



间作芹菜对辣椒抗烟粉虱特性的影响

衡 森^{1,2} 任锦彦¹ 韩杜斌¹ 陈向荣¹ 吴晓霞³ 苏宏华¹ 周福才^{1*}

(1. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009; 2. 扬州市生态科技新城泰安镇农业农村局, 江苏 扬州 225113;

3. 扬州大学生物科学与技术学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:为探索芹菜 *Apium graveolens* 对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的防控机理,以盆栽芹菜和辣椒 *Capsicum annuum* 为试材,以不同密度进行间作,分析间作芹菜对辣椒上烟粉虱的发育历期和存活率以及辣椒叶片中抗烟粉虱相关物质含量的影响。结果表明,间作芹菜对辣椒上烟粉虱若虫的发育历期和存活率有显著影响,芹菜密度越大,辣椒上烟粉虱若虫的发育历期越长,存活率越低,当辣椒与芹菜以2:1、2:2和2:3的密度间作时,辣椒上烟粉虱从卵到伪蛹的发育历期分别较对照显著延长了5.47%、9.76%和16.64%,存活率分别较对照降低了20.85%、16.65%和54.15%。间作芹菜对辣椒体内抗烟粉虱相关生化物质的含量也存在显著影响,芹菜间作密度越大,辣椒叶片中可溶性糖、类黄酮和总酚的含量越高,脯氨酸含量则呈下降趋势,当辣椒与芹菜以2:1、2:2和2:3的密度间作10 d后,辣椒叶片中脯氨酸含量分别较对照显著降低了20.23%、19.72%和29.98%,可溶性糖含量分别较对照升高了23.92%、30.20%和37.25%,类黄酮含量分别较对照升高了15.70%、24.92%和27.08%,总酚含量分别较对照升高了36.80%、30.40%和8.80%。表明间作芹菜可以引起辣椒叶片中抗烟粉虱相关物质含量的变化,进而有利于增强辣椒对烟粉虱的抗生性。

关键词: 芹菜; 辣椒; 间作; 烟粉虱; 抗生性; 生物防治

Effects of intercropping with celery on the resistance of pepper to tobacco whitefly *Bemisia tabaci*

Heng Sen^{1,2} Ren Jinyan¹ Han Dubin¹ Chen Xiangrong¹ Wu Xiaoxia³ Su Honghua¹ Zhou Fucui^{1*}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China;

2. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Tai'an Town of Yangzhou Biodiverse and Sci-Tech City, Yangzhou

225113, Jiangsu Province, China; 3. College of Biological Science and Technology,

Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China)

Abstract: In order to further explore the control mechanism of celery *Apium graveolens* on the whitefly *Bemisia tabaci*, the effects of intercropping with celery on the development and survival of whiteflies on pepper plants and the whitefly-resistant metabolites in pepper leaves were investigated. The results showed that intercropping with celery affected the developmental duration and the survival rate of whiteflies on pepper plants. With increasing density of celery, the nymph survival rate and the developmental duration increased. When the ratios of pepper: celery were 2:1, 2:2, and 2:3, the developmental duration from egg to pseudopupa on pepper plants was significantly increased by 5.47%, 9.76%, 16.64%, and the whitefly survival rate was decreased by 20.85%, 16.65%, 54.15%, respectively. Intercropping with celery also had effects on the metabolites unfavorable to whiteflies. After ten days of intercropping, the proline content was decreased by 20.23%, 19.72% and 29.98%; the soluble sugar con-

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD000702), 江苏省农业科技自主创新资金资助项目(CX(21)3037)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: fczhou@yzu.edu.cn

收稿日期: 2021-01-17

tent was increased by 23.92%, 30.20% and 37.25%; the flavonoid content was increased by 15.70%, 24.92% and 27.08%, and the total phenol content was increased by 36.80%, 30.40% and 8.80%, respectively, compared with the control. These results indicate that celery intercropping could alter the content of metabolites in pepper leaves, which might affect whitefly development.

Key words: *Apium graveolens*; *Capsium annunna*; intercropping; *Bemisia tabaci*; antibiosis; biological control

