘉吉磷化国际化工集团有限公司);磷酸二氢钾(河北中保绿农作物科技有限公司)。大豆种植化肥施用比例为:m(磷酸二铵):m(尿素):m(磷酸二氢钾)=3:1:2。

1.3 供试仪器

人工气候箱(HPG-280HX,黑龙江省哈尔滨市东联电子科技开发有限公司);电子天平(XJ220 A-SCS,上海天美天平仪器有限公司);连续变倍体解剖镜(MOTIC SMZ-140 Series);-80℃超低温冰箱(MDF-U5386S,日本三洋公司);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);高压灭菌锅(HVE-50,日本Hirayama manufacturing公司)。

试验所用试剂盒(南京建成生物工程研究所):CAT活性检测试剂盒;SOD活性检测试剂盒;GST活性检测试剂盒。

1.4 试验方法

1.4.1 实验室建立“大豆-蚜虫-瓢虫”三级营养系统 有机肥和化肥分别种植大豆分为3个处理:有蚜有瓢、有蚜无瓢、无蚜无瓢,共6个处理,每个处理10次重复。不同施肥处理:按照盆的面积和每亩(1亩=666.67 m²)面积比例计算出直径为9 cm的盆的施肥量(化肥:0.15 g磷酸二铵,0.05 g尿素,0.1 g磷酸二氢钾;有机肥:1.19 g),将有机肥和化肥分别用研钵研磨成粉末状态,放到土里搅拌均匀。每盆2株大豆植株,第1片真叶展开之后,在有蚜虫处理的每个植株上接种20头大豆蚜成蚜,待大豆蚜种群增殖一段时间后,在有瓢虫处理的每株大豆上接种1头异色瓢虫成虫,形成三级营养系统。在室内为了防止蚜虫和瓢虫逃逸,将每个处理的大豆植株都置于笼罩中。

1.4.2 大豆株高和生物量测定 大豆真叶展开7 d后,每3 d用卷尺记录这6个处理大豆植株株高(从子叶痕到主茎生长点的高度)的变化趋势,每个处理10次重复。幼苗后期平行设置6个处理组,待大豆子叶展开后,进行追肥,1个月后随机抽样选取大豆植株,挑去叶片上的大豆蚜,并用水清洗大豆根部,用纸吸干后测定地上地下部分生物量,每个处理10次重复。

1.4.3 大豆叶片蚜虫种群密度测定 大豆植株子叶展开时,用小毛刷轻轻地将大豆蚜成蚜接种到有蚜化肥、有蚜有机肥处理的大豆叶片上,每株大豆上接种20头无翅雌成蚜,每24 h记录叶片上的蚜虫种群数量,记录7 d。观测有机肥和化肥两个处理每株大豆上大豆蚜的种群密度增长趋势,每个处理5次重复。

幼苗后期设置4个处理组:化肥种植、有机肥种植、化肥种植+接种天敌(异色瓢虫)、有机肥种植+接种天敌(异色瓢虫),在大豆植株上接种20头无翅雌成蚜,观察每株大豆上大豆蚜的种群数量变化及有翅蚜的数量动态,每个处理5次重复。

1.4.4 异色瓢虫幼虫发育历期、蛹质量 将实验室建立的两种异色瓢虫成虫产卵后,将卵块取出移至干净的培养皿中,放入人工气候箱培养,待异色瓢虫卵孵化后,等待几个小时,每个处理随机选取20头新孵化的健康幼虫,用小毛刷转移到培养皿中单头饲养,分别从有机肥种植大豆植株和化肥种植大豆植株上选取大豆蚜充足的大豆叶片放入培养皿中,每天定时定点更换叶片和滤纸。每个处理3次重复,每次重复保证至少10头能顺

利饲养到成虫阶段。并于每天 8:00, 14:00, 20:00, 观察并记录异色瓢虫各个龄期的历期(d), 其中包括 1、2、3、4 龄幼虫各龄历期、预蛹期和蛹期, 蛹期称量蛹质量。

1.4.5 大豆叶片、大豆蚜和异色瓢虫酶活力的测定 实验结束后, 收集各处理的大豆叶片、大豆蚜和异色瓢虫进行如下处理。

大豆叶片: 分别从 6 个处理中选取新鲜的大豆叶片, 重复 3 次, 称取约 200 mg 待测叶片, 放入研钵中, 将样品置于 1.5 mL EP 管中, 加入 PBS 缓冲液, 用研磨枪头在冰上将其研磨充分后, 置于冰上冷却, 离心 $4\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, $4\ ^\circ\text{C}$ 离心 10 min, 取上清液。

大豆蚜: 从接种蚜虫处理的大豆叶片上取 10 头大豆蚜成蚜, 重复 3 次。将样品置于 1.5 mL EP 管中, 加入 PBS 缓冲液, 用研磨枪头在冰上将其研磨充分后, 置于冰上冷却, $4\ ^\circ\text{C}$ 下 $12\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 取上清液。

异色瓢虫: 取实验室种群中喂养两种施用肥料种植大豆上大豆蚜的异色瓢虫种群, 1 龄幼虫 5 头, 2 龄幼虫 3 头, 3 龄幼虫 2 头, 4 龄幼虫和成虫各 1 头, 进行 3 次重复, 加入 PBS 缓冲液, 用研磨枪头在冰上将其研磨充分后, 置于冰上冷却, $8\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, $4\ ^\circ\text{C}$ 离心 10 min, 取上清液。

