

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2022.05.009

土壤不同肥力对黄瓜体内可溶性有机物组成及棕榈蓟马发生的影响

任立云^{1,2}, 董慧颖³, 韦继光²

1. 广西农业职业技术大学 农业工程学院, 南宁 530007;
2. 广西大学 农学院, 南宁 530005;
3. 广西大学 化学化工学院, 南宁 530004

摘 要: 土壤肥力影响作物的各项生理指标, 也会影响在作物上栖息取食昆虫的生长发育, 最终影响昆虫种群发展. 为了评价不同土壤肥力对棕榈蓟马种群数量的影响, 本文研究了施用氮、磷、钾 3 种肥料 3 种水平下黄瓜叶片可溶性有机物(还原糖、可溶性总糖、可溶性蛋白质、脂类、游离氨基酸、类黄酮、总酚)质量分数, 采用五点取样法调查了棕榈蓟马出口数量的差异. 研究表明, 氮肥和磷肥施用剂量增加均可使黄瓜叶片内游离氨基酸质量分数显著上升, 钾肥施用剂量增加则不能达到这样的效果; 氮肥施用剂量增加引起顶叶上棕榈蓟马成虫数量和落卵量显著增加, 其与黄瓜顶叶中的游离氨基酸质量分数上升呈高度正相关; 中叶上若虫数量增加与中叶中游离氨基酸质量分数上升呈高度正相关. 磷肥施用剂量增加引起顶叶成虫数量显著增加, 落卵量和中叶若虫数量均呈先上升后下降趋势; 顶叶中游离氨基酸质量分数与顶叶上成虫数量呈中度正相关; 钾肥施用剂量增加仅引起顶叶成虫数量显著增加, 落卵量和中叶若虫数量变动不显著. 施用氮肥、磷肥和钾肥对植株顶叶类黄酮和总酚质量分数都没有显著影响. 以上结果说明, 施用氮肥和磷肥引起的叶片内游离氨基酸质量分数增加是促进棕榈蓟马出口数量上升的重要因素, 游离氨基酸质量分数也是判断黄瓜是否具有抗虫性的重要因子, 总酚和类黄酮没有起到抗虫作用.

关 键 词: 可溶性有机物; 棕榈蓟马;
黄瓜; 土壤肥力

中图分类号: S158.3; S642.2 **文献标志码:** A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文 章 编 号: 2097-1354(2022)05-0079-09

收稿日期: 2022-07-11

基金项目: 广西创新驱动发展专项项目(桂科 AA17204058-9); 国家自然科学基金资助项目(31260436).

作者简介: 任立云, 博士, 副教授, 研究方向为有害生物综合治理.

通信作者: 韦继光, 博士, 教授.

The Effects of Different Soil Fertility on Composition of Soluble Organics of Cucumber and Occurrence of *Thrips palmi*

REN Liyun^{1, 2}, DONG Huiying³, WEI Jiguang²

1. College of Agricultural Engineering, Guangxi Vocational University of Agriculture, Nanning 530007, China;

2. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China;

3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Soil fertility affects not only the physiological indexes of crops, but also the growth and development of insects that inhibit and feed on crops, and finally affects the development of insect populations. To evaluate the effects of different soil fertility on *Thrips palmi* population, the contents of soluble organic matter (reducing sugar, total soluble sugar, soluble protein, lipids, free amino acids, flavonoids and total phenols) in cucumber leaves were studied under three levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers applications. Five-point sampling method was used to investigate the differences in the number of *Thrips palmi*. The results showed that the content of free amino acids in cucumber leaves significantly increased with the increasing doses of nitrogen and phosphorus fertilizer, but did not increase with increasing doses of potassium fertilizer. Increase of nitrogen fertilizer significantly increased the number of adult thrips and eggs on the epical leaves, which was highly positively correlated with the increase of free amino acid content in epical leaf of cucumber. There was a high positive correlation between the number of nymphs on the middle leaf and the content of free amino acids in the middle leaf. The number of adults on epical leaf increased significantly with the increase of the dose of P fertilizer, and the number of eggs on epical leaf and nymphs feeding on middle leaf increased first and then decreased. The content of free amino acids in the parietal leaf was moderately positively correlated with the number of adults on the epical leaf. The increase of potassium fertilizer dose only caused a significant increase in the number of adults on the epical leaf, but no significant changes in the number of eggs laid on the epical leaf and nymphs on the middle leaf. The contents of flavonoids and total phenols in epical leaf were not significantly affected by the application of N, P and K fertilizer. These results indicated that the increase of free amino acid content in leaves caused by nitrogen and phosphorus fertilizer application was an important factor promoting the increase of the number of *T. palmi*. The content of free amino acid is also an important factor to determine whether cucumber has insect resistance. Total phenols and flavonoids had no effect on insect resistance.