化感作用是一种植物(包括微生物)通过向环境释放化学物质而对另一种植物(包括微生物)产生直接或间接的有害或有益的作用。化感作用物质几乎存在于植物所有器官中,如叶、根、花、果和种子等,这些物质的含量虽然很少,但有时候能强烈影响植物自身或其他植物的生长(李雪利等,2009)。植物化感作用物质的释放方式主要有根分泌、淋洗、挥发和植物残体分解4种,萜类化合物是主要的挥发性化感物质,这些物质挥发到空气中或被植物直接吸收,或随着雾、降水进入土壤根系,对其他植物或母体植物种群产生化感作用(潘柳廷,2009),如冬小麦 *Triticum aestivum* 释放的化感物质能抑制茅草 *Imperata cylindrica* 生长,大麦 *Hordeum vulgare* 释放的化感物质可抑制繁缕 *Stellaria media* 生长(胡江春和王书锦,1996);番茄 *Lycopersicon esculentum* 叶、茎和根的水提物可以抑制茄子 *Solanum melongena* 和生菜 *Lactuca sativa* var. *ramosa* 幼苗生长,使干物质量平均降低30%,根分泌物及植株挥发物也可使生菜的干物质量降低(Kim & Kim,1987)。不同植物化感物质的释放方式不尽相同,有的以其中一种方式为主,而有的则同时兼具多种方式。蒿类植物会挥发释放萜类物质,这些萜类物质以水汽状被周围植物吸收或溶入露水中进入土壤被植物根系吸收,从而影响其生长(宋君,1990)。巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *urophylla* 枯落物的水浸液对水稻 *Oryza sativa* 种子的发芽势具有显著抑制作用,黄顶菊 *Flaveria bidentis*、三叶鬼针草 *Bidens pilosa* 和胜红蓟 *Ageratum conyzoides* 这3种入侵植物的叶片挥发物对旱稻幼苗初生根的结构以及根系发育的影响随着植物种类和挥发物浓度不同而呈现不同的特点(张凤娟等,2011)。

诱导抗性是植物在生物或非生物因子刺激后产生的一系列防御反应。诱导防御产生的理化反应在某种程度上会更大程度地启动物理和化学防御,从而使植食性昆虫的生长发育以及种群建立的依赖条件遭受破坏,因此这种诱导的防御抗性具有“开-关”效应(娄永根和程家安,1997)。诱导的抗性有时

还有继代效应,被害植物中所诱导的抗性在第2代个体中能继续保持(Agrawal,1999)。如烟粉虱 *Bemisia tabaci* 种群趋势指数与寄主植物体内可溶性糖、酚类化合物和黄酮类化合物的含量呈显著负相关,与游离脯氨酸含量呈显著正相关(杨爱民等,2016;何菁等,2017)。

芹菜 *Apium graveolens* 是烟粉虱的非寄主植物,在茄果类蔬菜田间作芹菜对烟粉虱有较好的控制作用(衡森等,2017a,b;陆海锋等,2017)。关于芹菜对烟粉虱控制作用的机理一般认为芹菜叶片中存在对烟粉虱具有驱避作用的挥发性物质,如柠檬烯和 α -蒎烯等(邬亚红等,2019)。为进一步探索芹菜对烟粉虱的防控机理,本研究以盆栽芹菜为对象,分析芹菜挥发物对辣椒抗烟粉虱相关物质的诱导及对烟粉虱生长发育的影响,探讨芹菜对辣椒上烟粉虱种群的生理生态防御机制,以期对辣椒上烟粉虱的绿色防控提供新方法。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:辣椒品种为新苏椒5号,种子由江苏省农业科学院蔬菜研究所提供;芹菜品种为中华药芹,种子市购。将2种植物种子催芽后播于穴盘内,放置在单层薄膜覆盖的大棚中,大棚温度为15~20℃,自然光照,待辣椒幼苗长出2~3片真叶、芹菜幼苗长到15 cm左右时,选长势相近、健壮的辣椒和芹菜幼苗分别单株移栽于高20 cm、直径为15 cm的花盆内,用防虫网罩住,以获取健康的寄主植物。统一肥水管理,待辣椒长至8片真叶、芹菜长至株高20 cm左右时供试。

供试虫源:Q型烟粉虱成虫采集自扬州大学园艺与植物保护学院试验田,在扬州大学文汇路校区养虫室用黄瓜 *Cucumis sativus* 繁殖3代后取初羽化成虫供试,养虫室温度为25~28℃,自然光照。

试剂和仪器:可溶性糖、脯氨酸、类黄酮、总酚检测试剂盒,苏州科铭生物科技有限公司;其余试剂均为国产分析纯。Bio-Tek SYNERGY2 酶标仪,美国

伯乐公司;SOPTOP SZM45-ST2显微镜,舜宇光学科技公司。

1.2 方法

1.2.1 烟粉虱生长发育的观察

间作试验在扬州大学文汇路校区的温室大棚内进行。共设3个间作密度,每个间作密度设置3个小区,即3次重复。每个小区长6 m、宽2 m,各小区分别罩1个长6 m、宽2 m、高1.5 m的养虫笼,辣椒与芹菜按行数进行间作,每行辣椒和芹菜均为10盆,盆间距均为50 cm,辣椒行间距为40 cm,间作密度分别为2:1、2:2和2:3,即辣椒均为6行,芹菜分别为3、6和9行,将芹菜按行均匀间作于辣椒行间,对照组不间作芹菜,为6行辣椒。选取长势一致的辣椒,每株辣椒选择上、中、下3片叶接烟粉虱成虫,将叶片均用长6 cm、宽5 cm的养虫网套住,避免逃逸,每株共接种50头,让其自由产卵,以保证各个植株上有充足的卵数。24 h后将成虫去除,每株保留20粒卵。选取5株卵分布较均匀的寄主进行标记,每天于07:00和17:00观察2次,分别记录发育到1、2、3龄若虫和伪蛹(4龄若虫)以及成虫的数量及天数。并计算在芹菜不同间作密度下辣椒上烟粉虱各个虫态的发育历期及存活率。试验重复5次。