蛋白含量测定参照 Bradford 的方法。根据标准曲线计算出样品中的蛋白浓度。取上述离心后的样品上清液, 使用不同试剂盒测定各处理的酶活力。

1.5 数据处理

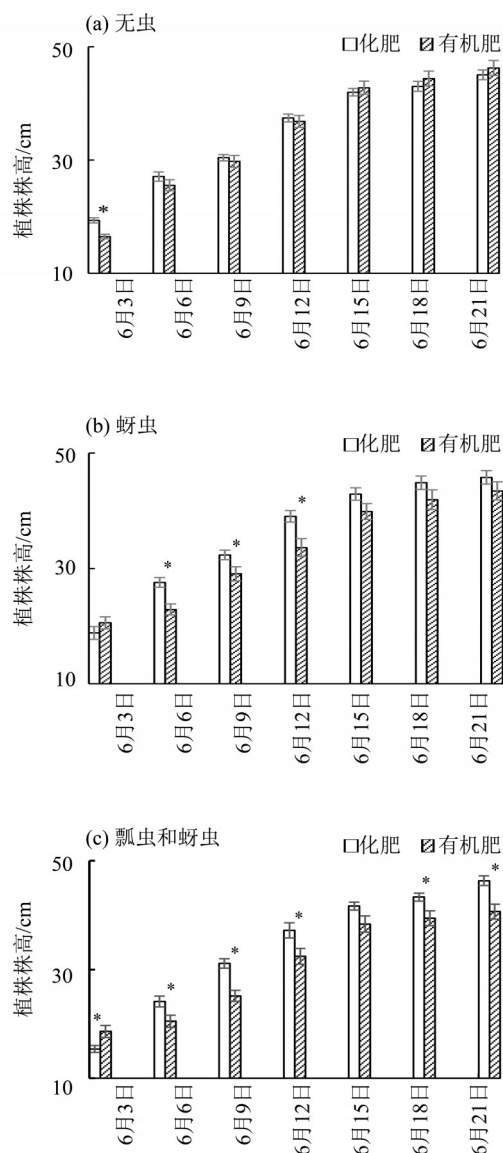
采用 Microsoft Office Excel 2016 软件完成全部数据处理和作图; 用 IBM SPSS Statistics 26 统计分析软件分析处理间试验数据的显著性差异; 处理间平均值之间的差异显著性采用 LSD 检验 ($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 不同处理对植物生长的影响

不同处理大豆植株株高变化如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 各处理大豆植株在观察期间快速生长。施用有机肥的大豆株高在观察初期显著低于化肥 ($P=0.000\ 2$), 后期这种差异不显著 (图 1a)。在有蚜虫的植株的生长中期, 施用有机肥的大豆株高显著低于施用化肥的大豆株高 ($P=0.001\ 7$, $P=0.040\ 3$, $P=0.008\ 9$) (图 1b)。有瓢虫的施用有机肥的大豆株高在 6 月 3 日显著高于施用化肥的大豆株高 (12.3%) ($P=0.021\ 1$), 其他时间施用化肥的显著高于施用有机肥的植株 ($P=0.025\ 2$, $P=0.000\ 3$, $P=$

$0.028\ 8$, $P=0.022\ 1$, $P=0.002\ 7$) (图 1c)。



*表示 $P < 0.05$, 差异显著 (LSD 法)。

图 1 不同处理大豆植株株高的变化
Fig. 1 Changes of soybean plant height using different fertilizer

肥料方案和蚜虫 (或有蚜虫时的瓢虫) 对大豆植株总生物量 (地下部分生物量占比) 的影响见表 1。双因素方差分析表明: 蚜虫对总生物量 ($P=0.001$) 和地下部分占比 ($P=0.001$) 影响都是显著的, (有蚜虫的前提下) 瓢虫对总生物量 ($P=0.007$) 的影响也是显著的。

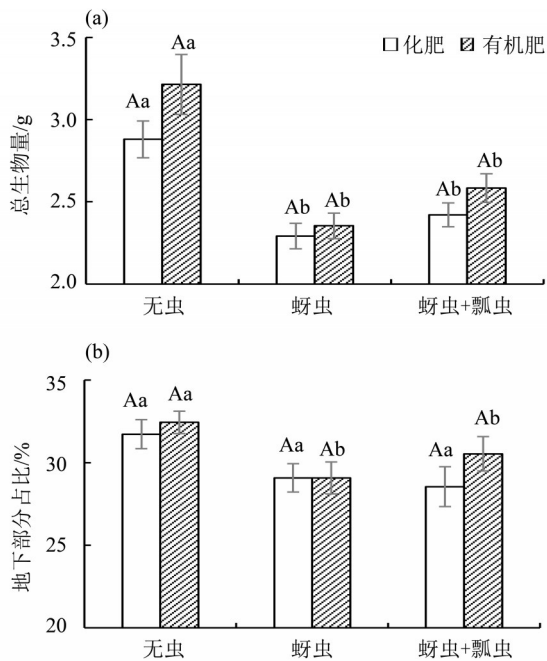
不同处理大豆植株生物量和地下部分占比如图 2 所示。从图 2 中可以看出, 化肥和有机肥处理的无虫的大豆植株、有蚜虫的、有蚜虫和瓢虫的大豆植株的总生物量和地下部分占比均无显著差

