

豆蚜为害对黄芪叶片总叶绿素及营养物质含量的影响

李润红*, 高娜, 孙永军

(甘肃中医药大学定西校区, 定西 743000)

摘要 为了明确豆蚜与寄主黄芪的互作关系及机理,本研究在人工气候箱内培育黄芪幼苗至 15~20 cm 左右时,分别接入 10 日龄成蚜 10、20、30 头/株和 40 头/株,并以 0 头/株作为空白对照,在豆蚜持续取食 2、4、6 d 和 8 d 后,分别采集黄芪叶片,测定总叶绿素和营养物质的含量。结果表明,随着虫口密度的增加和取食时间的延长,黄芪叶片内总叶绿素和营养物质含量均发生变化。其中总叶绿素含量随着虫口密度增加和取食时间延长均逐渐下降。在 40 头/株虫口密度处理下,处理 2 d,总叶绿素含量降低至 11.06 mg/g,比对照降低 41.97%。在相同处理时间下,可溶性蛋白和可溶性糖含量随着虫口密度的增加而降低;在 10、20 头/株和 30 头/株虫口密度处理下,可溶性蛋白和可溶性糖含量随取食时间的延长先下降,后升高,再下降,但在 40 头/株虫口密度处理下,随取食时间延长,可溶性蛋白和可溶性糖含量逐渐下降,处理 8 d,其含量为 8.39 mg/g 和 27.33 mg/g,分别比对照下降 41.86%和 37.79%;在相同处理时间下,游离氨基酸含量随着虫口密度的增加而降低;在 10 头/株虫口密度处理下,随取食时间的延长先下降,后上升,再下降,其他虫口密度处理下,游离氨基酸含量随取食时间的延长,均呈逐渐递减趋势;在 30 和 40 头/株虫口密度处理下,为害 2 d,游离氨基酸含量为 8.49 $\mu\text{mol/g}$ 和 7.69 $\mu\text{mol/g}$,分别比对照降低 40.30%和 45.92%,以后(4~8 d)其含量与处理 2 d 时无显著差异($P>0.05$)。综上,随着虫口密度增加和取食时间的延长,黄芪叶片内叶绿素和营养物质含量均发生变化,这对中草药黄芪的蚜虫防治具有参考价值。

关键词 豆蚜; 黄芪; 为害; 叶绿素; 营养物质

中图分类号: Q 968.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2023080

Effects of *Aphis craccivora* feeding on the contents of total chlorophyll and nutrients in the leaves of *Astragalus membranaceus*

LI Runhong*, GAO Na, SUN Yongjun

(Dingxi Campus, Gansu University of Chinese Medicine, Dingxi 743000, China)

Abstract The objective of this study was to clarify the interaction and mechanisms between *Aphis craccivora* and *Astragalus membranaceus*. The total chlorophyll and nutrient contents in the leaves of *A. membranaceus* were determined in an artificial climate chamber, with plants reaching a height of about 15–20 cm. The plants were attacked by 10-day-old adult aphids at densities of 10, 20, 30, 40 aphids/plant, and 0 aphids/plant (CK) for two, four, six, eight days. The results indicated that the total chlorophyll and nutrient contents changed with increasing aphid population density and feeding duration. The total chlorophyll content gradually decreased with an increasing population density of aphids and feeding duration. Specifically, the total chlorophyll content decreased to 11.06 mg/g, which was 41.97% lower than CK at the population density of 40 aphids/plant two days after treatment. The contents of soluble protein and carbohydrates decreased with increasing population density under the same treatment duration. These contents decreased first, followed by an increase, and then decreased again with the extension of aphid feeding time at population densities of 10, 20 aphids/plant, and 30 aphids/plant.

收稿日期: 2023-02-23 修订日期: 2023-03-27

基金项目: 甘肃省教育厅青年博士基金(2021QB-142)

* 通信作者 E-mail: 15686075@qq.com

However, they gradually decreased at density of 40 aphids/plant. The contents of soluble protein and carbohydrates decreased to 8.39 mg/g and 27.33 mg/g, respectively, at the population density of 40 aphids/plant eight days after treatment, which was 41.86% and 37.79% lower than CK. The content of free amino acids decreased with increasing population density under the same treatment duration. The content decreased first, then increased, and decreased again with the extension of aphid feeding time at density of 10 aphids/plant, but decreased at other population densities. The free amino acids decreased to 8.49 $\mu\text{mol/g}$ and 7.69 $\mu\text{mol/g}$ at the population densities of 30 aphids/plant and 40 aphids/plant two days after treatment, which was 40.30% and 45.92% lower than CK, respectively, but no significant difference was observed between the treatments for 4—8 days and those for two days. In conclusion, the total chlorophyll, soluble protein, soluble carbohydrates, and free amino acid contents changed with an increase in pest population density and the extension of aphid feeding duration. These results provide valuable insights for the control of aphids on *A. membranaceus*.