Key words: soluble organics; *Thrips palmi*; cucumber; soil fertility

棕榈蓟马(*Thrips palmi*)属缨翅目(Thysanoptera)蓟马科(Thripidae)。雌成虫体长 1.0~1.1 mm, 全体黄色, 口器锉吸式, 翅 2 对, 善飞, 产卵器锯状。雄虫略小, 0.8~0.9 mm, 腹部有腺域。卵长 0.2 mm, 长椭圆形, 淡黄色, 散产于嫩叶、嫩梢、幼果组织中。若虫 1~2 龄第 1 节触角异常膨大并前伸, 无翅芽和单眼, 行动活泼; 3 龄触角前伸, 长出鞘状翅芽, 行动缓慢; 4 龄称“伪蛹”, 触角折于头背上, 翅芽伸达腹部 5~6 节两侧, 入土化“蛹”, 不食不动^[1]。

棕榈蓟马是外来入侵物种之一, 于 1976 年首次在广东发现, 目前在香港、海南、云南、湖南、浙江、广东、西藏、四川、广西、山东、湖北、上海、江苏等省(区、市)均有分布。该虫为害多种蔬菜作物, 尤其喜食葫芦科和茄科植物, 其为害方式有直接为害和间接为害两种方式。直

接为害是以锉吸式口器锉食植物的叶、花、果实,造成银状疤痕、嫩梢嫩叶萎缩、叶片发育受阻,落果,影响植株生长;产卵于植物幼嫩组织中,造成产卵伤害.间接为害是棕榈蓟马可以传播多种植物病毒,如可传播番茄斑萎病毒(Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV)、凤仙花坏死斑病毒(Impatiens Necrotic Spot Virus, INSV)、甜瓜黄斑病毒(Melon Yellow Spot Virus, MYSV)等,间接为害的损失明显大于直接为害.棕榈蓟马的为害可使蔬菜大量减产,一般减产20%~40%,严重时作物绝收^[2-5].

目前,防治棕榈蓟马主要采取农业防治、生物防治和化学防治等,其中,加强农作物水肥管理是防治蓟马为害的一项重要农业措施.研究表明,增加土壤肥力可促进作物体内营养物质积累,从而促进植物发育,如增施氮肥可显著促进植物生长发育,延长生殖生长期,提高作物产量^[6];钾肥会提高叶片及根中碳水化合物的贮存和积累,促进产量增加^[7];磷肥也可有效提高植物的净光合速率和产量^[8].钾元素在植物抵御虫害发生及耐害性方面也有着积极的作用^[9],Dale^[10]研究发现钾元素可以增加苜蓿抗性,降低苜蓿斑蚜(*Therioaphis folii*)在苜蓿上的危害;施钾水平提高,可以提高苜蓿对牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)的耐害性等^[11].

然而,增加土壤肥力改变作物的具体生理指标种类,从而使作物产生抗虫性还未见报道,本研究采用正交试验设计方案,通过施用3种浓度的氮、磷、钾肥,调控土壤氮、磷、钾质量分数,测定黄瓜叶片上棕榈蓟马虫口数量和叶片可溶性有机物质量分数,找出增加土壤肥力、提高作物抗虫性的可能原因.

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验于2017年8月至12月在广西大学试验田(22.48° N, 108.22° E)进行,试验田前茬种植作物为黄瓜,常规管理.土壤为第4纪红色黏土改造成的壤土,前茬作物收获后测定土壤基本理化性质,分别为全氮1.3 g/kg、碱解氮111.6 mg/kg、速效磷48.8 mg/kg、速效钾89.0 mg/kg、pH值6.9、有机碳17.1 g/kg.8月初开始整地,试验田共设20个小区,每小区面积为15 m²,垄间距1 m,株间距0.4 m,小区之间用塑料膜在田埂处隔开,防止小区所施肥料流入其他小区,小区外设1 m的隔离带.

施肥试验采用3因素3水平正交试验设计 $L_9(3^3)$ ^[12],3因素有氮、磷、钾3种肥料,分别是尿素、过磷酸钙和氯化钾.3种肥料各设3个水平:氮肥分别设定为 N_1 (0.5 g/kg), N_2 (1.0 g/kg)和 N_3 (2.0 g/kg);磷肥分别设定为 P_1 (1.0 g/kg), P_2 (2.0 g/kg)和 P_3 (4.0 g/kg);钾肥分别设定为 K_1 (0.5 g/kg), K_2 (1.0 g/kg)和 K_3 (2.0 g/kg).该正交试验设计确定9组试验水平组合(施肥组合).

1.2 试验材料

种植作物品种为“中农20号”黄瓜.黄瓜种子在育苗盘中进行播种、发芽,幼苗于9月22日移栽,不施底肥,移栽后日常管理按常规进行,10月10日进行第1次施肥,10月25日进行第2次施肥.棕榈蓟马种群是在田间自然发生并飞往黄瓜植株上的成虫个体建立的种群.

1.3 虫量调查

第2次施肥5 d后开始蓟马虫量调查,每个小区调查蓟马虫量采用五点取样法,每个样点选取黄瓜顶部至第3片叶、中部第6,7叶和底部第2,3片叶,分别记录每张叶片上棕榈蓟马虫口数量.调查时间为上午6:30至8:30.