表 1 肥料、蚜虫和瓢虫对大豆植株生物量影响的方差分析¹⁾

Table 1 ANOVA of effects of fertilizer, <i>A. glycines</i> and <i>H. axyridis</i> on soybean biomass		
影响因子	总生物量	地下生物量占比
肥料种类	0.089	0.679
蚜虫	0.001*	0.001*
肥料×蚜虫	0.238	0.681
瓢虫	0.007*	0.650
肥料×瓢虫	0.425	0.340

1) *表示 $P < 0.05$, 差异显著(LSD法)。

异。施用化肥和有机肥的有蚜虫和蚜虫+瓢虫的大豆植株的总生物量均显著低于无虫植株($P < 0.0001$) (分别为-20%, -16%; -27%, -20%) (图 2a)。施用化肥有蚜虫+瓢虫处理的大豆植株地下部分占比显著低于无虫处理($P = 0.0472$) (-10%), 施用有机肥的有蚜虫的大豆植株地下部分占比显著低于无虫处理($P = 0.011$) (-10%) (图 2b)。



柱子上的不同大小写字母表明不同柱子间差异显著。

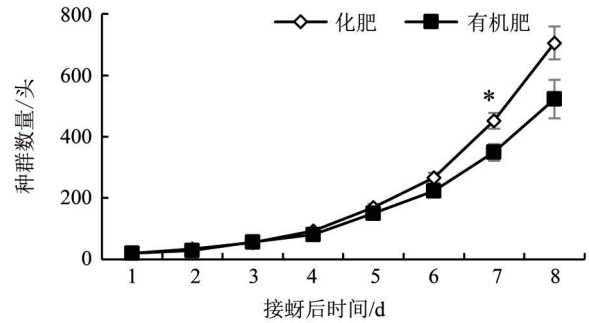
图 2 不同处理大豆植株总生物量和地下部分占比

Fig. 2 Changes of soybean plant total biomass and proportion of underground part using different fertilizer

2.2 有机肥对大豆蚜种群动态的影响

取食施用不同肥料的大豆植株的大豆蚜的种群动态如图 3 所示。从图 3 中可以看出, 取食施用不同肥料的大豆的蚜虫种群数量随着观察日期增长, 前期增长缓慢, 后期增长较快。前期取食两

种不同大豆植株的大豆蚜种群数量无显著差异($P > 0.05$), 后期取食施用化肥植株的大豆蚜数量显著高于施用有机肥植株的大豆蚜数量, 有机肥植株的大豆蚜数量比化肥植株大豆蚜数量少 25.94% ($P = 0.0249$, $P = 0.0575$)。



*表示 $P < 0.05$, 差异显著(LSD法)。

图 3 不同肥料处理大豆蚜种群动态

Fig. 3 Population dynamics of *A. glycines* using different fertilizer

不同肥料处理蚜虫种群动态和有翅蚜数量如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 蚜虫种群动态和有翅蚜数量中化肥大豆蚜虫种群都略高于有机肥大豆蚜虫种群, 其中有机肥大豆有翅蚜数量在 5 月 30 日比化肥大豆有翅蚜数量减少 40.7%, 但肥料种类对蚜虫种群动态和有翅蚜数量并无显著影响(图 4)。从 5 月 30 日开始, 瓢虫显著减少有机肥和化肥处理的蚜虫种群和有翅蚜数量(-70%) ($P < 0.0001$)。

2.3 有机肥对异色瓢虫发育历期、蛹质量和雌性占比的影响

取食施用不同肥料大豆植株上的大豆蚜的异色瓢虫的发育历期如图 5 所示。从图 5 中可以看出, 取食施用有机肥大豆植株的大豆蚜的异色瓢虫的 2 龄历期显著长于取食施用化肥大豆植株的大豆蚜的异色瓢虫 ($P = 0.0056$)。取食施用有机肥大豆植株的大豆蚜的异色瓢虫 1 龄龄期 ($P = 0.0243$)、4 龄龄期 ($P = 0.0098$)、蛹期 ($P < 0.0010$) 及总历期 ($P = 0.0007$) 均短于取食施用化肥大豆植株的大豆蚜的异色瓢虫, 有机肥处理比化肥处理幼虫历期缩短 5.68%, 蛹期缩短 13.39%。

取食施用不同肥料大豆植株上的大豆蚜的异色瓢虫的蛹质量如图 6 所示。从图 6 中可以看出, 取食施用有机肥大豆植株的大豆蚜的异色瓢虫的蛹质量与用施用化肥大豆植株的大豆蚜饲养的异色瓢虫蛹质量差异接近显著, 有机肥处理相比化肥处理蛹质量高 2.38% ($P = 0.0818$)。