Key words *Aphis craccivora*; *Astragalus membranaceus*; infestation; chlorophyll; nutrient

豆蚜 *Aphis craccivora*, 又称苜蓿蚜、花生蚜, 属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphidoidea, 分布于世界各地。豆蚜的寄主范围很广, 可达 200 余种, 主要有豇豆 *Vigna unguiculata*、花生 *Arachis hypogaea*、蚕豆 *Vicia faba*、大豆 *Glycine max* 等豆科植物及枸杞 *Lycium chinense*、黄芪 *Astragalus membranaceus* 等中药材^[1-3]。以成蚜和若蚜群集在寄主植物的嫩叶、嫩茎、花及嫩荚上, 除刺吸寄主植物的汁液外^[4], 还分泌大量的蜜露引发煤污病, 并传播 40 多种植物病毒病^[5], 使植物的光合作用减弱, 严重影响植物的生长发育, 使产量降低, 品质变劣^[4]。

黄芪又名戴参、芡草、百木、黄耆, 为豆科黄芪属多年生草本植物。其主要的来源是豆科植物膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* 或蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* 的干燥根, 其味甘, 性微温, 有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血, 行滞通痹、托毒排脓、敛疮生肌之功效^[6]。现代药理研究表明, 黄芪的主要活性成分有黄芪皂苷、黄芪黄酮、黄芪多糖、蒽醌类、生物碱、氨基酸、 β -谷甾醇和微量元素等多种化学成分^[7], 具有抗氧化、抗炎、抗病毒、调节血脂、调节免疫等作用, 是临床常用中药^[8]。

黄芪上虫害较多, 近年来蚜虫逐渐成为黄芪生长的主要害虫, 并有逐年加重的趋势。为害黄芪的蚜虫主要是豆蚜和豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum*, 笔者连续 3 年在陇西黄芪田间对豆蚜和豌豆蚜种群数量、空间分布和发生规律调查研究发现, 不同年份不同时期, 优势种群不同。豆蚜为害时间较长, 为害初期使黄芪叶片失绿变黄、皱缩畸形, 嫩梢卷曲, 严重时可导致叶片萎蔫、枯死, 植物发育不良,

影响开花结荚^[4], 造成减产甚至绝收。因目前对黄芪害虫发生规律及害虫和寄主植物间的相互作用机制缺乏细致的研究, 生物防治和物理防治效果不佳, 而黄芪花期长, 不合理的化学防治导致农田生态系统污染严重, 已成为制约黄芪安全生产的重要因素。

目前, 关于中草药蚜虫与寄主互作关系的研究, 国内报道较少, 李琳琳在棉蚜 *Aphis gossypii* 对枸杞寄主的适应性的研究中, 通过形态测量、转寄主和遗传结构聚类分析, 从 3 方面综合研究结果, 明确了棉蚜对枸杞寄主具有适应性特征, 枸杞寄主上的棉蚜已经形成了一种新的寄主生物型, 即枸杞生物型^[9]; 张金等采用比色法研究蚜虫为害忍冬 *Lonice-ra japonica* 叶片中保护酶活性、叶绿素含量、可溶性糖及可溶性蛋白含量的动态变化, 说明忍冬的抗虫性与叶片中防御酶活性及次生代谢物含量有关^[10]。

明确蚜虫和寄主中药材的相互作用和关系, 是治理蚜虫危害的基础。寄主植物被植食性昆虫为害后, 可通过营养限制或者产生一些次生防御物质对害虫进行防御, 如酚类、生物碱、蛋白酶抑制剂及多酚氧化物等^[11-12]。国内尚无从生理生化方面研究蚜虫与寄主中草药关系的报道, 本文研究了豆蚜为害黄芪植株后总叶绿素和营养物质含量的变化, 分析了不同为害程度下黄芪叶片生理应激响应的特点, 为中草药黄芪的蚜虫防治提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

豆蚜和蒙古黄芪均在实验室的光照培养箱中培

养。培养箱温度设定为 $(23\pm1)^{\circ}\text{C}$,湿度 $(70\pm5)\%$,光周期 L/D=14 h/10 h。黄芪以单株单钵培养,待长至高 15~20 cm 时作为蚜虫的供试寄主,生长期不施用任何农药。豆蚜采自甘肃中医药大学定西校区药用植物园黄芪上,在实验室光照培养箱中用黄芪植株饲养 3 代后纯化备用。

1.2 试验方法

1.2.1 试验样品收集

2022 年 5 月 20 日选取长势一致的黄芪苗接入 10 日龄成蚜。设置 4 个虫口密度:10、20、30、40 头/株,以 0 头/株作为空白对照,每虫口密度重复 6 次。在黄芪植株根部套上一张折叠成漏斗状的滤纸,在营养钵下垫一张白纸,滤纸和白纸均用于接住掉落的蚜虫。2 h 后检查蚜虫是否有掉落,并补齐。从接虫之日起,每 12 h 观察 1 次,检查是否有蚜虫掉落,补齐并扫除新产若蚜,接虫后的 2、4、6 d 和 8 d 分别剪取各处理组相同叶位黄芪叶片 1.0 g(下次取样更换同密度组其他重复植株,每个时间点取样的部位相同)进行各生理指标的测定。

1.2.2 测定方法

叶绿素含量采用乙醇法测定^[13];可溶性蛋白含

量采用考马斯亮蓝法测定^[14],以牛血清蛋白作标准曲线;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[15],以葡萄糖作标准曲线;游离氨基酸含量采用茚三酮显色法测定^[16],以亮氨酸作标准曲线。

