

武德功, 王 俊, 张露雨, 等. 抗、感玉米幼苗玉米蚜为害后不同时间的生理响应[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 493-502.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.03.003

抗、感玉米幼苗玉米蚜为害后不同时间的生理响应

武德功¹, 王 俊², 张露雨¹, 杜存康¹, 杜军利¹, 黄伟东¹, 易克传¹, 余海兵¹

(1. 安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽省农业科学院烟草研究所, 安徽 合肥 230001)

摘要: 为探究抗、感玉米幼苗在玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis*) 为害后不同时间的生理响应, 本试验初步测定了接种蚜虫后不同时间 (0 h、24 h、48 h、96 h) 感蚜品种蠡玉 16 和抗蚜品种郑单 958 三叶期叶片的叶绿素、丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白质含量及 5 种保护酶活性的变化。结果表明, 随着接种蚜虫时间的增加, 两个玉米品种的叶绿素含量呈先下降后上升的趋势; 两个玉米品种的丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白质含量呈先升高后下降的趋势; 在接种蚜虫后 24 h 时, 两个品种的叶绿素含量下降到最小值, 其中郑单 958 的叶绿素含量下降幅度小于蠡玉 16; 在接种蚜虫 24 h 时, 两个品种的丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白质含量上升达到最大值, 其中郑单 958 的可溶性糖和丙二醛含量上升幅度低于蠡玉 16, 郑单 958 的可溶性蛋白质含量上升幅度大于蠡玉 16; 在整个时间段内 (0 h、24 h、48 h、96 h), 感蚜品种蠡玉 16 对照组的可溶性糖和可溶性蛋白质含量均高于抗蚜品种郑单 958 对照组。因此, 叶绿素含量下降幅度与抗蚜性呈负相关关系, 抗性高的品种下降缓慢, 而可溶性糖、可溶性蛋白质含量与抗蚜性呈负相关, 含量低的品种抗性较高。在蚜虫为害过程中, 两个玉米品种的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性均呈先升高后下降的趋势, 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性呈逐渐升高的趋势, 而两个玉米品种的多酚氧化酶 (PPO) 活性表现不一致, 郑单 958 的 PPO 活性随玉米蚜刺吸时间的延长而上升, 蠡玉 16 的 PPO 活性随刺吸时间的延长而下降。感蚜品种蠡玉 16 的 SOD、POD、CAT 和 PAL 活性升高率一直低于抗蚜品种郑单 958; 蠡玉 16 的 PPO 活性接种蚜虫前期高于郑单 958, 到了接种蚜虫后期则低于郑单 958。说明 SOD、CAT、POD 活性升高可能是玉米接种蚜虫前期 (0~24 h) 抗蚜的主要因素, PPO、PAL 活性升高可能是玉米接种蚜虫后期 (48~96 h) 抗蚜的主要因素。

关键词: 玉米蚜; 玉米; 抗蚜性

中图分类号: S433.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)03-0493-10

Physiological response of resistant and susceptible maize seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

WU De-gong¹, WANG Jun², ZHANG Lu-yu¹, DU Cun-kang¹, DU Jun-li¹, HUANG Wei-dong¹,
YI Ke-chuan¹, YU Hai-bing¹

(1. College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 2. Institute of Tobacco, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230001, China)

收稿日期: 2018-01-05

基金项目: 安徽省教育厅重点项目 (KJ2016A825、KJ2018A0543); 安徽科技学院引进人才项目 (ZRC2012326、ZRC2014399); 国家级大学生创新课题项目 (201610879004、201710879074); 安徽科技学院植物保护重点学科项目 (AKZDXK2015C04); 安徽省省级质量工程项目植物保护特色专业专项项目 (2015tszy022); 安徽省农业科学院人才发展专项资金项目 (17F0913)

作者简介: 武德功 (1980-), 男, 河南周口人, 博士, 讲师, 主要从事植物抗虫研究。 (E-mail) wudg@ahstu.edu.cn。王 俊, 为共同第一作者。

通讯作者: 余海兵, (E-mail) hsm50721@163.com

Abstract: In order to investigate the physiological response of resistant and susceptible maize seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress, the dynamic changes of malondialdehyde (MDA), soluble sugar, chlorophyll (Chl.), soluble protein and five protective enzymes in Zhengdan958 (resistant variety) and Liyu16 (susceptible variety) were measured at different time (0 h, 24 h, 48 h, 96 h) in three leaf stage. The results showed that

with the increase of aphid stress time, the chlorophyll content of the two maize varieties first decreased, then increased. However, the contents of malondialdehyde, soluble sugar and soluble protein in the two maize varieties first increased, then decreased. The chlorophyll content of the two maize varieties decreased to the minimum value at 24 h after aphid stress, and chlorophyll content of Zhengdan 958 decreased less than that of Liyu 16. The content of MDA, soluble sugar and soluble protein of two varieties increased to the maximum at 24 h after aphid stress. The increase of soluble sugar and malondialdehyde in Zhengdan 958 was lower than that in Liyu 16, but the increase of soluble protein in Zhengdan 958 was greater than that in Liyu 16. In the entire period of time (0 h, 24 h, 48 h, 96 h), the contents of soluble sugar and soluble protein in the control group of susceptible variety Liyu 16 were higher than those in the control group of resistant cultivar Zhengdan 958. Therefore, the decrease of chlorophyll content was negatively correlated with aphid resistance, and the varieties with high resistance declined slowly. The contents of soluble sugar, soluble protein were negatively correlated with aphid resistance, the varieties with lower soluble sugar and lower soluble protein had higher resistance. During the process of aphid stress, superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) of two maize varieties first increased and then decreased, the activity of phenylalanine ammonia lyase (PAL) increased gradually, while the activity of polyphenol oxidase (PPO) in the two maize varieties was not consistent, and the activity of PPO in Zhengdan 958 was increased with the prolongation of sucking time, but the activity of that in Liyu 16 decreased. The activities of SOD, POD, CAT and PAL of susceptible cultivar Liyu 16 were lower than those of the anti-aphid variety Zhengdan 958. The PPO activity of Liyu 16 was higher than that of Zhengdan 958 in the early stage, but it was lower than that of Zhengdan 958 in the later period. Indicating that the increase of SOD, CAT and POD activity may be the main factor of resistance to aphids in 0–24 h, and the increase of PPO and PAL activity may be the main factor of resistance to aphids in 48–96 h.