烟粉虱1~3龄若虫和伪蛹判断标准:1龄若虫可移动取食,呈椭圆形,长约0.27 mm,有3对足(4节)和1对触角(3节),腹部平,背部微隆起,淡绿色至黄色,腹部透过表皮可见2个黄点;2~3龄若虫可固定在植株上取食,足和触角退化至只有1节,体缘分泌蜡质,体呈椭圆形,腹部平,背部微隆起,淡绿色至黄色,2、3龄若虫体长分别约为0.36 mm和0.50 mm;伪蛹(4龄若虫)的蛹壳呈淡黄色,长0.6~0.9 mm,边缘薄或自然下垂,无周缘蜡丝,背面有17对粗壮的刚毛或无毛,有2根尾刚毛,后期形成成虫的雏形,双眼红色,体黄色。

1.2.2 芹菜间作下辣椒叶片中可溶性糖含量的测定

分别于1.2.1间作处理后第1、10、20天每行随机采集5株辣椒的上、中、下叶片各3片,将同一间作处理的辣椒叶片样品剪碎混匀供试。

采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。分别称取每个间作密度处理的剪碎混匀的辣椒叶片0.1 g,加入1 mL蒸馏水研磨成匀浆,倒入有盖离心管中,95℃水浴10 min,冷却后以8 000 g在25℃下离心10 min,取上清液置于10 mL试管中,用蒸馏水定容至10 mL,摇匀待测。参照可溶性糖检测试剂盒说明书配制工作液,即在蒽酮中加入2.5 mL硫酸,充分

溶解后备用。在空白管中加入80 μ L蒸馏水、20 μ L工作液、200 μ L浓硫酸。测定管中加入40 μ L样本待测液、40 μ L蒸馏水、20 μ L工作液、200 μ L浓硫酸,混匀,于95℃水浴10 min,冷却至室温后,于620 nm波长处分别读取空白管和测定管的吸光值,并计算鲜重样本中的可溶性糖含量。

1.2.3 芹菜间作下辣椒叶片中类黄酮含量的测定

取部分收集的各间作密度处理辣椒叶片烘干至恒重,粉碎,过0.425 mm筛网后,分别称取每个间作处理叶片0.02 g,加入60%乙醇2 mL,于60℃振荡提取2 h,以10 000 g在25℃下离心10 min,取上清液待测。参照类黄酮检测试剂盒说明书进行操作,在空白管中加入108 μ L蒸馏水,在测定管中加入108 μ L样本待测液,再分别加入6 μ L亚硝酸钠溶液,混匀后于25℃静置6 min,再加入6 μ L硝酸铝溶液,混匀后于25℃静置6 min,最后加入80 μ L氢氧化钠溶液,混匀后于25℃静置15 min,于510 nm波长处分别读取空白管和测定管的吸光值,并计算干重样本中的类黄酮含量。

1.2.4 芹菜间作下辣椒叶片中脯氨酸含量的测定

采用茚三酮显色法测定脯氨酸含量。分别称取每个间作密度处理的剪碎混匀的辣椒叶片0.1 g,加入1 mL磺基水杨酸进行冰浴匀浆,之后于95℃水浴振荡提取10 min;25℃下以10 000 g离心10 min,取上清液,冷却后待测。参照脯氨酸检测试剂盒说明书进行操作,取样本待测液、冰乙酸和酸性茚三酮溶液各0.25 mL加入有盖EP管中,于95℃水浴保温30 min,每10 min振荡1次,待冷却至室温后,加入0.5 mL甲苯,振荡30 s,静置片刻,使色素转移至甲苯中;于520 nm波长处测定其吸光值,并计算鲜重样本中的脯氨酸含量。