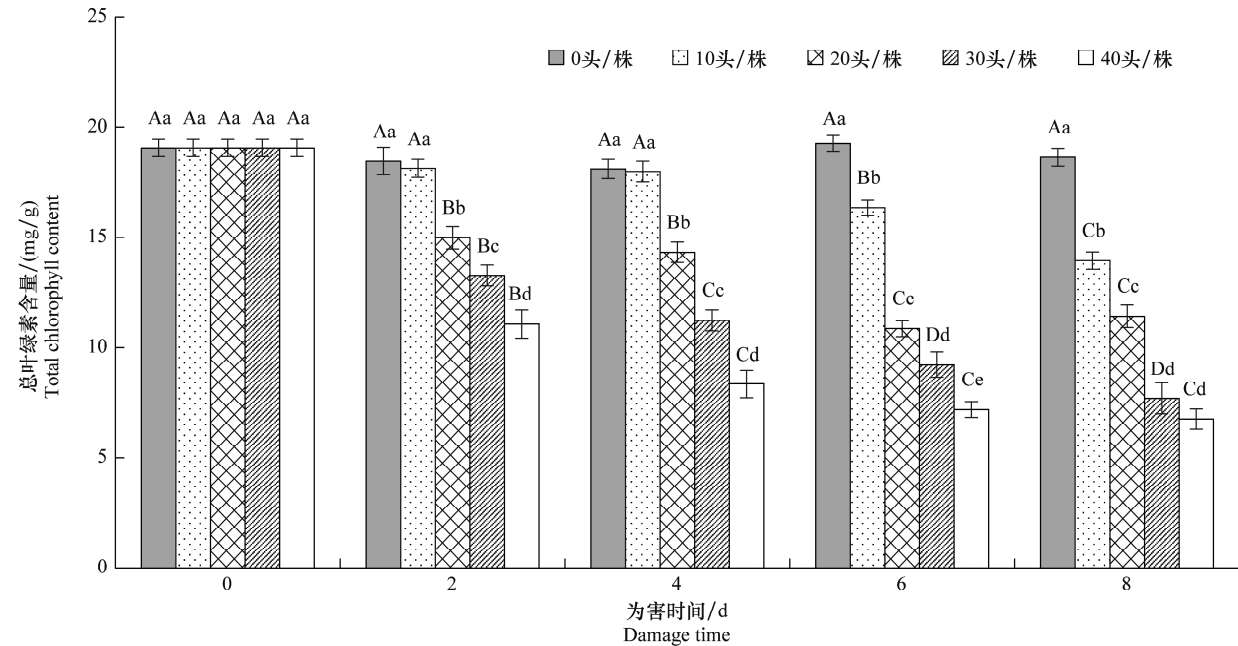
1.3 数据处理方法

试验数据采用 Excel 2019 软件进行数据的整理、计算和作图;采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法做多重比较。

2 结果与分析

2.1 豆蚜为害对黄芪叶片总叶绿素含量的影响

由图 1 可知,无虫害时,黄芪叶片(对照组)总叶绿素含量在处理 2~8 d 无显著变化。在不同虫口密度豆蚜为害下黄芪叶片总叶绿素含量逐渐下降,且随着虫口密度增加,处理时间延长,总叶绿素含量下降越明显;在 10 头/株虫口密度处理下,接虫后 2 d 和 4 d 时,总叶绿素含量与对照无显著性差异($P>0.05$),接虫处理 6 d 和 8 d 时,总叶绿素含量由对照组的 19.06 mg/g 下降为 16.33 mg/g 和 13.95 mg/g,下降幅度为 14.32%和 26.81%,均显著低于对照组、2 d 和 4 d 组($P<0.05$)。在 20 头/株



图中数据为平均值±标准误;不同大写字母表示同一虫口密度不同取食时间之间差异显著(Duncan氏新复极差法, $P<0.05$),不同小写字母表示在同一时间不同虫口密度之间差异显著(Duncan氏新复极差法, $P<0.05$)。图2、图3、图4和图5同。
Data in the chart are mean±SE. Different uppercase letters represent significant differences among different feeding time by Duncan's new multiple range test under the same population density ($P<0.05$); while different lowercase letters represent significant differences among different population densities by Duncan's new multiple range test under the same feeding time ($P<0.05$). The same applies to Fig.2, Fig.3, Fig.4, Fig.5.

图 1 豆蚜为害不同时间对黄芪叶片总叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of feeding duration of *Aphis craccivora* on total chlorophyll content in *Astragalus membranaceus* leaves

虫口密度处理下,总叶绿素含量比 10 头/株密度组下降更明显,接虫处理 2 d 时,总叶绿素含量下降 21.41%,显著低于对照($P<0.05$);接虫处理 6 d 和 8 d 时,总叶绿素含量均显著低于接虫处理 2 d 和 4 d 时($P<0.05$)。在 30 头/株和 40 头/株虫口密度下,接虫处理 2 d 时,总叶绿素含量由对照组的 19.06 mg/g 降低为 13.26 mg/g 和 11.06 mg/g,降低幅度为 30.43%和 41.97%,显著低于对照组($P<0.05$);接虫处理 4、6 d 和 8 d 时总叶绿素含量均显著低于接虫处理 2 d 时($P<0.05$),而 30 头/株密度下在取食 6 d 和 8 d 之间无显著差异;40 头/株处理在取食 4、6 d 和 8 d 之间无显著差异。由图中看出,在相同取食时间下不同虫口密度处理之间其总叶绿素含量也存在不同程度的差异。

2.2 豆蚜为害对黄芪叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 2 可知,黄芪叶片遭受豆蚜取食为害后可溶性蛋白含量有不同程度的降低。在 10、20 头/株和 30 头/株虫口密度下,随着为害时间的延长可溶性蛋白含量先下降,后升高,再下降。如 30 头/株虫口密度下,处理 2 d,可溶性蛋白质含量由对照组的 14.43 mg/g 降低至 10.32 mg/g,处理 4 d 时,升高