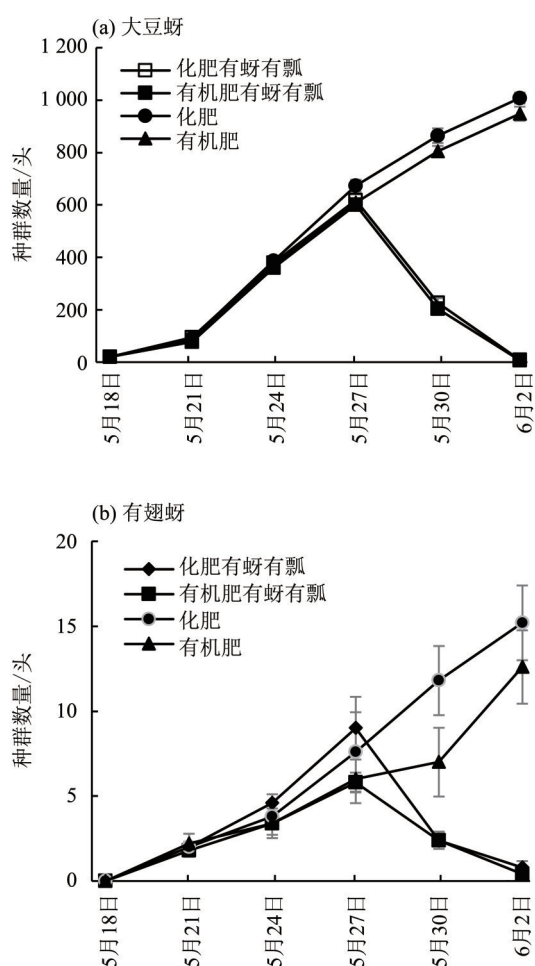


图4 不同肥料处理大豆蚜种群动态和有翅蚜数量
Fig. 4 Population dynamics of *A. glycytes* and aphids with wings using different fertilizer

2.4 有机肥对“大豆-大豆蚜-瓢虫”抗逆酶活性的影响

有机肥和蚜虫对大豆叶片抗逆酶活性的影响见表2。从表2中可以看出,不同肥料对大豆植株叶片的SOD、CAT、GST均具有显著影响($P=0.008$, $P=0.002$, $P=0.001$),其中SOD活性下降20.7%,CAT活性升高14.8%,GST活性升高27.8%。蚜虫对大豆叶片SOD、CAT和GST均无显著影响,两者

表2 肥料和蚜虫对大豆叶片抗逆酶活性影响的方差分析¹⁾

Table 2 ANOVA of effects of fertilizer and *A. glycytes* on enzyme activity in soybean leaf

影响因子	SOD	CAT	GST
肥料种类	0.008*	0.002*	0.001*
蚜虫	0.441	0.274	0.553
肥料×蚜虫	0.967	0.529	0.190

1) *表示 $P<0.05$, 差异显著(LSD法)。

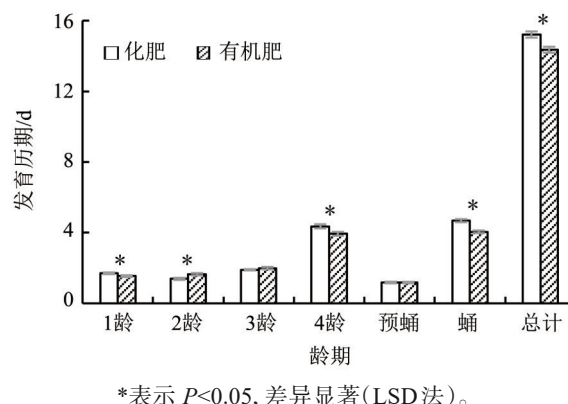


图5 取食不同肥料处理大豆上大豆蚜的异色瓢虫发育历期
Fig. 5 Development duration of multicolored ladybeetle fed on *A. glycytes* from soybean plants treated by different fertilizers

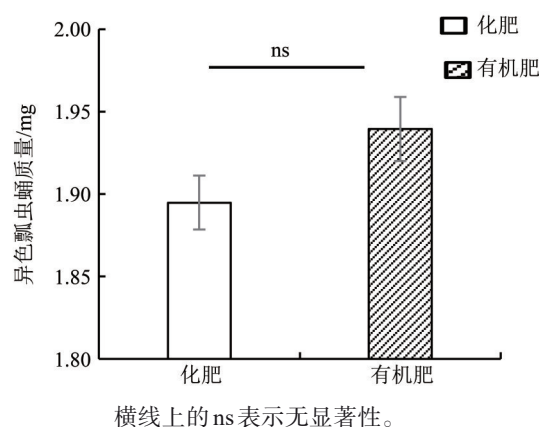


图6 取食不同肥料处理大豆的大豆蚜的异色瓢虫蛹质量
Fig. 6 Pupa weight of multicolored ladybeetle fed on *A. glycytes* using different fertilizer

的交互作用对这三种抗逆酶也没有显著影响。

有机肥和瓢虫对带蚜大豆叶片抗逆酶活性的影响见表3。从表3中可以看出,不同肥料对大豆植株叶片的SOD、CAT、GST均具有显著影响($P=0.046$, $P=0.018$, $P=0.016$)。瓢虫对大豆叶片SOD、CAT和GST均无显著影响,两者的交互作用对这三种抗逆酶活性水平也没有显著影响。

表3 有机肥和瓢虫对带蚜大豆叶片抗逆酶活性影响的方差分析¹⁾Table 3 ANOVA of effects of biological fertilizer and *H. axyridis* on anti-stress enzyme activity in soybean leaf with aphid