1.4 黄瓜叶片营养成分和次生代谢物质量分数测定

每小区同样随机选取5点,将调查完虫量的叶片分别放入保鲜袋带回实验室,从中取出一

部分叶片用电热鼓风干燥箱在恒温 60 ℃ 的条件下烘干、称质量, 计算含水量, 将其分别放入密封袋保存, 剩余叶片放入保鲜袋于 -20 ℃ 冰箱低温保存. 糖质量分数测定采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法^[13], 蛋白质质量分数测定采用考马斯亮蓝法^[14], 脂类质量分数测定采用索氏提取法^[15], 游离氨基酸质量分数测定采用茚三酮比色法^[16], 类黄酮质量分数测定采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法^[17], 总酚质量分数测定采用福林-酚试剂法^[18].

1.5 数据分析

棕榈蓟马虫口数量、营养成分含量数据处理采用 Microsoft office 2016, 正交试验设计及相关性分析采用 SPSS 18.0 统计分析软件.

2 结果与分析

2.1 黄瓜叶片可溶性物及棕榈蓟马虫口调查

试验结果看出, 底叶中的可溶性有机物质量分数均低于顶叶和中叶, 且差异有统计学意义. 顶叶上的蓟马虫态为成虫和卵、中叶为若虫、底叶为成虫, 不同部位的棕榈蓟马数量差异有统计学意义(表 1).

表 1 未施肥不同部位黄瓜叶片可溶性有机物质量分数及棕榈蓟马虫口数量

叶片生长部位	还原糖 /mg · g ⁻¹	可溶性总糖 /mg · g ⁻¹	可溶性蛋白质 /mg · g ⁻¹	脂类 /mg · g ⁻¹	游离氨基酸 /mg · g ⁻¹	总酚 /mg · g ⁻¹	类黄酮 /mg · g ⁻¹	蓟马/头		
								卵	若虫	成虫
顶叶	4.69±0.17a	49.11±2.77a	14.92±0.33a	10.63±0.03a	3.09±0.20a	1.26±0.04a	4.34±0.10a	2.32±0.05a	0b	1.52±0.05a
中叶	4.48±0.16a	45.98±1.55b	15.36±0.42a	10.72±0.603a	4.18±0.15a	1.44±0.03a	5.83±0.36a	0b	3.80±0.01a	0b
底叶	3.21±0.21b	33.09±1.48c	11.98±0.69b	3.05±0.40b	2.47±0.12b	1.04±0.03b	3.50±0.28b	0b	0b	0.88±0.05b

注: 同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.2 施肥水平对叶片可溶性有机物的影响

试验结果看出, 施氮肥后黄瓜顶叶、中叶和底叶可溶性有机物质量分数普遍高于未施肥黄瓜叶片, 顶叶和中叶的各种成分均高于底叶. 氮肥施用剂量增加使黄瓜顶叶中的游离氨基酸质量分数极显著增加($F_{\text{顶氨基酸}} = 79.328$, $p < 0.001$), 其他成分增加无统计学意义; 中叶中的游离氨基酸质量分数($F = 27.669$, $p < 0.001$). 总酚质量分数($F_{\text{中总酚}} = 7.043$, $p = 0.005$)显著增加, 脂类质量分数显著增加($F_{\text{中脂类}} = 5.842$, $p = 0.039$), 类黄酮质量分数显著降低($F = 4.980$, $p = 0.018$); 底部叶中游离氨基酸质量分数($F_{\text{底氨基酸}} = 27.361$, $p = 0.001$)极显著增加, 可溶性蛋白质($F_{\text{底蛋白质}} = 5.362$, $p = 0.046$)、脂类($F_{\text{底脂类}} = 20.645$, $p < 0.001$)质量分数显著增加, 类黄酮质量分数($F_{\text{底类黄酮}} = 32.444$, $p = 0.001$)显著降低(表 2).

磷肥施用剂量增加同样使黄瓜顶叶($F_{\text{顶氨基酸}} = 14.278$, $p = < 0.001$)、中叶($F_{\text{中氨基酸}} = 3.805$, $p = 0.040$)、底叶($F_{\text{底氨基酸}} = 6.621$, $p = 0.006$)中的游离氨基酸质量分数显著增加; 中叶类黄酮质量分数呈现先上升后下降($F_{\text{类黄酮}} = 3.390$, $p = 0.054$)趋势, 底叶中的还原糖和可溶性总糖质量分数也显著增加($F_{\text{底还原糖}} = 5.950$, $p = 0.038$; $F_{\text{底可溶性总糖}} = 10.368$, $p = 0.001$)(表 3).