至 12.29 mg/g,处理 6 d 时,又降低至 10.67 mg/g,处理 8 d 时,降低至 8.39 mg/g,与对照组相比,降低幅度达 41.86%,显著低于对照组和处理 2、4、6 d 组($P<0.05$)。但虫口密度为 40 头/株时,接虫后 2 d,可溶性蛋白含量由对照组的 14.43 mg/g 降低至 8.80 mg/g,降低幅度达 38.59%,显著低于对照组($P<0.05$),以后各处理时间与处理 2 d 时无显著差异($P>0.05$)。在相同处理时间下,随着虫口密度增大,可溶性蛋白含量也呈下降趋势,不同虫口密度处理之间其蛋白含量存在不同程度的差异。接虫后 2 d,各密度组的可溶性蛋白含量均显著低于同虫口密度对照组($P<0.05$),至 4 d 时,10、20 头/株和 30 头/株处理组可溶性蛋白含量均显著高于同虫口密度处理 2 d 时的水平($P<0.05$),10 头/株虫口密度处理组,可溶性蛋白含量达 13.47 mg/g,达到对照组的水平($P>0.05$);接虫处理 6 d,各密度处理组可溶性蛋白含量又降低至处理 2 d 时的水平。接虫处理 8 d,10 头/株和 30 头/株虫口密度处理组可溶性蛋白含量显著低于处理 6 d 时,而 20 头/株和 40 头/株与处理 6 d 时无显著差异($P>0.05$)。

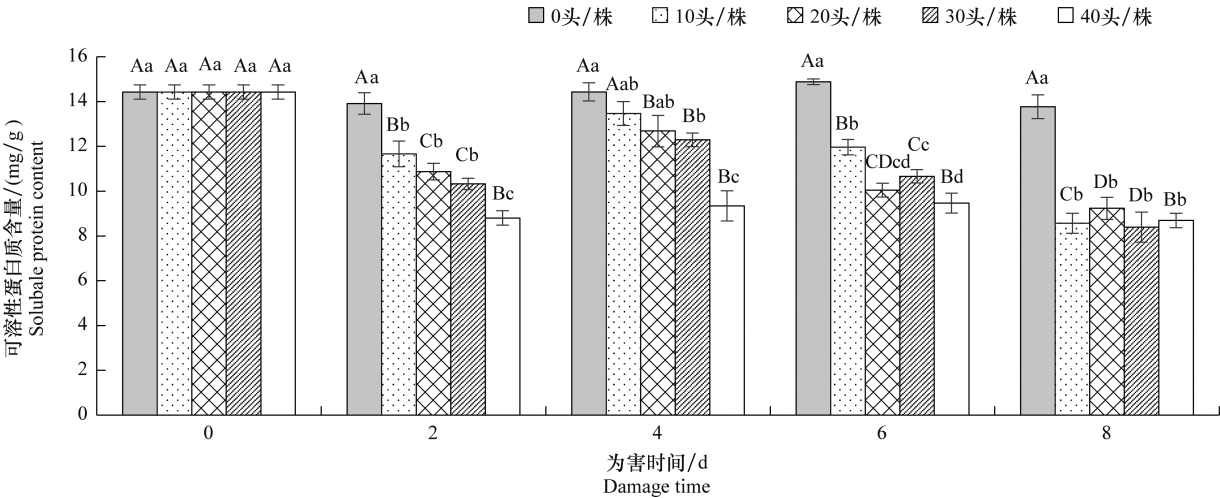


图 2 豆蚜为害不同时间对黄芪叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effects of feeding duration of *Aphis craccivora* on the content of soluble protein in *Astragalus membranaceus* leaves

2.3 豆蚜为害对黄芪叶片可溶性糖含量的影响

由图 3 可知,黄芪叶片遭受豆蚜取食为害后可溶性糖含量有不同程度的降低。豆蚜密度在 10、20 头/株和 30 头/株取食为害后,随着为害时间的延长,黄芪叶片中可溶性糖含量先下降,后升高,

再下降。但在 40 头/株虫口密度处理下,随着为害时间的延长,可溶性糖含量一直呈下降趋势;接虫处理 8 d,可溶性糖含量由对照组的 45.39 mg/g 下降至 27.33 mg/g,下降幅度达 39.79%。在相同处理时间下,可溶性糖含量随着虫口密度的增加也呈

下降趋势,不同虫口密度处理之间其可溶性糖含量存在不同程度的差异。接虫处理 2 d,各虫口密度处理组可溶性糖含量均显著低于同虫口密度对照组 ($P<0.05$);接虫处理 4 d 时,10、20 头/株和 30 头/株虫口密度组可溶性糖含量均显著高于同虫口密度 2 d 时的水平 ($P<0.05$),10 头/株处理组可溶性糖含量为 44.31 mg/g,恢复到对照组的水平 ($P>0.05$);但 40 头/株处理组可溶性糖为 30.70 mg/g,显著低于处理 2 d 时(32.60 mg/g, $P<0.05$)。接虫处理 6 d,10 头/株处理组可溶性糖含量为 43.42 mg/g,与处理 4 d 时无显著性差异(P

>0.05),但显著高于处理 2 d 时的水平($P<0.05$)。20 头/株处理组取食 6 d 后可溶性糖含量降低至 35.71 mg/g,显著低于对照组、处理 2 d 和 4 d 时($P<0.05$)。30 头/株处理组取食 6 d 后可溶性糖含量降低至 34.27 mg/g,显著低于对照和处理 4 d 时水平 ($P<0.05$),与处理 2 d 时无显著差异 ($P>0.05$)。40 头/株处理组取食 6 d 后可溶性糖含量与处理 4 d 时无显著差异($P>0.05$),但与其他处理组存在显著差异。接虫处理 8 d,除对照外其他虫口密度处理组可溶性糖含量均显著低于处理 6 d 时水平 ($P<0.05$)。