影响因子	SOD	CAT	GST
肥料种类	0.046*	0.018*	0.016*
瓢虫	0.442	0.262	0.119
肥料×瓢虫	0.961	0.541	0.913

1) *表示 $P < 0.05$, 差异显著(LSD法)。

不同施肥处理对大豆叶片 SOD、CAT、GST 活性的影响见图7。从图7中可以看出, 无虫、蚜虫、有蚜虫和瓢虫的大豆施用两种肥料后叶片 SOD、CAT、GST 活性均无显著差异。施用有机肥的有蚜虫取食的大豆 CAT 活性显著高于无虫取食 ($P=0.0266$) 及有瓢虫 ($P=0.0456$) 的大豆叶片的 CAT 活性。有蚜虫取食的施用化肥的大豆叶片的 GST 活性显著高于无虫大豆 ($P=0.0064$), 有瓢虫的大豆叶片的 GST 活性与无虫植株 ($P=0.0623$) 和仅有蚜虫 ($P=0.0676$) 的植株的 GST 活性接近显著。施用有机肥各处理之间无显著差异。

有机肥和瓢虫对大豆蚜虫抗逆酶活性的影响见表4。从表4中可以看出, 不同肥料、瓢虫及两者的交互作用对大豆蚜虫的 SOD、CAT、GST 均无显著影响 ($P > 0.05$)。

肥料和瓢虫处理的大豆植株大豆蚜抗逆酶活性如图8所示。从图8中可以看出, 不同肥料和瓢虫处理的大豆植株上的大豆蚜的 SOD、CAT、GST 均无显著差异 ($P > 0.05$)。

有机肥和虫龄对异色瓢虫抗逆酶活性的影响见表5。从表5中可以看出, 除瓢虫虫龄对异色瓢虫的 SOD 有显著影响外, 不同肥料、瓢虫虫龄单

独作用及两者交互作用对异色瓢虫 SOD、CAT、GST 均无显著影响 ($P > 0.05$)。

不同施肥处理的不同发育阶段的异色瓢虫的 SOD、CAT、GST 的活性如图9所示。从图9中可以看出, 各个发育阶段的异色瓢虫取食施用两种肥料的大豆植株的大豆蚜之间的 SOD、CAT、GST 酶活性无显著差异 ($P > 0.05$)。取食化肥大豆植株蚜虫的异色瓢虫 SOD、CAT、GST 活性的各个发育阶段之间也没有显著差异 ($P > 0.05$)。取食有机肥大豆植株蚜虫的异色瓢虫一龄、四龄龄期 ($P=0.0481$) 和成虫期 ($P=0.0234$) SOD 活性显著低于三龄龄期的 SOD 活性。取食有机肥大豆植株蚜虫的异色瓢虫 CAT 活性的各个发育阶段之间也没有显著差异 ($P > 0.05$)。取食有机肥大豆植株蚜虫的异色瓢虫随着龄期增长 GST 活性逐渐增高,

一二龄、三四龄之间 GST 活性无显著差异, 三、四龄 GST 活性显著高于低龄龄期, 成虫期 GST 活性显著高于前几个龄期的 SOD 活性 ($P < 0.0001$)。

3 讨论

本文以有机肥对“大豆-大豆蚜-异色瓢虫”三

表4 肥料和瓢虫对大豆蚜抗逆酶活性影响的方差分析

Table 4 ANOVA of effects of fertilizer and *H. axyridis* on enzyme activity in *A. glycines*

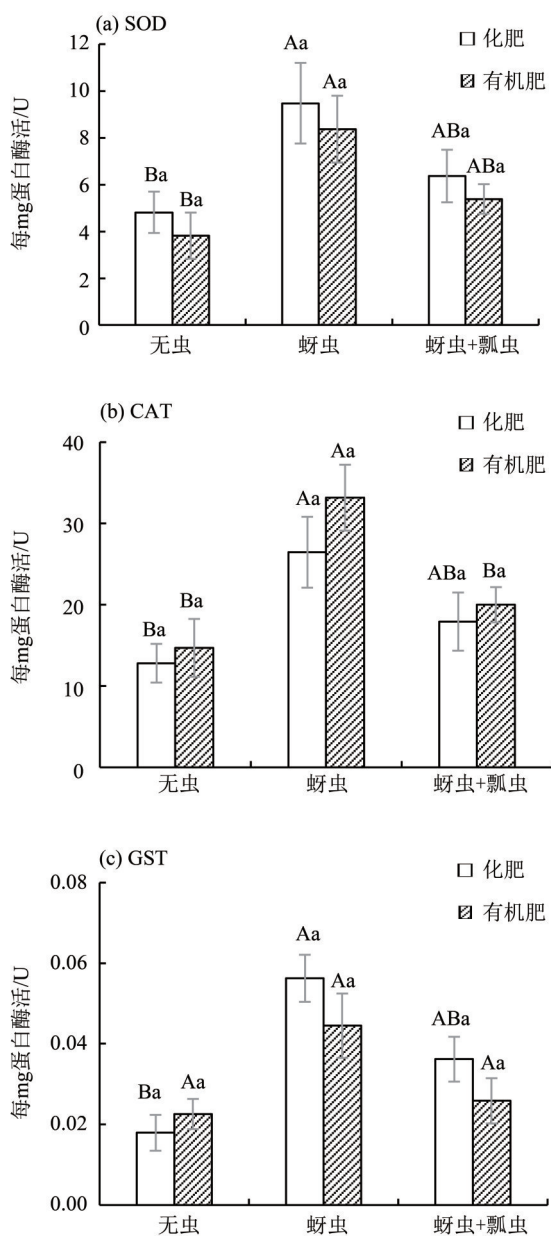
影响因子	SOD	CAT	GST
肥料种类	0.59	0.271	0.316
瓢虫	0.075	0.911	0.42
肥料×瓢虫	0.875	0.397	0.231