1.2.5 芹菜间作下辣椒叶片中总酚含量的测定

取部分收集的各间作密度处理辣椒叶片烘干至恒重,粉碎,过0.425 mm筛网之后,分别称取每个处理叶片0.1 g,加入60%乙醇2.5 mL,于60℃振荡提取2 h。以10 000 g于25℃下离心10 min,取上清液,用提取液定容至2.5 mL,待测。参照总酚检测试剂盒说明书进行操作,在对照管中加入10 μ L样本待测液,混匀,25℃静置2 min,加入50 μ L碳酸钠和140 μ L H₂O,混匀后于25℃静置10 min。测定管中加入10 μ L样本待测液和50 μ L钨钼酸,混匀,25℃静置2 min,加入50 μ L碳酸钠和90 μ L H₂O,混匀,25℃静置10 min;于760 nm波长处测定其吸光值,并计算干重样品中的总酚含量。

1.3 数据分析

试验数据采用DPS 1.0.0-118软件进行统计分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 芹菜间作对辣椒上烟粉虱生长发育的影响

辣椒与芹菜以2:1、2:2和2:3的密度间作,观察并统计辣椒上接入的烟粉虱不同虫态以及若虫不同龄期的发育历期和存活率。结果表明,芹菜间作对

辣椒上烟粉虱的发育历期有显著影响,芹菜密度越大,辣椒上烟粉虱的发育历期越长,当辣椒与芹菜间作密度为2:1、2:2和2:3时,烟粉虱从卵到伪蛹的发育历期分别较对照显著延长了5.47%、9.76%和16.64%(表1)。当辣椒与芹菜间作密度为2:1和2:2时,2龄若虫的发育历期延长幅度相对较大,分别较对照延长了17.71%和17.01%;当辣椒与芹菜间作密度为2:3时,3龄若虫的发育历期延长幅度相对较大,较对照显著延长了26.09%(表1)。

表1 辣椒与芹菜不同间作密度下辣椒上烟粉虱的发育历期

Table 1 The developmental durations of <i>Bemisia tabaci</i> on pepper under different intercropping densities of pepper and celery d						
处理	卵	1龄若虫	2龄若虫	3龄若虫	伪蛹(4龄若虫)	Σ (卵-伪蛹)
Treatment	Egg	1st instar nymph	2nd instar nymph	3rd instar nymph	Pseudopupa (4th instar nymph)	Σ (Egg-pseudopupa)
CK	5.92±0.18 bc	3.57±0.09 a	2.88±0.12 a	6.21±0.22 c	4.08±0.20 a	22.65±0.33 d
2:1	5.63±0.22 c	3.78±0.09 a	3.39±0.13 a	6.86±0.13 b	4.22±0.32 a	23.89±0.23 c
2:2	6.46±0.16 ab	3.77±0.16 a	3.37±0.21 a	6.95±0.17 b	4.31±0.15 a	24.86±0.36 b
2:3	6.61±0.20 a	4.00±0.34 a	3.28±0.27 a	7.83±0.24 a	4.69±0.21 a	26.42±0.23 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

芹菜间作对辣椒上烟粉虱的存活率也有显著影响,随着芹菜间作密度的增大,辣椒上烟粉虱的存活率呈下降趋势,当辣椒与芹菜间作密度为2:1、2:2和2:3时,烟粉虱从卵到伪蛹的存活率分别较对照降低了20.85%、16.65%和54.15%(表2)。当辣椒与

芹菜间作密度为2:2和2:3时,烟粉虱卵和1龄若虫所受影响最大,存活率分别较对照降低了18.86%、20.79%和32.07%、35.06%;当辣椒与芹菜间作密度为2:1时,烟粉虱3龄若虫所受影响最大,存活率较对照降低了14.16%(表2)。

表2 辣椒与芹菜不同间作密度下辣椒上烟粉虱的存活率

Table 2 Survival rates of <i>Bemisia tabaci</i> on pepper under different intercropping densities of pepper and celery %						
处理	卵	1龄若虫	2龄若虫	3龄若虫	伪蛹(4龄若虫)	Σ (卵-伪蛹)
Treatment	Egg	1st instar nymph	2nd instar nymph	3rd instar nymph	Pseudopupa (4th instar nymph)	Σ (Egg-pseudopupa)
CK	88.33±3.80 a	64.17±5.69 a	63.40±2.85 a	65.68±6.23 a	82.78±5.72 a	20.00±2.58 a
2:1	86.67±3.80 a	61.67±4.22 a	65.88±3.95 a	56.38±4.94 a	81.53±6.94 a	15.83±3.27 ab
2:2	71.67±2.79 b	50.83±3.96 ab	72.21±1.97 a	66.84±3.88 a	79.72±5.28 a	16.67±2.11 ab
2:3	60.00±3.42 c	41.67±5.58 b	69.08±3.50 a	59.52±11.92 a	73.61±9.23 a	9.17±2.01 b