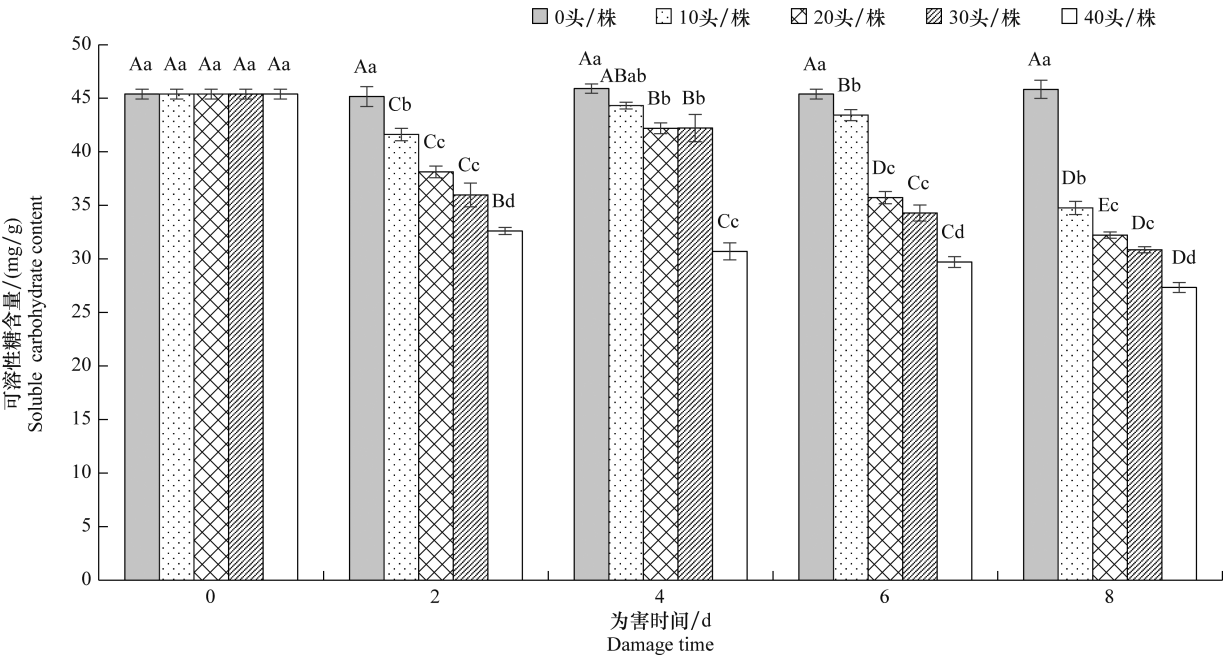


图 3 豆蚜为害不同时间对黄芪叶片可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of feeding duration of *Aphis craccivora* on the content of soluble carbohydrates in *Astragalus membranaceus* leaves

2.4 豆蚜为害对黄芪叶片游离氨基酸含量的影响

由图 4 可知,黄芪叶片遭受豆蚜取食为害后游离氨基酸含量有不同程度的降低。在 10 头/株虫口密度下,随着为害时间的延长,游离氨基酸含量先下降,后升高,再下降。其中接虫处理 2 d,游离氨基酸含量降低至 10.94 $\mu\text{mol/g}$,显著低于对照组的 14.22 $\mu\text{mol/g}$ ($P<0.05$),而处理至 4 d 时其含量为 12.96 $\mu\text{mol/g}$,显著高于处理 2 d 时 ($P<0.05$);接虫处理 6 d 和 8 d 时游离氨基酸含量显著低于对照和处理 4 d 时 ($P<0.05$)。在 20 头/株虫口密度处理下,接虫处理 2 d 和 4 d,游离

氨基酸含量降低至 9.35 $\mu\text{mol/g}$ 和 10.69 $\mu\text{mol/g}$,显著低于对照 ($P<0.05$),处理 6 d 和 8 d 时显著低于处理 4 d 时 ($P<0.05$)。在 30 头/株和 40 头/株虫口密度处理下,接虫处理 2 d,游离氨基酸含量由对照组的 14.22 $\mu\text{mol/g}$ 降低至 8.49 $\mu\text{mol/g}$ 和 7.69 $\mu\text{mol/g}$,降低幅度达 40.30% 和 45.92%,显著低于对照 ($P<0.05$);处理 4、6 d 和 8 d 时,其游离氨基酸含量显著低于对照,但与 2 d 时无显著变化 ($P>0.05$)。同时也可以看出,在相同取食时间的不同虫口密度处理之间其游离氨基酸含量存在不同程度的差异。