表5 肥料与虫龄对异色瓢虫抗逆酶活性的影响的方差分析¹⁾

Table 5 ANOVA of effects of fertilizer and insect ages on enzyme activity in multicolored ladybeetle

影响因子	SOD	CAT	GST
肥料种类	0.13	0.728	0.137
瓢虫虫龄	0.004*	0.099	0.156
肥料×瓢虫虫龄	0.975	0.968	0.402

1) *表示 $P < 0.05$, 差异显著(LSD法)。



柱子上的不同大小写字母表明不同柱子间差异显著。

图 7 肥料对大豆叶片抗逆酶活性的影响

Fig. 7 Effects of fertilizer on anti-stress enzyme activity in soybean leaf

级营养系统的影响来更加全面的研究有机肥替代化肥的优势。我们的研究表明有机肥会使植株在“有蚜有瓢”最接近田间的情况下出现“矮化”，本实验后续可以研究有机肥导致的“矮化”对大豆植株产量与品质的影响。有研究表明，为了提高大豆产量和光合利用率，培育“矮化”大豆品种是一种可能的办法，矮化越来越得到重视，是一种重要的农艺性状(Chen et al., 2018; Roy et al., 2021)。矮化育种在高水肥环境下可以使作物实现

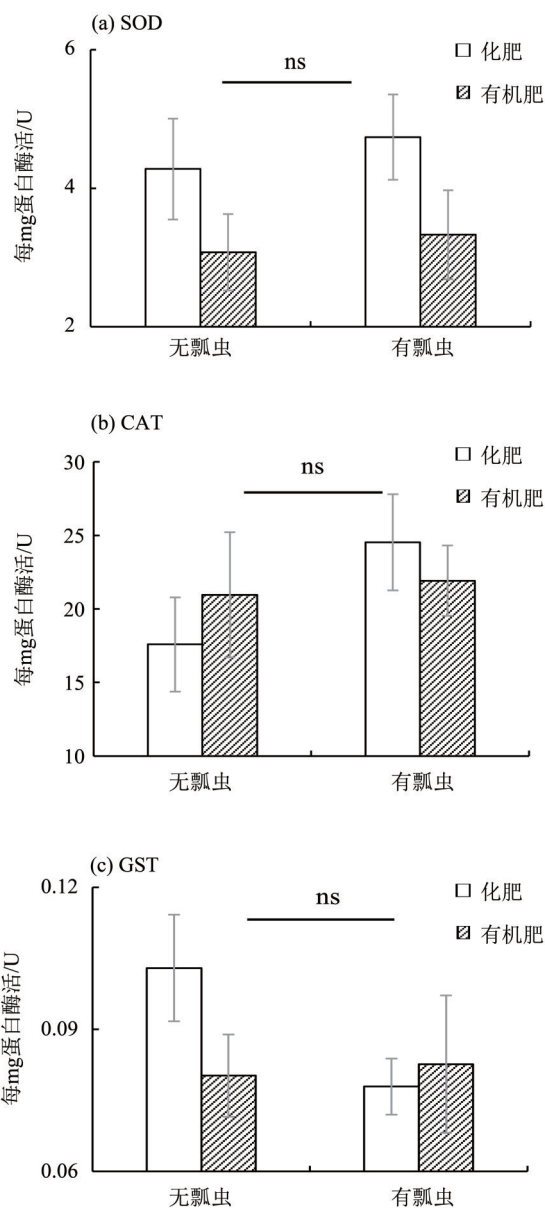
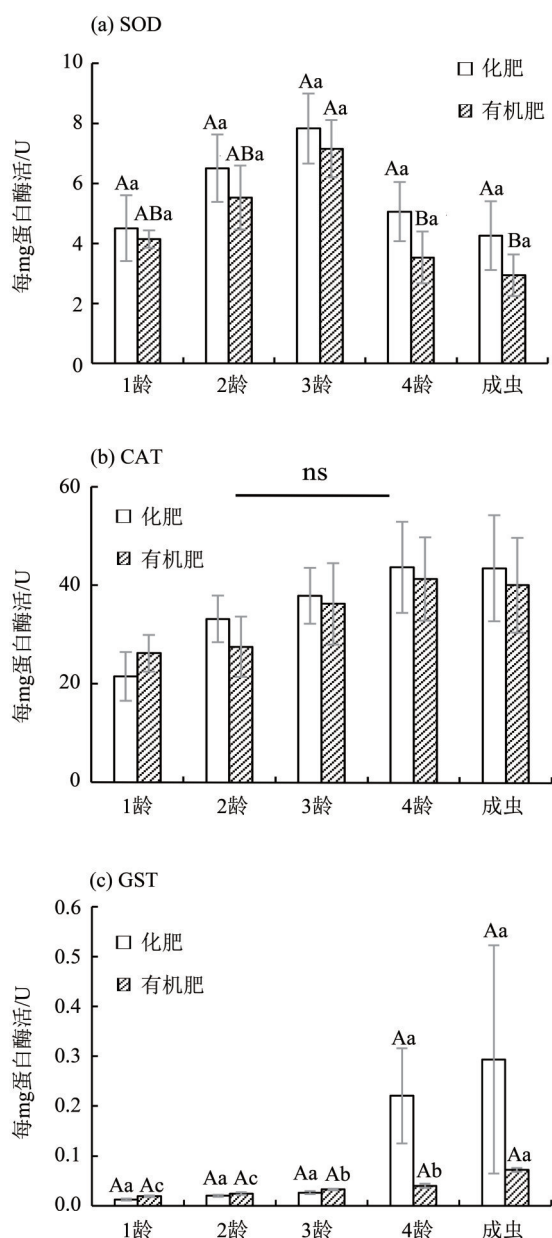