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.2 芹菜间作对辣椒叶片中可溶性糖含量的影响

芹菜间作对辣椒叶片中可溶性糖含量也存在显著影响,芹菜间作密度越大,辣椒叶片中可溶性糖的含量越高,当辣椒与芹菜以2:1、2:2和2:3的密度间作10 d后,辣椒叶片中可溶性糖含量分别较对照升高了23.92%、30.20%和37.25%(表3)。随着间作时间的延长,辣椒叶片中可溶性糖含量先下降后上升,如辣椒与芹菜间作密度为2:1时,间作1、10和20 d后辣椒叶片中可溶性糖含量分别为4.84、3.16和3.55 mg/g,表明芹菜间作可以提高辣椒叶片中可溶性

糖的含量,可溶性糖含量与芹菜间作密度呈正相关。

2.3 芹菜间作对辣椒叶片中脯氨酸含量的影响

芹菜间作对辣椒叶片中脯氨酸含量存在显著影响,随着芹菜密度的增加,脯氨酸含量总体呈下降趋势,当辣椒与芹菜间作密度为2:1、2:2和2:3时,间作10 d后辣椒叶片中脯氨酸含量分别较对照显著下降了20.23%、19.72%和29.98%(表3)。但随着间作时间的延长,辣椒叶片中脯氨酸含量没有显著变化,表明芹菜间作可以降低辣椒叶片中脯氨酸的含量,脯氨酸含量与芹菜间作密度呈负相关,而与间作时

间无显著相关性。

2.4 芹菜间作对辣椒叶片类黄酮和总酚含量的影响

芹菜间作对辣椒叶片中类黄酮含量有显著影响,随着芹菜密度的增加,类黄酮含量总体呈上升趋势,当辣椒与芹菜间作密度为2:1、2:2和2:3时,间作10 d后辣椒叶片中类黄酮含量分别较对照升高了15.70%、24.92%和27.08%(表3)。随着间作时间的延长,辣椒叶片中类黄酮含量呈现下降趋势,当辣椒

与芹菜间作密度为2:2时,间作1、10、20 d后辣椒叶片中类黄酮含量分别为4.62、4.06和3.76 mg/g。

芹菜间作对辣椒叶片中的总酚含量也存在显著影响,当辣椒与芹菜间作密度为2:1、2:2和2:3时,间作10 d后辣椒叶片中总酚含量分别较对照升高了36.80%、30.40%和8.80%,但不同间作密度之间均无显著差异(表3)。

表3 辣椒与芹菜不同间作密度下辣椒叶片中抗性相关物质含量的变化

Table 3 Changes of resistance-related substances in pepper leaves under different intercropping densities of pepper and celery mg/g

相关物质 Related substance	间作时间 Intercropping time/d	CK	2:1	2:2	2:3
可溶性糖 Soluble sugar	1	4.17±0.06 BCa	4.84±0.26 Ba	5.29±0.15 ABa	5.76±0.76 Aa
	10	2.55±0.07 BCc	3.16±0.15 Bc	3.32±0.18 ABb	3.50±0.32 Ab
	20	3.28±0.23 Bb	3.55±0.12 Bb	3.77±0.22 Aab	3.73±0.40 Ab
脯氨酸 Proline	1	48.29±0.90 Ac	40.74±3.52 Ba	41.59±1.11 Ba	35.62±1.22 Ca
	10	50.91±2.75 Ab	40.61±2.60 Ba	40.87±4.68 Ba	35.64±3.82 Ca
	20	83.00±1.36 Aa	41.89±2.50 Ba	44.73±2.74 Ba	30.37±2.31 Ca
类黄酮 Flavonoid	1	3.87±0.34 Aa	4.07±0.09 Aa	4.62±0.28 Aa	4.46±0.07 Aa
	10	3.25±0.87 Aa	3.76±0.12 Aa	4.06±0.64 Aa	4.13±0.21 Aa
	20	3.57±0.51 Aa	3.11±0.96 Aa	3.76±0.22 Aa	3.00±0.50 Ab
总酚 Total phenol	1	1.71±0.06 Aa	1.73±0.21 Aa	1.78±0.23 Aa	1.63±0.05 Aa
	10	1.25±0.18 Ab	1.71±0.22 Aa	1.63±0.21 Aa	1.36±0.16 Aa
	20	1.20±0.05 Ab	1.35±0.19 Aa	1.48±0.16 Aa	1.39±0.08 Aa

表中数据为平均数±标准误。同行不同大写字母和同列不同小写字母分别表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different uppercase letters in the same row and different lowercase letters in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