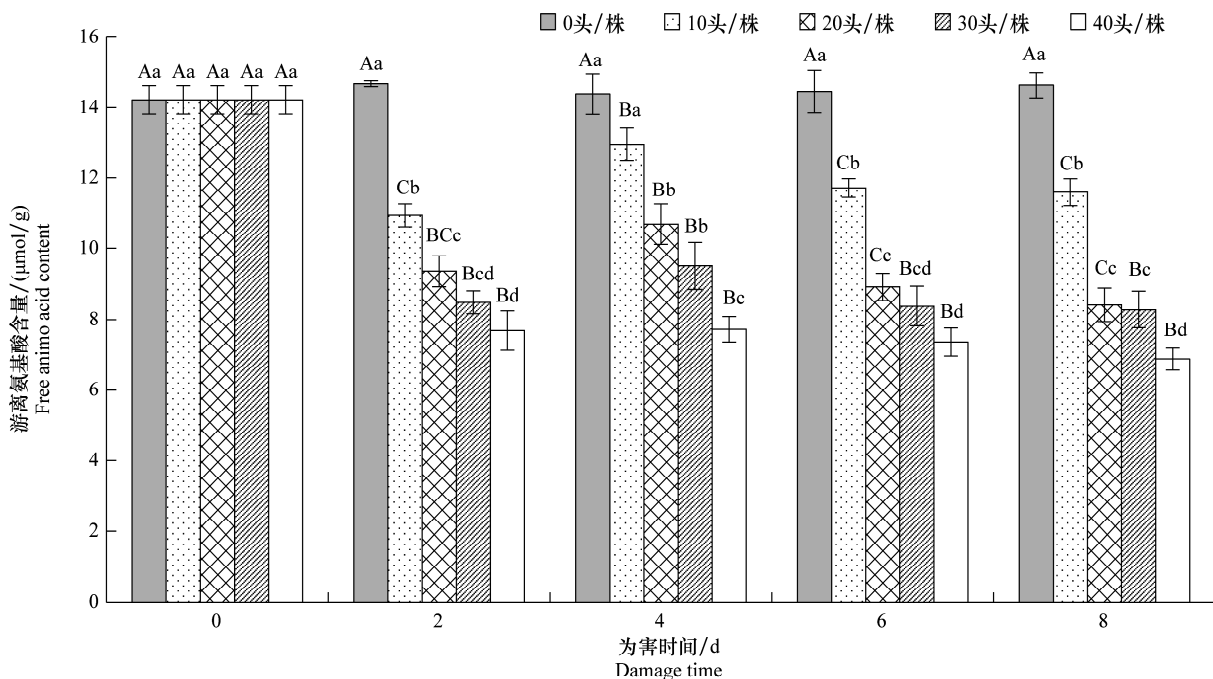


图4 豆蚜为害不同时间对黄芪叶片游离氨基酸含量的影响

Fig. 4 Effects of feeding duration of *Aphis craccivora* on the content of free amino acids in *Astragalus membranaceus* leaves

3 结论与讨论

光合作用是在叶绿体中进行的,叶绿素是位于叶绿体内的重要光合色素,直接参与光合作用中光能的吸收、传递、分配和转化等过程,从而影响植物的生长发育和植物体内有机物的积累^[17-18]。叶绿素含量高低可以在一定程度上反映光合作用水平,叶绿素含量降低,光合作用减弱,导致植物生长发育受限,生产力下降^[19]。

刺吸式口器昆虫为害对寄主植物光合作用有显著的不利影响。当植物遭受蚜虫取食胁迫后,往往出现叶绿体解体,严重时叶绿素合成减少,表现出叶片失绿、变黄或花叶等症状^[10]。研究指出,苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii* 刺吸苜蓿 *Medicago sativa* 幼苗使叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著下降,进而导致叶片对光的利用下降^[20]。张金等的研究表明,随着蚜虫取食时间的延长,忍冬叶片中叶绿素含量与对照相比显著下降,至接种蚜虫 9 d 时,仍维持下降趋势^[10]。本试验结果显示,随着豆蚜对黄芪叶片取食时间的延长,其叶绿素含量明显下降,与张金的研究结果一致。但张玉栋等的研究发现,不同密度棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii* 取食对棉花叶片中叶绿素含量没有显著性影响,但

棉花叶片中叶绿素含量随棉长管蚜为害时间的延长呈现下降趋势^[21]。本试验结果显示,在不同虫口密度处理下,黄芪叶片叶绿素含量不仅随蚜虫密度的增加而不断下降,也随蚜虫为害时间的延长有不同程度的降低,这与张玉栋的试验结果不一致,可能是由于蚜虫种类及不同植物对蚜虫为害的反应不同。

植物在其生活史中,经常会受到害虫的为害,因此植物与害虫的相互关系是在长期协同进化过程中逐渐形成的^[22]。寄主植物可以为植食性昆虫提供可溶性糖、蛋白质、游离氨基酸、无机盐等基础营养物质被昆虫吸收并转化为其生长发育所需的结构物质和能量^[23]。当植物遭受虫害胁迫时,植物可启动多种防御机制从而导致植物体内的营养物质的含量、作用等发生变化^[24-25]。豆蚜的口器为刺吸式,可对植物叶片造成生理性损伤^[26]。

糖、蛋白质和氨基酸是植物生长和植食性昆虫生长发育繁殖所必需的营养物质^[27],同时也是与植物抗性密切相关的抗逆调节物质^[28]。游离氨基酸能调节多种植物生理过程,包括离子运输、气孔开放,影响某些酶的合成与活性等^[29]。关于植物遭受虫害胁迫后叶片内可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量的变化,不同学者的研究结果不尽相同,有