表 2 氮肥施用水平对不同部位叶片可溶性有机物质量分数的影响 mg/g

叶片生长部位	施肥水平	还原糖	可溶性总糖	可溶性蛋白质	脂类	游离氨基酸	总酚	类黄酮
顶叶	N ₁	5.15±0.14a	49.86±1.08a	15.74±0.20a	11.76±0.21a	3.46±0.11a	1.31±0.04a	4.37±0.19a
	N ₂	5.43±0.24a	49.11±1.32a	15.96±0.18a	12.41±0.49a	5.05±0.09b	1.32±0.04a	4.62±0.22a
	N ₃	5.35±0.10a	51.30±1.92a	15.97±0.36a	12.34±0.46a	5.27±0.20b	1.33±0.04a	4.37±0.18a
中叶	N ₁	4.88±0.12a	48.52±0.38a	16.35±0.58a	10.59±0.21a	4.30±0.21a	1.46±0.03a	6.39±0.28a
	N ₂	5.01±0.11a	50.84±1.90a	16.41±0.28a	11.16±0.06ab	5.75±0.04b	1.53±0.05a	5.98±0.11ab
	N ₃	5.00±0.18a	50.11±1.46a	16.25±0.24a	11.81±0.38b	6.19±0.14b	1.64±0.04b	5.60±0.20b
底叶	N ₁	3.42±0.14a	34.00±0.96a	12.17±0.09a	3.99±0.20a	3.01±0.11a	1.08±0.02a	3.92±0.06a
	N ₂	3.63±0.04a	37.62±1.16a	12.74±0.36ab	4.81±0.27b	4.00±0.12b	1.11±0.01a	3.52±0.07b
	N ₃	3.58±0.12a	37.02±1.43a	13.22±0.14b	5.84±0.10bc	4.07±0.11b	1.09±0.03a	3.25±0.04c

注：氮肥分别设定为 N₁(0.5 g/kg)，N₂(1.0 g/kg)和 N₃(2.0 g/kg)；同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p<0.05$)。

表 3 磷肥施用水平对不同部位叶片可溶性有机物质量分数的影响 mg/g

叶片生长部位	施肥水平	还原糖	可溶性总糖	可溶性蛋白质	脂类	游离氨基酸	总酚	类黄酮
顶叶	P ₁	5.34±0.02a	49.49±1.02a	15.60±0.24a	11.61±0.26a	4.17±0.14a	1.32±0.02a	4.61±0.13a
	P ₂	5.37±0.06a	50.80±1.65a	15.87±0.18a	12.47±0.38a	4.60±0.09b	1.35±0.04a	4.40±0.12a
	P ₃	5.22±0.21a	49.99±1.60a	16.20±0.28a	12.43±0.46a	5.01±0.10c	1.28±0.05a	4.35±0.19a
中叶	P ₁	4.74±0.12a	50.24±1.54a	16.41±0.11a	10.78±0.61a	5.00±0.09a	1.54±0.07a	5.98±0.07ab
	P ₂	5.03±0.09a	49.37±0.36a	16.88±0.50a	11.42±0.23a	5.55±0.28ab	1.58±0.04a	6.31±0.12a
	P ₃	5.13±0.13a	49.85±0.51a	17.40±0.52a	11.35±0.43a	5.69±0.23b	1.51±0.03a	5.66±0.16b
底叶	P ₁	3.26±0.11a	35.60±0.27a	12.40±0.33a	4.30±0.07a	3.38±0.09a	1.09±0.03a	3.61±0.13a
	P ₂	3.48±0.09ab	34.03±0.92a	13.00±0.38a	5.00±0.08a	3.77±0.02b	1.07±0.03a	3.61±0.06a
	P ₃	3.68±0.04b	39.01±0.87b	13.00±0.19a	5.33±0.68a	3.93±0.12b	1.10±0.01a	3.47±0.13a

注：磷肥分别设定为 P₁(1.0 g/kg)，P₂(2.0 g/kg)和 P₃(4.0 g/kg)；同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p<0.05$)。

钾肥施用剂量增加不能使顶叶、中叶、底叶氨基酸质量分数显著增加($F_{\text{顶氨基酸}}=2.650$, $p=0.150$; $F_{\text{中氨基酸}}=3.045$, $p=0.122$; $F_{\text{底氨基酸}}=0.010$, $p=0.990$)，底叶氨基酸质量分数反而有下降趋势；顶叶还原糖质量分数显著下降($F_{\text{顶还原糖}}=8.914$, $p=0.016$)，底叶可溶性总糖质量分数显著上升($F_{\text{底还原糖}}=5.526$, $p=0.044$)(表 4)。在 3 种部位叶片中，类黄酮质量分数没有显著变化(表 4)。