图 8 肥料对大豆蚜抗逆酶活性的影响

Fig. 8 Effects of fertilizer on anti-stress enzyme activity in *A. glycines*

较高的产量突破，提升光合速率(郭荣起等，2020)。研究发现，树体越矮其CAT、SOD活性越高，二者呈显著正相关(王菁菁等，2022)。有机肥处理提升大豆植株总生物量，与生物炭提高野生大豆生物量一致(Yin et al., 2021)，而蚜虫会降低总生物量，接瓢虫后又能缓解蚜虫的负面作用。

有机肥对蚜虫和瓢虫的影响在已有的研究中讨论较少。与化肥相比，有机肥种植的植株能吸收更多的养分传递给蚜虫，进一步传递给瓢虫，增加了瓢虫在生长发育时所摄取的营养，使其蛹质量增加。蛹质量差异完全是因为摄取的不同大



柱子上的不同大小写字母表明不同柱子间差异显著。

图9 肥料对异色瓢虫抗逆酶活性的影响

Fig. 9 Effects of fertilizer on anti-stress enzyme activity in multicolored ladybeetle

参考文献:

- 查达球, 2015. 基于蛹重预测马尾松毛虫产卵量的技术研究 [J]. 现代农业科技, (24): 122-123.
- 董雅致, 徐克章, 李大勇, 等, 2015. 不同氮素光合效率大豆品种叶片保护酶活性对施氮水平的响应 [J]. 吉林农业大学学报, 37(4): 395-401+423.
- 傅意茗, 陈婵珊, 黄芳, 等, 2022. 植物病毒与媒介昆虫互作促进其传播的研究进展 [J]. 植物保护学报, 49(3):

豆蚜导致, 且食物对异色瓢虫的发育历期也具有重要影响(赵天璇等, 2017; 王佳佳等, 2019); 王雪等(2021)的实验表明异色瓢虫性比对繁殖力有一定影响, 当瓢虫性比为1:1时繁殖力最强, 推测性比的变化可能与食物有关, 可以后续进一步试验验证。试验中施用有机肥的大豆蚜种群的密度会降低。接蚜处理组1周后没有进一步调查蚜虫种群数量, 原因是异色瓢虫的捕食量太大, 导致单株植株上的大豆蚜不足以供给其捕食, 只能从处理组分别收集蚜虫饲喂培养皿中瓢虫, 这一情况导致植株上蚜虫种群观察不完整, 本研究仅观测了大豆蚜在两种肥料处理大豆上的种群早期增长趋势。

根据我们的研究结果, 有机肥会显著影响大豆的抗逆酶活性, 使其CAT和GST比活力提高, SOD活性下降; 大豆蚜的出现会普遍提高大豆叶片酶活性的水平, 而异色瓢虫的加入会让作物抗逆酶活性水平有所回落。研究发现合理施肥、植物生长调节剂可明显提高POD、CAT的活性(董雅致等, 2015; dos Santos et al., 2023); 不同抗蚜玉米品种被蚜虫侵害胁迫后, PAL、POD、PPO、CAT活性均有提高(武德功等, 2018); 大豆叶片受到胁迫时, POD、CAT活性升高(刘江等, 2022; 余明龙等, 2022), 这与我们的研究结果是一致的。SOD酶活性下降可能是由于施用有机肥后植株生长状态变好, 无需增强SOD酶活性来应对胁迫, 这还需进一步实验验证。

4 结论

有机肥可以矮化植株, 增加植株抗逆酶活性水平, 从而减少植株上害虫种群数量; 此外, 有机肥有利于植株上害虫的天敌, 会加强天敌对害虫的抑制作用。因而, 有机肥能直接和间接增强植物对害虫的“免疫力”。

711-720.

- 葛阳, 万修福, 王升, 等, 2021. 氮肥对药用植物生态系统中土壤及三级营养关系的影响及机制 [J]. 中国中药杂志, 46(8): 1893-1900.