Key words: *Rhopalosiphum maidis*; *Zea mays*; aphid resistance

玉米 (*Zea mays*) 是重要的粮食作物之一, 它适应性强, 分布广, 用途多, 增产潜力大, 在全世界播种面积和总产量仅次于水稻和小麦, 居第三位, 发展速度很快。玉米产量变动会直接影响到农民的生活, 农民的收入和农业发展^[1-3]。

玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis* Fitch) 是中国玉米上的主要害虫之一, 以成、若蚜虫刺吸植株汁液, 主要为害玉米的叶片、雌穗、雄穗, 每年均有发生^[4]。当前防治蚜虫方法主要是化学防治, 但随着农药的大量使用, 蚜虫抗药性逐年升高, 环境污染等负面影响在加重, 急需找出新的方法来控制蚜虫的为害^[5]。因此, 筛选出抗蚜品种或自交系, 研究出与品种抗蚜相关的机理是选育抗性品种工作的第一步。中国已有文献报道不同地区玉米抗蚜的相关研究, 如李远等^[6]在河南鉴定了 4 个玉米品种和 7 个自交系的田间抗蚜性, 徐雪等^[7]在云南省的昭通市对 24 个玉米品种进行了抗蚜性评价, 宋伟等^[8]在安徽淮北地区比较了 33 个品种的抗蚜性, 张衍干等^[9]在云南省昭通地区鉴定了 26 个玉米品种 (系) 的抗性级别, 武德功等^[10]在安徽凤阳评价了 6 个糯玉米品种的抗蚜性。与玉米抗蚜相关的机制研究仅有少量文献报道, 王怡等^[11]报道了蚜虫田间消长与玉米生化物质的相关性研究, 赵文峰等^[12]报道了不

同抗性玉米自交系感蚜期 4 种酶活性变化。目前, 关于蚜虫为害后不同抗性级别玉米品种的可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素 (Chl.)、丙二醛 (MDA) 含量和 5 种保护酶活性的变化情况, 及其与抗蚜性的关系未见报道。本试验研究了苗期接种蚜虫后不同时间抗、感玉米品种的 9 项生理指标变化, 分析其与抗蚜的相关性, 为抗蚜品种的选育工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为: 郑单 958 (ZD958) 和 蠡玉 16 (LY16), 2014 和 2015 年在凤阳县安徽科技学院科技园进行抗蚜鉴定, 结果为郑单 958 抗蚜, 蠡玉 16 感蚜。

1.2 材料处理

将 2 个玉米品种在光照培养箱 (25 ℃, 暗光条件) 中催芽 48 h, 播种在花盆 (直径 20 cm, 高 15 cm) 中, 培养介质为大田土、珍珠岩、蛭石、园艺有机肥按 1:1:1:1 (体积比) 的比例混合, 用杀菌剂多菌灵处理培养介质以防病菌侵染。每盆播种 8 粒种子, 覆土约 1.5 cm, 出苗后进行间苗, 每盆留大小一致的苗 4 株。定期浇水, 自然光照, 生长期白天温度 20~30 ℃, 夜间温度 15~20 ℃。待玉米苗长至三叶

期一心期,将采集于田间自然种群玉米蚜的高龄若蚜和成蚜用毛笔轻轻地接到植株上,每株接种蚜虫80头,2 h后检查蚜虫是否有掉落,并补齐。以不接虫为对照组,接虫为处理组,每组处理重复3次,每个重复20盆。分别于接种蚜虫0 h、24 h、48 h、96 h时测定可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素(Chl.)、丙二醛(MDA)含量,以及超氧化物歧化酶(SOD)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)5种保护酶的活性。

1.3 生理指标测定方法

SOD、POD、CAT、PAL活性和叶绿素、可溶性蛋白含量采用《植物生理学实验指导》^[13]的方法测定,丙二醛、可溶性糖含量采用《植物生理学实验技术》^[14]的方法测定,PPO活性测定采用《生物化学实验技术》的方法测定^[15]。

1.4 数据统计分析

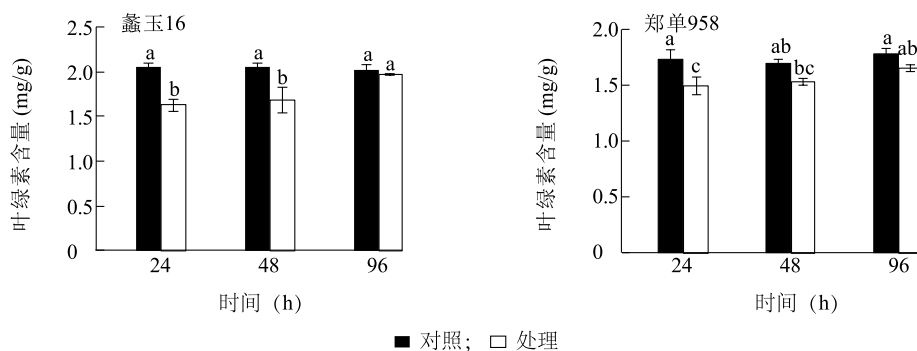
采用Microsoft Excel 2007软件进行数据的整理、计算及处理,采用SPSS13.0软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 玉米蚜为害后玉米幼苗叶绿素(Chl.a+Chl.b)含量变化

2个玉米品种的叶绿素含量在接种蚜虫后下降,在24 h时达到最小值,然后上升,在96 h时恢复到接近正常植株的叶绿素含量(图1)。接种蚜虫后24 h,郑单958处理组叶绿素含量显著低于对照组,接种蚜虫后48 h、96 h,处理组叶绿素含量与对照组之间差异不显著。接种蚜虫后24 h、48 h,蠡玉16处理组叶绿素含量显著低于对照组,接种蚜虫后96 h,蠡玉16处理组叶绿素含量与对照组的叶绿素含量差异不显著。