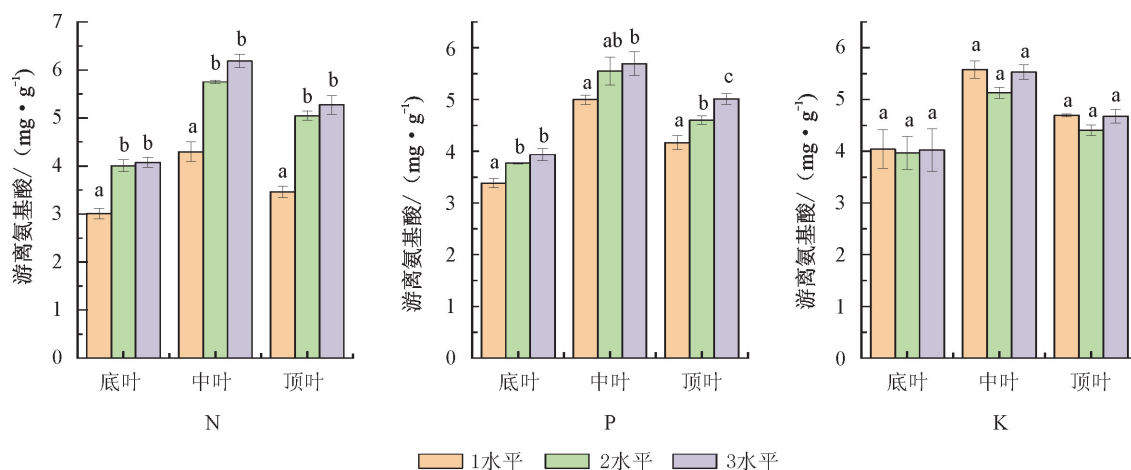
表 4 钾肥施用水平对不同部位叶片可溶性有机物质量分数的影响 mg/g

叶片生长部位	施肥水平	还原糖	可溶性总糖	可溶性蛋白质	脂类	游离氨基酸	总酚	类黄酮
顶叶	K ₁	5.46±0.12a	49.37±2.38a	15.44±0.36a	11.66±0.17a	4.69±0.03a	1.34±0.03a	4.31±0.17a
	K ₂	5.49±0.11a	51.99±1.83a	15.84±0.10a	12.31±0.49a	4.41±0.10a	1.27±0.06a	4.51±0.17a
	K ₃	4.97±0.06b	49.81±0.16a	16.38±0.21a	12.54±0.51a	4.67±0.13a	1.36±0.02a	4.54±0.10a
中叶	K ₁	4.98±0.22a	50.68±0.26a	16.25±0.42a	11.12±0.38a	5.58±0.17a	1.48±0.05a	6.03±0.10a
	K ₂	4.80±0.05a	49.68±2.10a	16.82±0.34a	10.83±0.18a	5.13±0.11a	1.52±0.02a	5.91±0.18a
	K ₃	5.04±0.13a	49.10±0.38a	17.63±0.23a	11.60±0.05	5.53±0.14a	1.58±0.04a	6.02±0.20a
底叶	K ₁	3.42±0.13a	35.40±1.02a	12.94±0.11a	5.10±0.33a	4.04±0.37a	1.09±0.04a	3.57±0.03a
	K ₂	3.59±0.03a	35.01±0.49a	12.44±0.13a	5.13±0.39a	3.97±0.32a	1.10±0.03a	3.67±0.12a
	K ₃	3.63±0.05a	38.24±0.63b	13.01±0.21a	4.96±0.66a	4.02±0.41a	1.09±0.02a	3.44±0.12a

注：钾肥分别设定为 K₁(0.5 g/kg)，K₂(1.0 g/kg)和 K₃(2.0 g/kg)。同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p<0.05$)。

2.3 不同施肥水平下不同生长部位黄瓜叶片游离氨基酸质量分数比较

试验结果看出,施用氮肥后黄瓜叶片中游离氨基酸质量分数普遍比施用磷肥和钾肥叶片中游离氨基酸质量分数高,且施肥2水平和3水平与1水平之间差异有统计学意义.施用磷肥后,黄瓜顶叶、中叶和底叶中不同施肥水平下游离氨基酸质量分数差异也有统计学意义.施用钾肥后,不同施肥水平下3种部位叶片游离氨基酸质量分数差异无统计学意义(图1).



N, P, K 3种肥料各设3个水平; N肥1水平为0.5 g/kg, 2水平为1.0 g/kg, 3水平为2.0 g/kg; P肥1水平为1.0 g/kg, 2水平为2.0 g/kg, 3水平为4.0 g/kg; K肥1水平为0.5 g/kg, 2水平为1.0 g/kg, 3水平为2.0 g/kg. 不同水平小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.005$).

图1 不同施肥水平下不同生长部位黄瓜叶片游离氨基酸质量分数

2.4 不同施肥水平对棕榈蓟马虫口数量的影响

不管施氮肥、磷肥还是钾肥,顶叶、中叶上的虫口数量均大于底叶;氮肥施用剂量增加,顶叶上的成虫数量和落卵量、中叶上的若虫数量显著增加,而底叶上的成虫数量变化不显著;磷肥施肥剂量增加,顶叶上的成虫数量显著增加,但落卵量和中叶上的若虫数量则呈现先上升后下降趋势,底叶上的虫口数量变化不显著;钾肥施用剂量增加,顶叶上的成虫数量显著增加,但落卵量、中叶的若虫数量和底叶成虫数量都没有显著变化(表5).施用氮肥引起的顶叶上棕榈蓟马成虫数量变化最大,其次是钾肥,施用磷肥引起的顶叶上棕榈蓟马成虫数量变化最小;施用氮肥引起的顶叶上落卵量变化最大,其次是磷肥,施用钾肥引起的顶叶上落卵量变化未达显著水平;施用氮肥引起的中叶上棕榈蓟马若虫数量变化最大,其次是磷肥,施用钾肥引起的中叶上棕榈蓟马若虫数量变化差异无统计学意义.施用氮肥、磷肥、钾肥引起的底叶上棕榈蓟马成虫数量变化均无统计学意义.