- 郭荣起, 孙如建, 张琪, 等, 2020. 大豆的早熟矮化育种与应用研究 [J]. 种子科技, 38(23): 34-35.

- 刘江, 李明倩, 常峻菲, 等, 2022. 干旱胁迫及复水对大豆关键

- 生育时期叶片生理特性的影响[J]. 中国农业气象, 43(8):622-632.
- 马世炎, 于洪春, 赵奎军, 等, 2022. 基于 MaxEnt 模型的大豆蚜全球潜在地理分布分析[J]. 昆虫学报, 65(5): 630-637.
- 王佳佳, 付雪, 王雪, 等, 2019. 吡虫啉对异色瓢虫种群控害功能的影响[J]. 应用昆虫学报, 56(5): 1088-1097.
- 王菁菁, 刘立强, 秦伟, 等, 2022. 新疆野苹果矮化性状形态学与生理指标评价[J]. 经济林研究, 40(3): 151-161.
- 王雪, 付雪, 赛序岐, 等, 2021. 性比自调节: 捕食性天敌异色瓢虫爆发成因[J]. 中山大学学报(自然科学版), 60(5): 119-125.
- 武德功, 方文浩, 杜军利, 等, 2018. 不同蚜虫密度胁迫对抗感玉米幼苗生理物质的影响[J]. 浙江农业学报, 30(4): 528-536.
- 许向利, 仵均祥, 2020. 有翅型和无翅型大豆蚜卵巢和胚胎发育的差异[J]. 昆虫学报, 63(4): 433-438.
- 余明龙, 黄露, 郑殿峰, 等, 2022. 外源调环酸钙对盐碱胁迫下大豆幼苗生长及生理特性的影响[J]. 生态学杂志, 41(4): 683-692.
- 袁星星, 董少奇, 王鑫辉, 等, 2020. 昆虫解毒酶在其寄主适应性及抗药性进化中的作用[J]. 华中昆虫研究, 16: 37-43.
- 张月白, 姜永根, 2020. 植物与植食性昆虫化学互作研究进展[J]. 应用生态学报, 31(7): 2151-2160.
- 赵美臣, 2022. 钝刺血蜱和麻点璃眼蜱谷胱甘肽 S-转移酶的酶学特性与功能分析[D]. 石家庄: 河北师范大学.
- 赵天璇, 袁明龙, 2017. 我国异色瓢虫的生物生态学特性[J]. 草业科学, 34(3): 614-629.
- CHEN M, CHEN J, LUO N, et al, 2018. Cholesterol accumulation by suppression of SMT1 leads to dwarfism and improved drought tolerance in herbaceous plants [J]. Plant Cell Environ, 41(6): 1417-1426.
- HOWE G A, HERDE M, 2015. Interaction of plant defense compounds with the insect gut: New insights from genomic and molecular analyses [J]. Curr Opin Insect Sci, 9: 62-68.
- LIU L, HOU X L, YUE W B, et al, 2020. Response of protective enzymes in western flower Thrips (Thysanoptera: Thripidae) to two leguminous plants [J]. Environ Entomol, 49(5): 1191-1197.
- NAIKOO M I, DAR M I, KHAN F A, et al, 2019. Trophic transfer and bioaccumulation of lead along soil-plant-aphid-ladybird food chain [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 26(23): 23460-23470.
- QU C, WANG R, CHE W N, et al, 2021. Identification and tissue distribution of odorant binding protein genes in *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. J Integr Agric, 20(8): 2204-2213.
- ROY N S, BAN Y W, YOO H, et al, 2021. Analysis of genome variants in dwarf soybean lines obtained in F6 derived from cross of normal parents (cultivated and wild soybean) [J]. Genomics Inform, 19(2): e19.
- SANDRA N, TRIPATHI A, DIKSHIT H K, et al, 2020. Seed transmission of a distinct soybean yellow mottle mosaic virus strain identified from India in natural and experimental hosts [J]. Virus Res, 280: 197903.
- dos SANTOS L A, BATISTA B L, da SILVA LOBATO A K, 2023. 24-epibrasinolide delays chlorophyll degradation and stimulates the photosynthetic machinery in magnesium-stressed soybean plants [J]. J Plant Growth Regul, 42(1): 183-198.
- TIAN B, GILDOW F E, STONE A L, et al, 2019. Aphid vectors impose a major bottleneck on Soybean dwarf virus populations for horizontal transmission in soybean [J]. Phytopathol Res, 1(1): 1-10.
- TODD J C, STEWART L R, REDINBAUGH M G, et al, 2022. Soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) feeding behavior is largely unchanged by soybean mosaic virus but significantly altered by the beetle-transmitted bean pod mottle virus [J]. J Econ Entomol, 115(4): 1059-1068.
- YIN S, SUO F, KONG Q, et al, 2021. Biochar enhanced growth and biological nitrogen fixation of wild soybean (*Glycine max* subsp. *soja* siebold & zucc.) in a coastal soil of China [J]. Agriculture, 11(12): 1246.
- ZHANG Q C, DENG X X, WANG J G, 2022. The effects of mepiquat chloride (DPC) on the soluble protein content and the activities of protective enzymes in cotton in response to aphid feeding and on the activities of detoxifying enzymes in aphids [J]. BMC Plant Biol, 22(1): 213.

(责任编辑 张冰)