学者认为,植物可通过提高可溶性糖和蛋白含量来提高自身对昆虫为害的抵抗能力,如柑橘潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella* 为害可造成‘纽荷尔脐橙’叶片中可溶性糖和可溶性蛋白含量的增加^[30],棉蚜取食棉花组织后,游离氨基酸含量显著上升^[31]。也有学者认为,植物通过降低体内营养物质合成量来抵御害虫的为害,如瓜蚜为害后,供试寄主植物中可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量显著降低^[32],西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 为害菜豆 *Phaseolus vulgaris* 后,其叶片可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量呈下降趋势^[33]。本研究发现,豆蚜对黄芪叶片取食胁迫后,黄芪叶片的可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量均产生了不同程度的下降,且下降程度与豆蚜的为害程度密切相关。随着为害时间的延长,低、中密度(10、20 头/株和 30 头/株)虫口为害时,均会出现先下降,后升高,再下降的波动,而在高密度(40 头/株)虫口为害下,可溶性糖和可溶性蛋白含量呈一直下降趋势。可能是在低、中密度虫害胁迫下,植物通过重新调整代谢过程,阻碍植食性昆虫取食,启动防御体系造成营养物质变化的波动,而高密度豆蚜为害超过黄芪植株自身所承受的范围,其生理机制遭到破坏,不能通过自身的保护能力抵御昆虫的为害^[34]。

本试验研究了不同虫口密度和不同为害时间豆蚜为害后,黄芪叶片叶绿素和营养物质含量的动态变化,结果表明,中低密度蚜虫为害可诱导植物产生防御反应,植物可通过营养物质减少或次生代谢物质含量的变化来抵御害虫的为害,同时达到自我保护的目的,高密度为害虽然同样可诱导植株产生防御反应,但其植株生长和生理特征所受的破坏往往难以恢复。这种破坏是否对黄芪品质同样造成难以恢复的影响,去除中低密度虫口为害和较短时间为害后黄芪品质能否恢复到对照水平,有待做进一步研究。

参考文献

- [1] 文礼章. 国外豆蚜研究概述[J]. 植物保护, 1987, 13(4): 47-49.
- [2] 张润志, 张蓉. 宁夏为害枸杞的蚜虫种类为棉蚜、桃蚜和豆蚜[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 218-222.
- [3] 高少康, 董田, 郝佳伟, 等. 不同药剂对黄芪豆蚜的室内生物活性测定及田间防效试验[J]. 农药, 2021, 60(8): 617-620.
- [4] 司升云, 望勇, 杨帆, 等. 豆类蔬菜豆蚜的鉴别与防治[J]. 长江蔬菜, 2002(5): 43-45.
- [5] 刘昌燕, 万正煌, 焦春海, 等. 吡虫啉亚致死剂量对豆蚜生长发育和种群参数的影响[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(23): 89-91.
- [6] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 316.
- [7] 赵信科, 王新强, 蒋虎刚, 等. 黄芪有效活性成分防治心肌纤维化的研究现状[J]. 中国临床药理学杂志, 2023, 39(4): 593-597.
- [8] 李天梅, 温远平, 罗培, 等. 黄芪及其活性成分通过调节脂质代谢防治动脉粥样硬化的作用机制研究进展[J]. 山东医药, 2023, 63(5): 85-87.
- [9] 李琳琳. 棉蚜对枸杞寄主适应性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2017.
- [10] 张金, 孙秀娟, 石岩, 等. 蚜虫为害对忍冬叶片防御酶活性及初生代谢的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(8): 57-60.
- [11] PINTO M S, SIQUEIRA F P, OLIVEIRA A E, et al. A wounding-induced PPO from cowpea (*Vigna unguiculata*) seedlings [J]. Phytochemistry, 2008, 69(12): 2297-2302.
- [12] BARBEHENN R, DUKATA C, HOLT C, et al. Feeding on poplar leaves by caterpillars potentiates foliar peroxidase action in their guts and increases plant resistance [J]. Oecologia, 2010, 164(4): 993-1004.
- [13] 李合成. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 142-143.
- [15] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 127-128.
- [16] 杜新慧. 麦株蚜虫密度对供钾水平的响应及其生理生化机制[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [17] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629-636.
- [18] FROMME P, MELKOZERNOV A, JORDAN P, et al. Structure and function of photosystem I: interaction with soluble electron carriers and external antenna systems [J]. FEBS Letters, 2003, 555(1): 40-44.
- [19] 王璐, 张小琴, 李萍, 等. 温度和 CO₂ 浓度升高对甜椒光合生理和虫害发生的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(2): 4022-4030.
- [20] 兰金娜, 刘长仲. 苜蓿斑蚜刺吸胁迫对苜蓿幼苗的生理影响[J]. 植物保护, 2007, 33(6): 74-77.
- [21] 张玉栋, 吴娜, 蔡晓虎, 等. 棉长管蚜危害对棉花生理生化及其相关防御酶的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(11): 2065-2075.
- [22] 陈建明, 俞晓平, 程家安, 等. 植物耐虫性研究进展[J]. 昆虫学报, 2005, 48(2): 262-272.