3 讨论

挥发性化感物质可以直接或间接调控昆虫行为,控制害虫的种群密度,因此是害虫治理的重要手段(Shelton & Badenes-Perez, 2006; 陆宴辉等, 2008)。驱避植物是对某种昆虫的取食选择性具有驱避作用,可以作为植物源驱避剂进行开发的一类植物(潘鹏亮, 2016)。有些挥发物还有抑制昆虫产卵和延长雌成虫产卵前期等作用(李晓颖等, 2011)。芹菜叶片中一些挥发性物质对烟粉虱具有驱避作用,在茄果类蔬菜中间作芹菜可以有效控制烟粉虱(朱培祥等, 2011; 衡森等, 2017b); 喷施浓度为100%的芹菜汁液对烟粉虱的驱避效果可达85%以上(钟苏婷等, 2009),表明芹菜对烟粉虱有较好的抗选择性。本研究通过进一步分析间作芹菜对辣椒体内抗烟粉虱相关生化物质的变化,发现芹菜在直接驱避烟粉虱的同时,也会改变辣椒自身抗生性,进而达到对烟粉虱的抗选择性。

植物体内的氨基酸和可溶性糖是植食性昆虫重要的营养物质,对于大部分植食性昆虫,氨基酸和可溶性糖含量与昆虫的发育历期呈正相关,而类黄酮和酚类物质是公认的植物抗生性物质(季春梅, 2011; 何叶, 2012)。对于大多数以维管束汁液为食的刺吸式口器昆虫来说,食料中过高的糖含量会影响其对其他物质的吸收,从而造成食物中营养物质的失衡,影响其生长发育,因此这类昆虫往往会将多余的糖直接排出体外,以增加对其他营养物质的吸收,从而保证营养物质的平衡(杨益众等, 2005; 周福才等, 2008)。Crafts-Brandner(2002)通过对蜜露的分析发现烟粉虱也存在以蜜露的形式排出体内多余糖分现象,说明在正常取食情况下,烟粉虱食料中的可溶性糖已超出其营养需求,而排出食料中多余的糖需要消耗能量,从而对其生长发育产生负面影响。一般认为,植物氮素水平影响植食性昆虫的生长和发育(常宏磊, 2021),但植物维管束汁液作为刺吸式口器昆虫的食料往往氮素含量不足(Montllor &

Tjallingii, 1989)。如植物氮素水平直接影响着烟粉虱的产卵量和低龄若虫的成活率(Bentz et al., 1995)。利用害虫种群趋势指数分析植物的抗生性发现, 寄主植物叶片中可溶性糖、酚类化合物和黄酮类化合物含量与烟粉虱种群数量呈显著负相关, 与游离脯氨酸含量呈显著正相关(何菁, 2016; 杨爱民等, 2016; 何菁等, 2017)。

本研究发现间作芹菜延长了辣椒上烟粉虱若虫的发育历期, 降低了其存活率, 表明芹菜间作能增强辣椒对烟粉虱的抗生性。该现象与朱培祥等(2011)和衡森等(2017b)通过在保护地间作芹菜对温室烟粉虱有良好控制效果的研究结论一致。同时, 间作芹菜对辣椒体内抗烟粉虱相关生化物质也存在明显的影响, 芹菜间作密度越大, 辣椒叶片中可溶性糖、类黄酮和总酚含量越高, 脯氨酸含量则呈下降趋势, 辣椒叶片中这些物质含量的变化有利于提高辣椒对烟粉虱的抗生性。本研究还发现, 以间作芹菜的辣椒为寄主, 烟粉虱的发育历期延长, 存活率下降, 这进一步证明了间作芹菜通过诱导寄主辣椒抗烟粉虱相关物质的含量发生变化, 从而增强了辣椒对烟粉虱的抗生性。这种现象与吴晓霞等(2019)和郭亚红(2020)通过外源茉莉酸甲酯诱导辣椒体内驱虫挥发物及抗烟粉虱相关的营养物质和次生代谢物质含量的变化, 从而延长烟粉虱的生长发育历期并降低其存活率的机理相似。

参 考 文 献 (References)