2.5 不同施肥水平下黄瓜叶片可溶性有机物与棕榈蓟马虫口数量的相关性分析

试验结果看出,在施氮肥情况下,顶叶中的游离氨基酸质量分数与顶叶上棕榈蓟马成虫数量和落卵量之间呈高度正相关,同时落卵量还与脂类质量分数呈中度正相关,顶叶中还原糖质量分数与其成虫数量和落卵量呈低度正相关.中叶中的游离氨基酸质量分数和脂类质量分数与叶片上若虫数量呈高度正相关,类黄酮质量分数与若虫数量呈中度负相关.底叶中可溶性蛋白质、脂类、游离氨基酸质量分数与底叶上成虫数量呈中或高度负相关,类黄酮质量分数与成虫数量呈中度正相关.在施磷肥情况下,顶叶中游离氨基酸质量分数与叶片上成虫数量呈中度正相关,但与落卵量之间仅呈低度正相关;中叶中可溶性蛋白质和脂类质量分数与叶片上若虫数量有低度正相关;底叶中可溶性总糖和游离氨基酸质量分数分别与叶片上成虫数量呈高度和中

度负相关. 在施钾肥情况下, 顶叶中仅有可溶性蛋白质和类黄酮质量分数与顶叶上成虫数量呈低度正相关, 但与落卵量无相关性. 顶叶、中叶、底叶中还原糖质量分数分别与顶叶上成虫数量和落卵量、中叶上若虫数量和底叶上成虫数量呈低度负相关; 中叶和底叶中可溶性总糖质量分数与中叶上若虫数量和底叶上成虫数量呈中度负相关; 底叶中蛋白质质量分数和类黄酮质量分数分别与底叶上成虫数量之间呈高度和中度正相关(表 6).

表 5 土壤不同施肥水平下不同部位黄瓜叶片上棕榈蓟马虫口数量头

施肥种类	施肥水平	顶叶		中叶若虫	底叶成虫
		成虫	卵		
氮肥	N ₁	2.99±0.02a	4.41±0.04a	4.53±0.01a	1.78±0.01a
	N ₂	3.80±0.06b	4.97±0.05b	5.11±0.03b	1.33±0.01a
	N ₃	4.53±0.10c	5.36±0.16c	5.48±0.18c	1.13±0.01a
磷肥	P ₁	3.59±0.02a	4.61±0.04a	4.73±0.01b	1.53±0.01a
	P ₂	3.59±0.05a	5.15±0.05b	5.28±0.07a	1.53±0.01a
	P ₃	4.15±0.05b	4.99±0.15b	5.11±0.18ab	1.18±0.02a
钾肥	K ₁	3.33±0.02a	4.93±0.09a	5.05±0.10a	1.53±0.01a
	K ₂	3.87±0.08b	4.81±0.14a	4.93±0.16a	1.53±0.01a
	K ₃	4.12±0.04c	5.00±0.06a	5.13±0.01a	1.19±0.03a

注: 氮肥分别设定为 N₁(0.5 g/kg), N₂(1.0 g/kg)和 N₃(2.0 g/kg); 磷肥分别设定为 P₁(1.0 g/kg), P₂(2.0 g/kg)和 P₃(4.0 g/kg); 钾肥分别设定为 K₁(0.5 g/kg), K₂(1.0 g/kg)和 K₃(2.0 g/kg). 同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p<0.05$).

表 6 不同肥力条件下黄瓜叶片可溶性有机物质量分数与棕榈蓟马虫口数量的相关性分析

施肥种类	叶片成分	顶叶		中叶若虫	底叶成虫
		成虫	卵		
氮肥	还原糖	0.358(0.345)	0.441(0.236)	-0.120(0.759)	-0.618(0.076)
	可溶性总糖	0.365(0.335)	-0.026(0.948)	0.398(0.288)	-0.599(0.089)
	可溶性蛋白质	0.294(0.444)	0.244(0.528)	0.596(0.090)	-0.779*(0.013)
	脂类	0.255(0.508)	0.674*(0.047)	0.874** (0.002)	-0.908** (0.001)
	氨基酸	0.903** (0.002)	0.842** (0.005)	0.933** (<0.001)	-0.926** (0.000)
	类黄酮	0.097(0.804)	-0.145(0.711)	-0.722*(0.028)	0.719*(0.029)
	总酚	0.214(0.581)	-0.131(0.737)	0.629(0.070)	-0.274(0.476)
磷肥	还原糖	0.175(0.653)	0.214(0.581)	-0.179(0.645)	-0.348(0.359)
	可溶性总糖	0.067(0.865)	0.142(0.716)	-0.013(0.973)	-0.811** (0.008)
	可溶性蛋白质	0.433(0.245)	0.290(0.450)	0.575(0.106)	-0.354(0.349)
	脂类	0.075(0.850)	0.315(0.411)	0.562(0.115)	-0.515(0.156)
	氨基酸	0.780*(0.014)	0.383(0.310)	0.142(0.715)	-0.680*(0.044)
	类黄酮	-0.100(0.799)	-0.156(0.690)	0.402(0.283)	0.432(0.245)
	总酚	-0.132(0.737)	0.234(0.545)	-0.149(0.701)	-0.229(0.553)
钾肥	还原糖	-0.482(0.190)	-0.381(0.313)	-0.425(0.254)	-0.405(0.280)
	可溶性总糖	0.298(0.436)	-0.019(0.962)	-0.791*(0.011)	-0.767*(0.016)
	可溶性蛋白质	0.612(0.081)	0.222(0.566)	0.229(0.554)	0.837** (0.005)
	脂类	0.352(0.353)	0.076(0.848)	0.386(0.304)	-0.455(0.219)
	氨基酸	-0.168(0.667)	0.223(0.563)	0.317(0.406)	-0.084(0.830)
	类黄酮	0.591(0.095)	-0.293(0.445)	-0.236(0.541)	0.530(0.143)
	总酚	0.076(0.652)	-0.136(0.728)	0.007(0.986)	0.040(0.920)