接种蚜虫后24 h、48 h、96 h,与对照组相比,蠡玉16叶绿素含量分别下降20.7%、17.8%、2.8%,而郑单958分别下降14.1%、9.6%、7.4%,说明感蚜品种蠡玉16受到蚜虫为害后对叶绿素含量影响较大。同时也说明蚜虫为害在短时间(24 h)对玉米品种的叶绿素含量影响较大,随着时间的增加,影响逐渐减小。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 玉米蚜为害后不同时间不同玉米品种幼苗叶绿素(Chl.)含量的变化

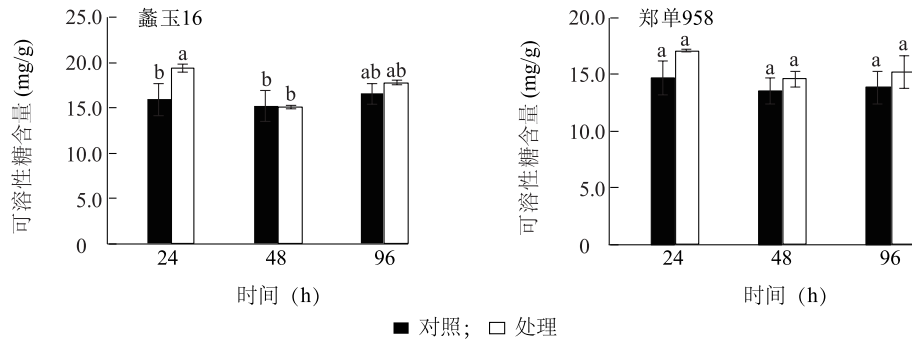
Fig.1 Changes of chlorophyll content in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

2.2 玉米蚜为害后玉米幼苗可溶性糖含量的变化

接种蚜虫后玉米幼苗的可溶性糖含量迅速上升,接种蚜虫24 h时达到最大值,然后下降,96 h时恢复到正常植株的水平(图2)。接种蚜虫后24 h,蠡玉16处理组可溶性糖含量显著高于对照组,48 h、96 h处理组可溶性糖含量与对照组相比差异不显著。郑单958在接种蚜虫后,可溶性糖含量在24 h、48 h、96 h虽有所升高,但与对照组相比差异不显著。

接种蚜虫后24 h、48 h、96 h,蠡玉16处理组可溶性糖含量比对照组分别上升21.7%、3.0%、7.1%,而郑单958处理组的可溶性糖含量比对照

组分别上升16.5%、7.7%、9.7%,说明蚜虫为害在短时间(24 h)对玉米品种的可溶性糖含量影响较大,随着时间的增加,影响逐渐减小。另外,在接种蚜虫后0 h、24 h、48 h、96 h时对照组蠡玉16的可溶性糖含量分别为15.25 mg/g,FW、15.95 mg/g,FW、14.64 mg/g,FW、16.62 mg/g,FW,均分别高于对照组郑单958(0 h、24 h、48 h、96 h时可溶性糖含量依次为13.81 mg/g,FW、14.67 mg/g,FW、13.54 mg/g,FW、13.83 mg/g,FW),说明感蚜品种蠡玉16可溶性糖含量高于抗蚜品种郑单958,蚜虫取食蠡玉16后有利于自身的生长发育,也可能因此蚜虫更偏好取食为害蠡玉16。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗可溶性糖含量的变化

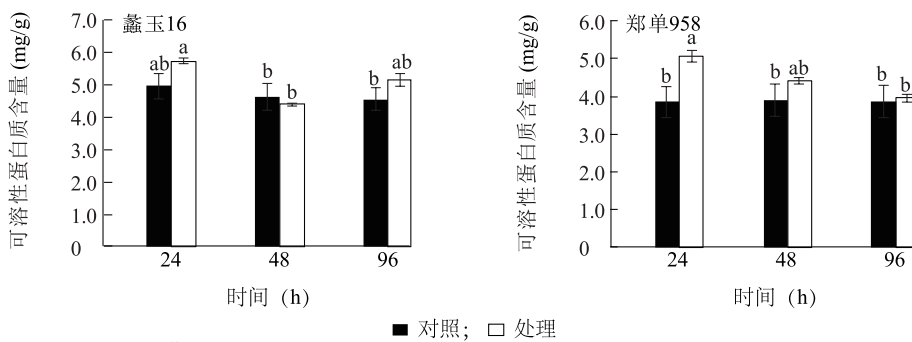
Fig.2 Changes of soluble sugar content in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

2.3 玉米蚜为害后玉米幼苗可溶性蛋白质含量的变化

受到蚜虫为害后,蠡玉16可溶性蛋白质含量变化趋势呈升高-下降-升高的趋势,但在接种蚜虫后24 h、48 h、96 h时处理组与对照组的可溶性蛋白质含量差异均不显著;在蚜虫为害后,郑单958可溶性蛋白质含量迅速上升,24 h时显著高于对照组,在48 h、96 h逐渐下降,与对照组差异不显著(图3)。

与对照组相比,接种蚜虫后24 h、48 h、96 h,蠡玉16可溶性蛋白质含量分别上升15.4%、下降4.7%、上升13.0%,而郑单958分别上升31.0%、13.1%、1.9%,说明蚜虫为害在短时间内(24 h)对

玉米品种的可溶性蛋白质含量影响较大,随着时间的增加,影响逐渐下降。另外,在接种蚜虫后0 h、24 h、48 h、96 h时蠡玉16对照组的可溶性蛋白质含量分别为4.98 mg/g,FW、4.97 mg/g,FW、4.62 mg/g,FW、4.56 mg/g,FW,均高于郑单958对照组(0 h、24 h、48 h、96 h时可溶性蛋白质含量依次为4.31 mg/g,FW、3.86 mg/g,FW、3.91 mg/g,FW、3.88 mg/g,FW),说明感蚜品种蠡玉16的可溶性蛋白质含量高于抗蚜品种郑单958,蚜虫取食蠡玉16后有利于自身的生长发育,也可能因此蚜虫更偏好取食为害蠡玉16。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗可溶性蛋白质含量的变化

Fig.3 Changes of protein content in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