- Agrawal AA. 1999. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. *Ecology*, 80(5): 1713–1723
- Bentz JA, Reeves J, Barbosa P, Francis B. 1995. Effect of nitrogen fertilizer source and level on ovipositional choice of poinsettia by *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 88(5): 1388–1392
- Chang HL. 2021. Study on the feeding preference and mechanism of licorice beetle to the leaves of *Glycyrrhiza glabra* and *Glycyrrhiza uralensis*. Master thesis. Shihezi: Shihezi University [常宏磊. 2021. 甘草跳甲对光果甘草和乌拉尔甘草叶片的取食偏好与机理研究. 石河子: 石河子大学]
- Crafts-Brandner SJ. 2002. Plant nitrogen status rapidly alters amino acid metabolism and excretion in *Bemisia tabaci*. *Journal of Insect Physiology*, 48(1): 33–41
- He J. 2016. Study on the resistance of pepper varieties to *Bemisia tabaci* (Gennadius). Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [何菁. 2016. 辣椒品种对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 的抗性研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- He J, Zhou FC, Su HH, Zhao B, Shao YD, Yang AM, Zhang XN, Heng S, Zhang HB, Xia QX. 2017. Population growth of *Bemisia tabaci* (Gennadius) on different varieties of pepper. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(4): 629–638 (in Chinese) [何菁, 周福才, 苏宏华, 赵斌, 邵益栋, 杨爱民, 张心宁, 衡森, 张海波, 夏秋霞. 2017. 辣椒品种对烟粉虱的抗生性研究. 应用昆虫学报, 54(4): 629–638]
- Heng S, Zhou FC, Chen XH, Su HH, Zhao B, Shao YD, Zhang HB, Xia QX. 2017a. Repellent effect of several low-preference host vegetables against the tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Biosafety*, 26(2): 168–172 (in Chinese) [衡森, 周福才, 陈学好, 苏宏华, 赵斌, 邵益栋, 张海波, 夏秋霞. 2017a. 几种弱选择性寄主蔬菜对烟粉虱的驱避作用. 生物安全学报, 26(2): 168–172]
- Heng S, Zhou FC, Chen XH, Su HH, Zhao B, Zhang HB, Shao YD, Yang AM, Zhang XN, Xia QX. 2017b. Control effects of different planting ways of celery on *Bemisia tabaci* on three vegetable species. *Plant Protection*, 43(3): 110–113, 135 (in Chinese) [衡森, 周福才, 陈学好, 苏宏华, 赵斌, 张海波, 邵益栋, 杨爱民, 张心宁, 夏秋霞. 2017b. 芹菜不同种植方式对3种蔬菜田烟粉虱的控制作用. 植物保护, 43(3): 110–113, 135]
- Hu JC, Wang SJ. 1996. Study on soil sickness by soybean continuous cropping I: effect of mycotoxin produced by *Penicillium purpurogenum*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 7(4): 30–40 (in Chinese) [胡江春, 王书锦. 1996. 大豆连作障碍研究I: 大豆连作土壤紫青霉菌的毒素作用研究. 应用生态学报, 7(4): 30–40]
- He Y. 2012. Resistance identification of *Capsicum* variety against *Polypogoniarsonemus latus* and the mechanism of biochemical resistance. Master thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University (in Chinese) [何叶. 2012. 辣椒品种对侧多食跗线螨的抗性鉴定及生化抗性机制研究. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学]
- Ji CM. 2011. Effect of aphid infection on secondary metabolism and related enzyme activity in cucumber seedling leaves. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [季春梅. 2011. 瓜蚜侵染对黄瓜叶片次生代谢物质及相关酶活性的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Kim YS, Kim BS. 1987. A bioassay on susceptibility of selected species to phytotoxic substances from tomato plants. *Korean Journal of Botany*, 30(1): 59–67
- Li XL, Li Z, Li YT, Zhang WP, Zeng XL, Zheng WR, Liu GS, Ye XF. 2009. Advances on allelopathy of plants. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(23): 142–146 (in Chinese) [李雪利, 李正, 李彦涛, 张文平, 曾宪立, 郑文冉, 刘国顺, 叶协锋. 2009. 植物化感作用研究进展. 中国农学通报, 25(23): 142–146]
- Li XY, Wang ZG, Bi YG, Yan AH. 2011. Inhibition of growth and fecundity by seven non-host plant volatiles against peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 34(5): 73–77 (in Chinese) [李晓颖, 王志刚, 毕拥国, 阎爱华. 2011. 7种非寄主植物挥发物对桃小食心虫繁殖与发育的影响. 河北农业大学学报, 34(5): 73–77]