注: 括号外数字表示相关性系数 r, 大于 0.8 是高度相关关系, 0.5~0.8 是中度相关关系, 0.3~0.5 是低度相关性, 小于 0.3 无相关关系; 括号内数字表示经 Pearson 相关性双尾显著性检验的 p 值, $p<0.05$ 或 $p<0.01$ 表示差异有不同程度的统计学意义.

3 结论与讨论

本研究结果表明,氮肥施用剂量增加极大地促进了黄瓜顶叶、中叶内游离氨基酸的积累,同时促进了顶叶上的成虫数量和落卵量、中叶上的若虫数量增长.相关性分析结果表明,施氮肥情况下,顶叶、中叶中的氨基酸质量分数分别与顶叶上成虫数量和落卵量、中叶上的若虫数量有高度正相关性,说明施用氮肥引起的黄瓜叶片中游离氨基酸质量分数上升可能是导致棕榈蓟马虫口数量上升的重要因子.其结果与吴碧球等^[19]认为水稻施氮后稻株中游离氨基酸含量与水稻对褐飞虱抗性程度呈极显著负相关结果相同.施氮肥后顶叶还原糖含量与叶片上成虫数量和落卵量有低度正相关,本研究结果与吴碧球等^[19]研究的可溶性糖与水稻抗性呈显著负相关的结果不同.同时,本研究还发现施氮肥情况下顶叶中的脂类质量分数与其落卵量、中叶中的脂类质量分数与若虫数量之间分别为中度和高度相关性,说明施用氮肥引起的生长叶片中的脂类质量分数提高也是促进棕榈蓟马发生的因子之一.

磷肥施用剂量增加同样使黄瓜顶叶、中叶、底叶中的游离氨基酸质量分数显著增加;施用磷肥也促使顶叶棕榈蓟马成虫数量显著上升.相关分析表明,施用磷肥引起的黄瓜顶叶中的游离氨基酸质量分数增加与其上成虫数量上升有中度正相关性,但顶叶中游离氨基酸质量分数仅与顶叶上落卵量有低度正相关性,中叶中的游离氨基酸质量分数与中叶上的若虫数量没有相关性,说明施用磷肥产生的游离氨基酸质量分数增加促进棕榈蓟马成虫在顶叶产卵的幅度降低.胡桂馨等^[20]认为施磷增加了苜蓿对牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)的耐害性,其耐害性与可溶性糖和淀粉的转运有关,本研究则发现施用磷肥情况下黄瓜生长叶片中的还原糖和可溶性总糖质量分数与棕榈蓟马的发生均无相关性.

钾肥施用剂量增加不能使顶叶、中叶、底叶游离氨基酸质量分数显著增加,底叶氨基酸质量分数反而有下降趋势.钾肥施用剂量增加仅使顶叶上成虫数量显著增加,落卵量、中叶上若虫数量和底叶上成虫数量都没有显著变化.究其原因,施用钾肥未能促进叶片中游离氨基酸质量分数增加,从而不能促进成虫在顶叶上产卵,导致顶叶落卵量、中叶若虫数量没有上升的现象.张晓燕等^[11]认为钾元素主要通过调控苜蓿可溶性糖和淀粉的合成,增强了苜蓿对牛角花齿蓟马的耐害性.本研究中,施用钾肥仅显著提高了顶叶上的成虫数量,抑制了顶叶上落卵量、中叶上若虫数量和底叶上成虫数量.顶叶中还原糖质量分数显著降低,底叶中可溶性总糖质量分数显著上升,说明施钾肥量增加促进了糖类物质向下运输,从而导致顶叶上成虫发生量上升,其结果与张晓燕等^[11]的研究结果有相似之处,与雒珺瑜等^[21]认为作物可溶性糖含量与作物抗虫性呈负相关结论不同,也与成卫宁等^[22]认为作物抗虫性与寄主叶片还原糖含量呈正相关的结果相同.在 3 个部位叶片中,类黄酮和总酚质量分数没有显著变化,类黄酮和总酚质量分数与黄瓜叶片的抗虫性无关.前人研究表明,供钾充足的作物被害虫为害后,茉莉酸和水杨酸信号传导途径可能分别在不同时间段内起主导作用,从而提高作物抗虫性、降低害虫为害指数^[23],黄瓜增施钾肥后,是否也激发茉莉酸和水杨酸信号传导途径、减少棕榈蓟马为害黄瓜叶片则有待进一步验证.