2.4 玉米蚜为害后玉米幼苗丙二醛(MDA)含量的变化

受到蚜虫为害后,蠡玉16的丙二醛含量呈先升高,后下降趋势,接种蚜虫后24 h达到最高值,显著高于对照组,48 h、96 h时处理组和对照组的丙二醛含量无显著差异。受到蚜虫为害的郑单958丙二醛含量在24 h、48 h、96 h时与对照组差

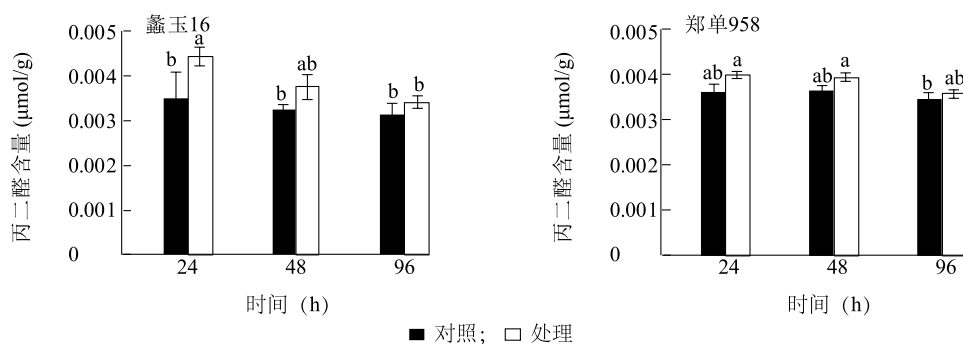
异均不显著(图4)。

蠡玉16在接种蚜虫后24 h、48 h、96 h丙二醛含量分别上升26.0%、16.0%、8.8%,而郑单958在接种蚜虫后24 h、48 h、96 h时丙二醛含量分别上升11.0%、8.3%、2.9%,说明蚜虫为害对抗蚜品种郑单958的伤害较小,而感蚜品种蠡玉16受到的伤害较大。

2.5 玉米蚜为害后玉米幼苗 SOD 活性的变化

郑单 958 和 蠶玉 16 处理组在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 的 SOD 活性显著高于对照组(图 5)。郑单 958 SOD 活性在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 差异

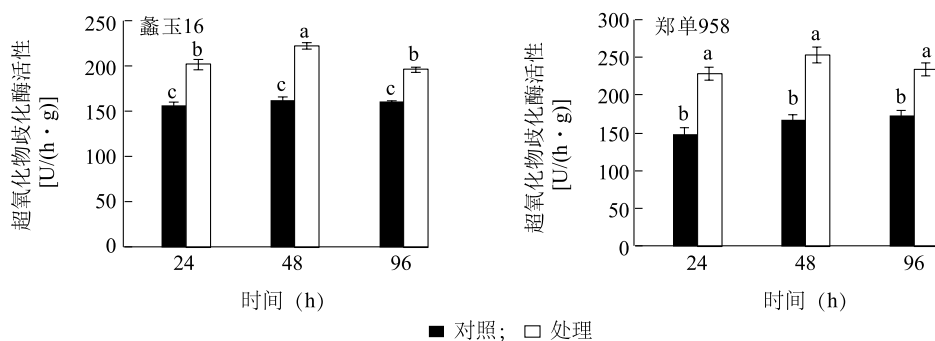
不显著,接种蚜虫后 48 h 时 蠶玉 16 的 SOD 活性显著高于 24 h 和 96 h。两个品种的 SOD 活性先呈上升的趋势,在接种蚜虫后 48 h SOD 活性达到最大值之后逐渐降低,但仍高于对照组 SOD 活性。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗丙二醛 (MDA) 含量的变化

Fig.4 Changes of malondialdehyde content in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 5 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗超氧化物歧化酶活性的变化

Fig.5 Changes of superoxide dismutase activity in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

接种蚜虫后 24 h 抗蚜品种郑单 958 的 SOD 活性升高 54.47%, 感蚜品种 蠶玉 16 升高 28.34%; 接种蚜虫后 48 h, 郑单 958 的 SOD 活性升高 52.29%, 相比于 24 h 基本保持不变, 而 蠶玉 16 的 SOD 活性升高 36.97%, 比 24 h 有增加的趋势; 而在接种蚜虫后 96 h 郑单 958、蠶玉 16 的 SOD 活性分别升高 35.90%、22.12%, 呈降低趋势。综合来说, 两个品种经过蚜虫为害之后在一段时间内都呈现先上升后下降的趋势, 且都要比对照组活性高, 抗蚜品种郑单 958 蚜虫为害后 SOD 活性的升高幅度高于感蚜品种 蠶玉 16。

2.6 玉米蚜为害后玉米幼苗 PPO 活性的变化

接种蚜虫后 24 h, 郑单 958 处理组 PPO 活性略有升高, 但与对照组相比差异不显著, 接种蚜虫后

48 h 处理组 PPO 活性继续升高, 96 h 达到最大值, 接种蚜虫后 48 h、96 h 处理组 PPO 活性显著高于对照组(图 6)。蠶玉 16 接种蚜虫后 PPO 活性迅速上升, 并在接种蚜虫后 24 h 达到最大值, 显著高于对照组, 48 h 时 PPO 活性开始下降, 但仍显著高于对照组, 在 96 h 时 PPO 活性恢复到正常水平, 与对照组相比差异不显著。接种蚜虫后郑单 958 的 PPO 活性在 24 h、48 h、96 h 时差异显著, 蠶玉 16 在接种蚜虫后 24 h 的 PPO 活性显著高于接种蚜虫后 96 h, 而接种蚜虫后 48 h 与 96 h 的 PPO 活性差异不显著。