- Lou YG, Cheng JA. 1997. Induced plant resistance to phytophagous insects. *Acta Entomologica Sinica*, 40(3): 320–331 (in Chinese) [娄永根, 程家安. 1997. 植物的诱导抗虫性. *昆虫学报*, 40(3): 320–331]
- Lu HF, Shi YY, Hu JM, Heng S, Zhang HB, Chen XH, Wu XX, Zhou FC. 2017. Control effect of intercropping pepper fields with celery and mint on *Bemisia tabaci*. *Journal of Environmental Entomology*, 39(4): 779–783 (in Chinese) [陆海锋, 石英跃, 胡军明, 衡森, 张海波, 陈学好, 吴晓霞, 周福才. 2017. 间作芹菜和薄荷对设施辣椒烟粉虱的控制作用. *环境昆虫学报*, 39(4): 779–783]
- Lu YH, Zhang YJ, Wu KM. 2008. Host-plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 5113–5122 (in Chinese) [陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 2008. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略. *生态学报*, 28(10): 5113–5122]
- Montllor CB, Tjallingii WF. 1989. Stylet penetration by two aphid species on susceptible and resistant lettuce. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 52(2): 103–111
- Pan LT. 2009. Application of allelopathy in sustainable agriculture. *Modern Agricultural Science and Technology*, (11): 261–262 (in Chinese) [潘柳廷. 2009. 化感作用在可持续发展农业中的应用. *现代农业科技*, (11): 261–262]
- Pan PL. 2016. Effects of raising crop diversity on the occurrence of plant diseases, insect pests and their natural enemies. PhD thesis. Beijing: China Agricultural University (in Chinese) [潘鹏亮. 2016. 增加作物多样性对病虫害和天敌发生的影响. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Shelton AM, Badenes-Perez FR. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51: 285–308
- Song J. 1990. Allelopathy among plants. *Chinese Journal of Ecology*, 9(6): 45–49 (in Chinese) [宋君. 1990. 植物间的他感作用. *生态学杂志*, 9(6): 45–49]
- Wu XX, He J, Zhou FC, Chen XH, Yang AM, Zhang HB. 2019. Physiological responses of different whitefly resistant peppers to exogenous methyl jasmonate. *Chinese Journal of Ecology*, 38(3): 704–709 (in Chinese) [吴晓霞, 何菁, 周福才, 陈学好, 杨爱民, 张海波. 2019. 不同烟粉虱抗性辣椒对外源茉莉酸甲酯的生理响应. *生态学杂志*, 38(3): 704–709]
- Wu YH. 2020. Effect of exogenous methyl jasmonate on enhancing the resistance of pepper to *Bemisia tabaci*. Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [鄢亚红. 2020. 外源茉莉酸甲酯增强辣椒对烟粉虱抗性的作用研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- Wu YH, Heng S, Zhou FC, Zhang HB, Han DB. 2019. Repellent effect of celery volatiles on *Bemisia tabaci*. *Journal of Environmental Entomology*, 41(4): 900–907 (in Chinese) [鄢亚红, 衡森, 周福才, 张海波, 韩杜斌. 2019. 芹菜植株挥发物对蔬菜烟粉虱的驱避作用. *环境昆虫学报*, 41(4): 900–907]
- Yang AM, Zhou FC, Su HH, Zhao B, Zhang YH, Heng S, Zhang HB. 2016. Induced effects of methyl jasmonate on the secondary compounds and nutritional substances of tomato. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 37(4): 97–102 (in Chinese) [杨爱民, 周福才, 苏宏华, 赵斌, 张玉华, 衡森, 张海波. 2016. 外源茉莉酸甲酯对番茄体内抗烟粉虱相关物质的诱导. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 37(4): 97–102]
- Yang YZ, Lu YH, Xue WJ, Yu YS, Li XH, Wang F, Yang HY, Liu Y. 2005. Effects of change in the content of sugars and free amino acids in transgenic cotton cultivars on the secretion amount and major nutritive components of honeydew of *Aphis gossypii* Glover. *Acta Entomologica Sinica*, 48(4): 491–497 (in Chinese) [杨益众, 陆宴辉, 薛文杰, 余月书, 李晓慧, 王峰, 杨海燕, 刘洋. 2005. 转基因棉花中糖类和游离氨基酸含量的变化对棉蚜泌蜜量及蜜露主要成分的影响. *昆虫学报*, 48(4): 491–497]
- Zhang FJ, Xu XY, Guo AY, Liu WX, Wan FH, Liu PN. 2011. The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 31(19): 5832–5838 (in Chinese) [张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 刘万学, 万方浩, 刘盼爱. 2011. 3种入侵植物叶片挥发物对旱稻幼苗根的影响. *生态学报*, 31(19): 5832–5838]
- Zhong ST, Li YF, Qin YC, Gao ZL, Pan WL, Li JC. 2009. A study on the repellent effect of *Capsicum* and celery on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(S1): 18–23 (in Chinese) [钟苏婷, 李耀发, 秦玉川, 高占林, 潘文亮, 李建成. 2009. B型烟粉虱对辣椒、芹菜、黄瓜寄主选择作用的研究. *中国生物防治*, 25(S1): 18–23]
- Zhou FC, Ren SX, Chen DH, Li CM. 2008. Effect of introducing Bt gene in cotton on biochemical content of vascular bundle sap of cotton leaf and reproduction of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(6): 1508–1512 (in Chinese) [周福才, 任顺祥, 陈德华, 李传明. 2008. 外源Bt基因导入对棉花叶片维管束汁液的生化物质含量及烟粉虱种群增殖的影响. *中国生态农业学报*, 16(6): 1508–1512]
- Zhu PX, Liu MC, Qin YC, Xie JJ, Liu YH. 2011. Control effects of whitefly by intercropping celery in greenhouse. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 375–378 (in Chinese) [朱培祥, 刘美昌, 秦玉川, 谢建军, 刘云虹. 2011. 保护地间作芹菜对温室粉虱的防治作用. *应用昆虫学报*, 48(2): 375–378]

(责任编辑:李美娟)