- erodera avenae* group species by morphometrics and rDNA-RFLPs [J]. *Nematology*, 1999, 1(2): 195–207.
- [8] SUBBOTIN S A, VOVLAS N, CROZZOLI R, et al. Phylogeny of *Criconeematina* Siddiqi, 1980 (Nematoda: Tylenchida) based on morphology and D2-D3 expansion segments of the 28S-rRNA gene sequences with application of a secondary structure model [J]. *Nematology*, 2005, 7(6): 927–944.
- [9] KATOH K, STANDLEY D M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: Improvements in performance and usability [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2013, 30(4): 772–780.
- [10] MILLER M A, PFEIFFER W, SCHWARTZ T. Creating the CIPRES science gateway for inference of large phylogenetic trees [C]//Proceedings of the 2010 Gateway Computing Environments Workshop (GCE), 2010: 1–8.
- [11] RONQUIST F, HUELSENBECK J P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models [J]. *Bioinformatics*, 2003, 19(12): 1572–1574.
- [12] STAMATAKIS A, HOOVER P, ROUGEMONT J. A rapid bootstrap algorithm for the RAxML web servers [J]. *Systematic Biology*, 2008, 57(5): 758–771.
- [13] FELSENSTEIN J. Evolutionary trees from DNA sequences: A maximum likelihood approach [J]. *Journal of Molecular Evolution*, 1981, 17(6): 368–376.
- [14] 向超, 彭德良, 彭焕, 等. 柑橘半穿刺线虫特异性 PCR 检测方法[J]. *植物保护学报*, 2019, 46 (6): 1377–1378.
- [15] 王春梅, 张秋明, 罗齐克, 等. 柑橘黄龙病病原 DNA 提取方法比较[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(5): 1341–1344.
- [16] JAGOUEIX S, BOVE J M, GARNIER M. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the alpha subdivision of the Proteobacteria [J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1994, 44(3): 379–386.
- [17] SIDDIQI M R C I H. Descriptions of plant-parasitic nematodes-*Tylenchulus semipenetrans* [M]. Wallingford: Commonwealth Institute of Helminthology, 1974.
- [18] DUNCAN L W. Nematode parasites of citrus [M]//BRIDGE J, PLOWRIGHT R A, PENG D. Plant parasite nematodes in subtropical and tropical agriculture. CAB International, 1990: 321–343.
- [19] 向超, 彭德良, 彭焕, 等. 柑橘半穿刺线虫发生与防治研究进展[J]. *华北农学报*, 2018, 33(1): 259–267.
- [20] 高小倩. 福建省柑橘线虫病害的诊断与防治[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [21] OTEIFA B A, SHAARAWI A T. Observations on the citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* Cobb in United Arab Republic [J]. *Nematologica*, 1962, 8(4): 267–271.
- [22] STOYANOV D. Some nematological problems in citrus crops in Cuba [J]. *Revista De Agricultura Cuba*, 1971, 4(2): 65–71.
- [23] INSERRA R N, VOVLAS N, O'BANNON J H. A classification of *Tylenchulus semipenetrans* biotypes [J]. *Journal of Nematology*, 1980, 12(4): 283–287.
- [24] 宋志强, 成飞雪, 程菊娥, 等. 湖南省永州地区柑橘慢衰病与黄龙病病原鉴定及分布调查[J]. *植物保护*, 2016, 42(4): 189–193.
- [25] 邓光宙, 邱柱石, 李柳洪, 等. 阳朔金柑黄龙病初探[J]. *南方园艺*, 2007, 18(2): 19–21.
- [26] 谢钟琛, 李健. 金柑黄龙病表现“红鼻果”症状[J]. *东南园艺*, 2012(1): 16.
- [27] VERDEJO-LUCAS S, MCKENRY M V. Management of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* [J]. *Journal of Nematology*, 2004, 36(4): 424–432.
- [28] 洪彩凤, 刘国坤, 张绍升, 等. 福建省柑橘半穿刺线虫雌虫食线虫真菌的鉴定[J]. *森林与环境学报*, 2007, 27(3): 263–266.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 99 页)

- [23] 王琛柱, 张青文, 杨奇华, 等. 植物抗虫性的化学基础[J]. *植物保护*, 1993(6): 39–41.
- [24] 杨金睿, 肖关丽. 植物抗虫生理研究进展[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(6): 130–136.
- [25] 温娟, 邹军锐, 吕召云, 等. 二斑叶螨为害对番茄叶片主要营养物质和防御酶活性的影响[J]. *环境昆虫学报*, 2017, 39(1): 172–180.
- [26] 贾尊尊, 付开赞, 丁新华, 等. 烟粉虱持续取食对棉花叶片防御酶活性、营养物质和代谢产物含量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(4): 916–924.
- [27] 王蕤, 巨关升, 秦锡祥. 毛白杨树皮内含物对光肩星天牛抗性的探讨[J]. *林业科学*, 1995, 31(2): 185–187.
- [28] 高勇, 门兴元, 于毅, 等. 绿盲蝽危害后枣、桃、樱桃、葡萄叶片生理代谢指标的变化[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(22): 4627–4634.
- [29] NAVA-CAMBEROS U, RILEY D G, HARRIS M K. Density-yield relationships and economic injury levels for *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) in cantaloupe in Texas [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94(1): 180–189.
- [30] 刘婉华. 潜叶害虫对柑橘属植物叶片形态和生理生化的影响[D]. 赣州: 赣南师范大学, 2016.
- [31] 马妍, 张帅, 雒珺瑜, 等. 棉蚜取食对苗期棉花游离氨基酸含量的影响[J]. *棉花学报*, 2020, 32(4): 360–369.
- [32] 李艳艳, 周晓蓉, 庞保平. 瓜蚜为害对寄主植物主要营养物质和次生物质的影响[J]. *环境昆虫学报*, 2013, 35(1): 49–54.
- [33] 从春蕾, 邹军锐, 谢路飞, 等. 西花蓟马为害对菜豆叶绿素及营养物质含量的影响[J]. *植物保护*, 2013, 39(2): 20–24.
- [34] SHIPP J L, HAO X, PAPADOPOULOS A P, et al. Impact of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on growth, photosynthesis and productivity of greenhouse sweet pepper [J]. *Scientia Horticulturae*, 1998, 72(2): 87–102.

(责任编辑: 杨明丽)