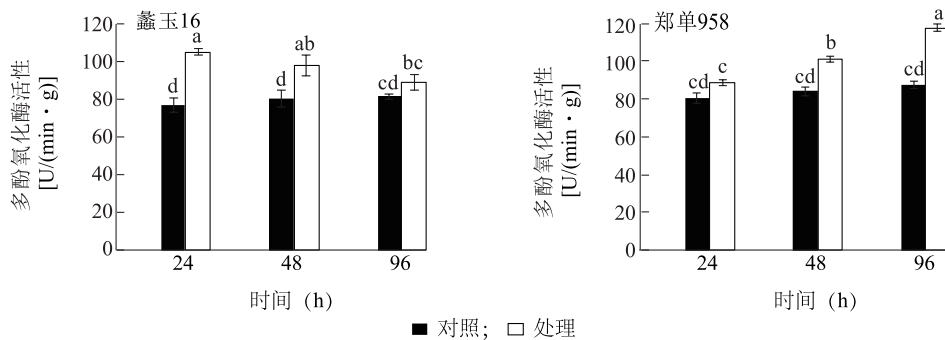
接种蚜虫后 24 h, 抗蚜品种郑单 958 的 PPO 活性升高 10.45%, 低于感蚜品种 蠶玉 16 (36.98%), 48 h 时郑单 958 的 PPO 活性升高 20.48%, 略低于

蠶玉 16(21.89%),而在 96 h 时郑单 958 的 *PPO* 酶活性升高 34.25%,高于蠶玉 16(9.31%)。

2.7 玉米蚜为害后玉米幼苗 *PPO* 活性的变化

玉米品种郑单 958 和蠶玉 16 在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 处理组 *PPO* 活性均显著高于对照组 ($P<0.05$) (图 7)。郑单 958 处理组的 *PPO* 活性在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 差异显著,蠶玉 16 处理组 *PPO* 活性在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 差异不显著。两个玉米品种在接种蚜虫后 24 h *PPO* 活性升高达到最高值,然后逐渐下降。

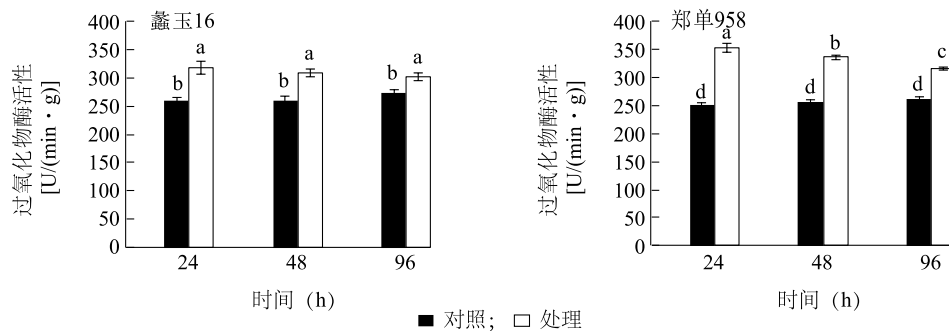
接种蚜虫后 24 h,抗蚜品种郑单 958 的 *PPO* 活性变化百分率为 41.20%,高于感蚜品种蠶玉 16(22.74%);48 h 时郑单 958 的 *PPO* 活性变化百分率为 31.53%,高于蠶玉 16(18.66%);96 h 时郑单 958 的 *PPO* 活性变化百分率为 20.89%,也高于蠶玉 16(10.21%)。综合来说,两个品种的 *PPO* 活性经过蚜虫为害后在 24 h 时迅速上升,然后呈现下降趋势,但都比对照组高,同时蚜虫为害后郑单 958 的 *PPO* 活性一直高于蠶玉 16。



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 6 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗多酚氧化酶活性的变化

Fig.6 Changes of polyphenol oxidase activity in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 7 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗过氧化物酶活性的变化

Fig.7 Changes of peroxidase activity in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

2.8 玉米蚜为害后玉米幼苗 *CAT* 活性的变化

两个玉米品种受蚜虫为害后, *CAT* 活性迅速升高, 48 h 时达到最高值, 然后下降 (图 8)。其中, 郑单 958 处理组接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 的 *CAT* 活性显著高于对照组。蠶玉 16 处理组接种蚜虫后 24 h、48 h 的 *CAT* 活性显著高于对照组, 接种蚜虫后 96 h 时 *CAT* 活性与对照组差异不显著。郑单 958 处理组的 *CAT* 活性在接种蚜虫后 48 h、96 h 时差异显

著, 而蠶玉 16 处理组接种蚜虫后 48 h 时活性显著高于 24 h 和 96 h。

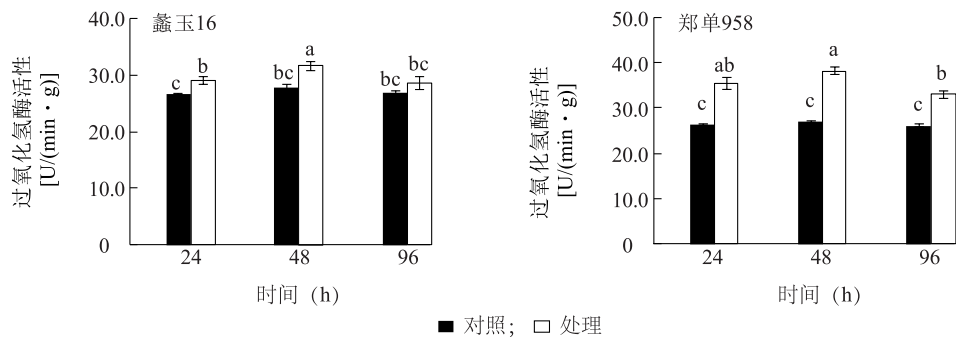
接种蚜虫后 24 h 时, 抗蚜品种郑单 958 的 *CAT* 活性变化百分率为 34.46%, 高于蠶玉 16(8.84%)。在接种蚜虫后 48 h 时郑单 958 的 *CAT* 活性变化百分率为 41.76%, 蠶玉 16 的 *CAT* 活性变化百分率为 36.97%。而在 96 h 时郑单 958 的 *CAT* 活性变化百分率为 26.07%, 蠶玉 16 的 *CAT* 活性变化百分率为

6.55%。试验结果表明,两个品种处理组的 *CAT* 活性均呈先上升后下降的趋势,始终高于对照组;同时,蚜虫为害后抗蚜品种郑单 958 的 *CAT* 活性变化率一直高于感蚜品种蠡玉 16。

2.9 玉米蚜为害后玉米幼苗 *PAL* 活性的变化

接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h,玉米品种郑单 958 和蠡玉 16 处理组的 *PAL* 活性显著高于对照组。郑单 958 处理组的 *PAL* 活性在接种蚜虫后 24 h 显著低于 48 h、96 h,而蠡玉 16 处理组的 *PAL* 活性在接种蚜虫后 24 h、48 h、96 h 差异不显著(图 9)。

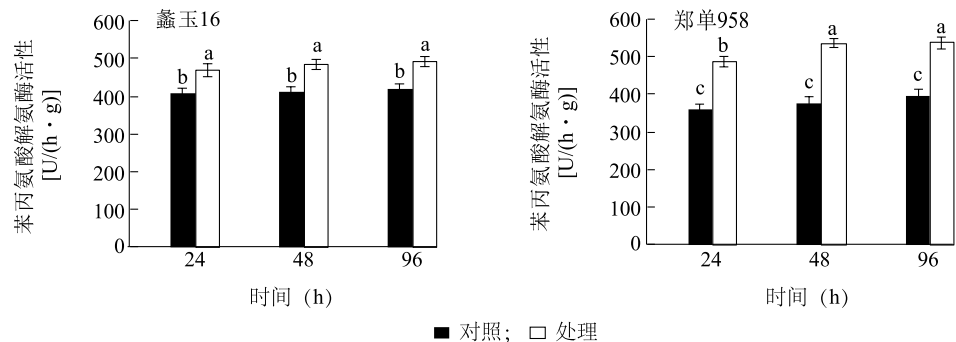
接种蚜虫后 24 h 时,抗蚜品种郑单 958 的 *PAL* 活性变化百分率为 35.00%,高于蠡玉 16 (15.20%);接种蚜虫后 48 h 时郑单 958 的 *PAL* 活性变化百分率为 42.38%,高于蠡玉 16 (17.80%);接种蚜虫后 96 h 时郑单 958 的 *PAL* 活性变化百分率为 35.19%,同样高于蠡玉 16 (16.98%)。试验结果表明,两个品种经过蚜虫为害之后 *PAL* 活性总体呈现上升趋势,且活性始终高于对照组,同时蚜虫为害后抗蚜品种郑单 958 的 *PAL* 活性变化率一直高于感蚜品种蠡玉 16。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 8 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗过氧化氢酶活性的变化

Fig.8 Changes of catalase activity in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 9 玉米蚜为害后不同时间两玉米品种幼苗苯丙氨酸解氨酶活性的变化

Fig.9 Changes of phenylalanine ammonia lyase activity in two maize varieties seedlings at different time after *Rhopalosiphum maidis* stress

3 讨论

3.1 叶绿素含量变化与抗蚜性的关系

叶绿素含量的降低从物质基础上对光合产物的形成产生不利影响,其主要原因可能是由于叶绿素合成受阻,或促进了叶绿素酶活性,使叶绿素分解^[16]。本试验中受到为害的两个玉米品种叶绿素

含量都出现不同程度的下降。感蚜品种蠡玉 16 在接种蚜虫后 24 h 叶绿素含量下降幅度较大为 20.7%,而抗蚜品种郑单 958 在 24 h 内下降幅度较小为 14.1%,可见抗蚜品种郑单 958 受到蚜虫为害后对叶绿素含量影响较小,因此,叶绿素含量下降幅度与抗蚜性呈负相关关系,抗性高的品种下降缓慢。结果与陈建明等^[17]报道的白背飞虱 (*Sogatella furci-*

fera) 为害抗、感水稻品种的研究结果一致,而与寇江涛^[18]报道的牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*) 为害抗、感紫花苜蓿无性系的结果不一致,牛角花齿蓟马为害抗性紫花苜蓿无性系 R-1 后叶绿素含量反而升高,可能是由于不同的作物对不同种害虫的反应不一样引起的。

3.2 可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化与抗蚜性的关系

糖类和蛋白质是昆虫重要的营养物质,植物中的糖类含量高可以刺激昆虫的取食和促进其发育^[19]。而可溶性蛋白质具有和可溶性糖相似的作用,可以影响植食性害虫对寄主的选择行为,可溶性蛋白质含量高时,害虫喜欢取食,同样取食后害虫的存活率、生长发育速度和生殖力相对提高^[19-20]。试验发现,两个玉米品种可溶性糖和可溶性蛋白质含量在接种蚜虫后 24 h 迅速升高,接种蚜虫后 48 h 下降,接种蚜虫后 96 h 恢复到接近正常水平,与段灿星等^[21]、寇江涛^[18]、武德功等^[22]报道的结果不一致,可能是由于蚜虫刺吸刺激了玉米叶片内不溶性的糖和蛋白质转化为可溶性的速率超过了由于蚜虫吸食造成的损失。另外,本试验发现,感蚜品种蠡玉 16 对照组的可溶性糖和可溶性蛋白质含量均高于抗蚜品种郑单 958 对照组,结果与王怡等^[11]、李再园等^[23]的研究结果一致。在整个试验期间,感蚜品种蠡玉 16 对照组的可溶性糖和可溶性蛋白质含量均高于抗蚜品种郑单 958 对照组。因此,可溶性糖、可溶性蛋白质含量与抗蚜性呈负相关,含量低的抗性较高。

3.3 丙二醛含量变化与抗蚜性的关系

植物在遭受到生物攻击或机械伤害后,打破了植物体内活性氧代谢系统的平衡,体内膜脂过氧化和膜脂脱脂作用被启动,从而破坏膜结构^[24]。MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,其含量高低被用作膜伤害指标^[25]。当 MDA 大量增加时,表明体内细胞受到较严重的破坏^[26-27]。试验结果表明,受到蚜虫为害后抗、感玉米品种的丙二醛含量在 24 h 时均迅速升高,感蚜品种蠡玉 16 的升高率高于抗蚜品种郑单 958,说明蚜虫为害对感蚜品种的破坏较重,而对抗蚜品种破坏较轻,与段灿星等^[21]报道的结果一致。

3.4 五种保护酶活性变化与抗蚜性的关系

在植物体内,氧被认为是电子传递的受体,获得

电子后能转化成超氧化物阴离子 $O_2^{\cdot-}$ 及其衍生物 H_2O_2 、 $\cdot OH$ 等自由基^[28]。植物在正常的生长过程中,植物进行代谢活动形成的活性氧不会影响植物体内的物质。但一旦外界条件受到影响,干扰细胞正常生理代谢活动,则可能会造成一定的生理危害。其中 *SOD* 催化超氧自由基($O_2^{\cdot-}$) 进行歧化反应,产生为害性较小的 H_2O_2 和 O_2 ^[29]。*CAT* 继续催化 H_2O_2 分解,形成 H_2O 和 O_2 。同时,*POD* 在清除 H_2O_2 和 $\cdot OH$ 等物质也起到重要的作用^[30-31]。由于这 3 种保护酶的联合作用,使植物体内的自由基含量保持在合理水平,因而化解了自由基的为害,增强了植物体抵抗逆境的能力^[32-33]。

试验结果表明,抗蚜品种郑单 958 和感蚜品种蠡玉 16 在蚜虫为害一段时间内,*SOD*、*CAT* 和 *POD* 活性会出现增加的趋势,这可能是植物体内在逆境条件下做出的自身调节作用。相比感蚜品种,抗蚜品种的超氧化物歧化酶(*SOD*)、过氧化物酶(*POD*) 和过氧化氢酶(*CAT*) 受蚜虫为害后上升率较高,且变化要早。这可以看出抗蚜品种的生理活性对蚜虫为害较为敏感并迅速做出防卫反应。这充分表明玉米品种的抗蚜性与 *SOD*、*POD*、*CAT* 活性的变化具有一定的正相关。其中,*SOD*、*POD* 的活性变化规律与武德功等^[22]、陈建明等^[17]、王元翔等^[34]的研究结果一致,*CAT* 活性的变化与梁晓等^[35]、蔡冲等^[36]的报道一致,与段灿星等^[21]、武德功等^[37]、寇江涛^[18]的报道不同,可能是不同作物对不同害虫的反应机制不同造成的。

PAL 是作用于苯丙烷类反应途径的第一个酶,同时是这一反应的关键酶,反应的中间物质(如酚类)及最后产物(如异黄酮类、木质素、黄酮等物质)与植物抗逆性紧密相关,因此一直被当作是一种保护酶^[38-39]。从本次试验结果可以看出,当玉米受到蚜虫为害之后,玉米对为害胁迫作出反应,传递出的信号使苯丙氨酸解氨酶活性迅速增高,从而产生大量木质素。木质素逐渐积累在细胞壁附近,限制了蚜虫为害。本试验中两个玉米品种在接种蚜虫后苯丙氨酸解氨酶活性均呈现上升趋势,且抗蚜品种郑单 958 的 *PAL* 升高幅度大于感蚜品种蠡玉 16,与张洪英等^[40]、蔡冲等^[36]的报道一致。

PPO 在植物抗逆性活动中也起着很大作用,它可催化形成木质素、酚类等氧化物质,构筑保护性屏障,同时产生醌类次生代谢产物起到保护作用,在植

物抗病菌方面研究较多,它的活性与植物抗病性呈现较高的相关性^[41-42]。本试验中,蚜虫为害后两个玉米品种的 *PPO* 活性均升高,感蚜品种蠡玉 16 升高迅速,在接种蚜虫 24 h 时达到最大值,在 48 h、96 h 逐渐下降,而抗蚜品种郑单 958 在 24 h 时升高幅度较小,在 48 h、96 h 继续升高。可能因为在蚜虫为害前期,抗蚜品种的 *SOD*、*POD*、*CAT* 活性受到刺激迅速作出反应,当蚜虫为害不断持续,*SOD*、*POD*、*CAT* 活性趋于降低,从而 *PPO* 活性被激发表达出来,活性上升。由此可得出,*PPO* 活性与玉米抗蚜性具有一定关系,与梁晓等^[43]、蔡冲等^[36]的报道一致。

在蚜虫为害过程中,两个玉米品种的超氧化物歧化酶(*SOD*)、过氧化物酶(*POD*)、过氧化氢酶(*CAT*)均呈现先升高,后下降的趋势,苯丙氨酸解氨酶(*PAL*)活性呈逐渐升高的趋势,而两个玉米品种的多酚氧化酶(*PPO*)活性表现不一致,郑单 958 的 *PPO* 活性随玉米蚜刺吸时间的延长而上升,蠡玉 16 的 *PPO* 活性随刺吸时间的延长先升高后下降;感蚜品种蠡玉 16 的 *SOD*、*POD*、*CAT* 和 *PAL* 活性升高率一直低于抗蚜品种郑单 958;蠡玉 16 的 *PPO* 活性在接种蚜虫前期(24 h)高于郑单 958,到了接种蚜虫后期(48~96 h)则低于郑单 958。说明 *SOD*、*CAT*、*POD* 活性升高可能是玉米接种蚜虫前期(0~24 h)抗蚜的主要因素,*PPO*、*PAL* 活性升高可能是玉米接种蚜虫后期(48~96 h)抗蚜的主要因素。

参考文献:

- [1] 郭春爱. 中国玉米消费分析与展望[J]. 农业展望, 2016, 12(8):1-5.
- [2] 杨俊芸,陈洪梅,谭静. 大力发展青贮玉米促进云南畜牧业发展——云南省发展青贮玉米的思考[J]. 西南农业学报, 2014, 17(Z1): 325-329.
- [3] 程伟东,杜青,张刘其,等. 不同地理气候条件对玉米杂交新组合产量及相关性状的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(1): 29-36.
- [4] BLACKMAN R L, EASTOP V F. Aphids on the worlds crops: An identification and information guide[M]. New York: John Wiley & Sons, 2000:466.
- [5] PERRY M J, VENNERS S A, BARR D B, et al. Environmental pyrethroid and organophosphorus insecticide exposures and sperm concentration[J]. Reproductive Toxicology, 2007, 23(1): 113-118.
- [6] 李远,赵曼,郭线茹,等. 不同玉米品种(系)田间抗蚜性的初步鉴定[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(3): 307-312.
- [7] 徐雪,吕晓坤,何力,等. 玉米不同品种对玉米蚜的抗性鉴定[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2013, 28(4): 598-601.
- [8] 宋伟,江俊起,缪勇. 不同玉米品种抗蚜性研究[J]. 生物灾害科学, 2014, 37(4): 288-292.
- [9] 张衍干,黄吉,施伟迪,等. 不同玉米品种对玉米蚜的抗性及其与瓢虫的联合控害作用[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(5): 815-819.
- [10] 武德功,杜军利,邢素芝,等. 6个糯玉米品种对玉米蚜的抗性评价[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(12): 38-40.
- [11] 王怡,赵曼,田体伟,等. 不同玉米品种玉米蚜田间消长与其主要生化物质的相关性研究[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(3): 364-369.
- [12] 赵文峰,张泽民,付国占,等. 不同抗性玉米自交系感蚜期四种酶活性变化分析[J]. 山东农业科学, 2010, 42(10): 46-49.
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 孔祥生,易现峰. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [15] 巫光宏,何平,黄卓烈. 生物化学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [16] 黄伟. 不同紫花苜蓿品种抗蚜性鉴定及抗蚜性机理初步研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [17] 陈建明,俞晓平,葛秀春,等. 水稻植株防御白背飞虱为害的某些生理反应[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 43-47.
- [18] 寇江涛. 紫花苜蓿对牛角花齿蓟马为害的生理生化响应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [19] 陆宴辉,杨益众,印毅,等. 棉花抗蚜性及抗性遗传机制研究进展[J]. 昆虫知识, 2004, 41(4): 291-294.
- [20] 吴青军,龚佑辉,徐宝云. 西花蓟马主要寄主植物可溶性糖和蛋白质含量测定[J]. 中国蔬菜, 2007(10): 20-22.
- [21] 段灿星,彭高松,王晓鸣,等. 抗感水稻品种受灰飞虱为害后的生理反应差异[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 145-153.
- [22] 武德功,贺春贵,刘长仲,等. 不同苜蓿品种对豌豆蚜的生化抗性机制[J]. 草地学报, 2011, 19(3): 498-501.
- [23] 李再园,王福莲,田小海. 水稻对稻飞虱抵御机制研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(4): 769-774.
- [24] 刘裕强,江玲,孙立宏,等. 褐飞虱刺吸诱导的水稻一些防御性酶活性的变化[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(6): 643-650.
- [25] BAILLY C, BENAMAR A, CORBINEAU F, et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging[J]. Plant Physiology, 1996, 97(1): 104-110.
- [26] 黄伟,贾志宽,韩清芳. 蚜虫(*Aphis medicaginis* Koch)危害胁迫对不同苜蓿品种体内丙二醛含量及防御性酶含量的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2177-2183.
- [27] 刘玉良,米福贵,特木尔步和,等. 苜蓿蓟马抗性 with 生理活性相

- 关性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8569-8571, 8613.
- [28] MOLOI M J, VAN DER WESTHUIZEN A J. Antioxidative enzymes and the Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) resistance response in wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Plant Biology, 2008, 10(3): 403-407.
- [29] REHMAN R U, ZIA M, CHAUDHARY M F. Salicylic acid and ascorbic acid retrieve activity of antioxidative enzymes and structure of *Caralluma tuberculata* calli on PEG stress [J]. General physiology and biophysics, 2017, 36(2): 167-174.
- [30] SAHU B, SAHU A K, CHENNAREDDY S R, et al. Insights on germinability and desiccation tolerance in developing neem seeds (*Azadirachta indica*): Role of AOS, antioxidative enzymes and dehydrin-like protein [J]. Plant Physiol Biochem, 2017, 112: 64-73.
- [31] 张家洋. 重金属及盐胁迫对绿金合果芋生理特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(4): 601-608.
- [32] LIU H, ZHANG C, WANG J, et al. Influence and interaction of iron and cadmium on photosynthesis and antioxidative enzymes in two rice cultivars [J]. Chemosphere, 2017, 171: 240-247.
- [33] HE S, HU Y, WANG H, et al. Effects of indole-3-acetic acid on arsenic uptake and antioxidative enzymes in *Pteris cretica* var. *neriosa* and *Pteris ensiformis* [J]. International Journal of Phytoremediation, 2017, 19(3): 231-238.
- [34] 王亓翔, 许路, 吴进才. 水稻品种对稻纵卷叶螟抗性的物理及生化机制[J]. 昆虫学报, 2008, 51(12): 1265-1270.
- [35] 梁晓, 卢芙萍, 卢辉, 等. 保护酶 CAT 在木薯种质抗蚜中的功能初步研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(2): 343-348.
- [36] 蔡冲, 徐盈盈, 崔旭红. 番茄不同抗性品种响应 B 型烟粉虱胁迫的生理特性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(13): 2524-2533.
- [37] 武德功, 王森山, 刘长仲, 等. 豌豆蚜刺吸胁迫对不同苜蓿品种体内单宁含量及生理活性的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(2): 351-355.
- [38] 张丽, 常金华, 罗耀武. 不同高粱基因型感蚜虫前后 POD、PPO、PAL 酶活性变化分析[J]. 农业生物技术科学, 2005, 21(7): 40-42, 198.
- [39] 黄小贞, 赵德刚. 植物苯丙氨酸解氨酶表达调控机理的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 16-20.
- [40] 张洪英, 魏淑花, 张蓉, 等. 豌豆蚜为害对苜蓿品种酶活性和营养物质的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(1): 144-152.
- [41] 赵伶俐, 范崇辉, 葛红, 等. 植物多酚氧化酶及其活性特征的研究进展[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 156-159.
- [42] 王曼玲, 胡中立, 周明全, 等. 植物多酚氧化酶的研究进展[J]. 植物学通报, 2005, 22(2): 215-222.
- [43] 梁晓, 卢芙萍, 卢辉, 等. 保护酶 PPO 在木薯种质抗蚜中的功能初步研究[J]. 生物技术通报, 2017, 33(4): 143-148.

(责任编辑: 姜华珏)