在施用 3 种肥料的情况下,随着施用剂量的增加,底叶中大部分可溶性有机物质量分数显著增加,说明施肥促进了植物生长和营养物质的积累,但底叶上的棕榈蓟马数量稍有减少,但都无统计学意义,说明底叶中可溶性有机物质量分数与棕榈蓟马数量关联度不大.

从以上结论可以看出,增施氮、磷、钾肥都可以使植株体内营养成分质量分数增加;施用氮肥和磷肥引起的叶片内游离氨基酸质量分数增加是促进棕榈蓟马虫口数量上升的重要因素,

游离氨基酸质量分数也是判断黄瓜是否抗虫的重要因子;无论施用哪种肥料,总酚和类黄酮都没有表现出抗虫作用。

参考文献:

- [1] 韩运发. 中国经济昆虫志. 第五十五册, 缨翅目 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] CANNON R J C, MATTHEWS L, COLLINS D W. A Review of the Pest Status and Control Options for *Thrips palmi* [J]. Crop Protection, 2007, 26(8): 1089-1098.
- [3] 孙士卿, 邓裕亮, 李惠, 等. 棕榈蓟马研究综述 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12538-12541, 12587.
- [4] HONG J, LEE G S, PARK J J, et al. Risk Map for the Range Expansion of *Thrips palmi* in Korea under Climate Change: Combining Species Distribution Models with Land-Use Change [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2019, 22(3): 666-674.
- [5] SAURAV G K, DAIMEI G, RANA V S, et al. Detection and Localization of Wolbachia in *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Indian Journal of Microbiology, 2016, 56(2): 167-171.
- [6] 葛均筑, 李淑娅, 钟新月, 等. 施氮量与地膜覆盖对长江中游春玉米产量性能及氮肥利用效率的影响 [J]. 作物学报, 2014, 40(6): 1081-1092.
- [7] 李亚姝, 曾文芳, 胡桂馨, 等. 钾元素对苜蓿碳水化合物化合物的分配及抗蓟马的影响 [J]. 草地学报, 2020, 28(6): 1580-1587.
- [8] 卢明艳, 宋锋惠, 史彦江, 等. 氮磷钾配施对平欧杂交种榛果实发育时期光合特性和产量的影响 [J]. 新疆农业科学, 2020, 57(8): 1457-1464.
- [9] KITCHEN N R, BUCHHOLZ D D, NELSON C J. Potassium Fertilizer and Potato Leafhopper Effects on Alfalfa Growth [J]. Agronomy Journal, 1990, 82(6): 1069-1074.
- [10] DALE D. Plant-Mediated Effects of Soil Mineral Stresses on Insects [M]. New York: John Wiley & Sons, 1999, 35-100.
- [11] 张晓燕, 王森山, 李小龙, 等. 不同施钾量对苜蓿碳水化合物含量及抗蓟马的影响 [J]. 草业学报, 2016, 25(10): 153-162.
- [12] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.
- [13] 杨宁, 王伟明, 姚琳, 等. 3, 5-二硝基水杨酸法测定发酵型果露酒中总糖含量 [J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 181-184.
- [14] 陈庭木, 孙志广, 邢运高, 等. 水稻可消化蛋白质含量测定方法研究及资源筛选 [J]. 作物杂志, 2020(1): 61-66.
- [15] 韦芳三, 李纯厚, 戴明, 等. 索氏提取法测定海洋微藻粗脂肪含量及其优化方法的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 619-623.
- [16] 张永芳, 张琪, 王润梅, 等. 茚三酮呈色法测定谷子种子中的游离氨基酸含量 [J]. 种子, 2014, 33(1): 111-113, 126.
- [17] 杨静毅, 喻玲玲, 吴梅, 等. 银合欢果皮总黄酮含量测定及抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2015, 36(8): 187-190.
- [18] 李娟, 麻晓雪, 李顺祥, 等. 铁皮石斛中总酚的含量测定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(24): 60-62.
- [19] 吴碧球, 黄所生, 胡大星, 等. 苗龄、光照强度和施氮量对水稻营养物质的影响及其与抗褐飞虱的关系 [J]. 西南农业学报, 2017, 30(5): 1048-1056.
- [20] 胡桂馨, 彭然, 崔晓宁, 等. 施磷对苜蓿光合产物在根茎叶的分配及抗蓟马的影响 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(7): 969-978.
- [21] 雒珺瑜, 崔金杰, 王春义, 等. 棉花叶片蛋白质、可溶性糖和花青素含量及其与绿盲蝽抗性的关系 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(8): 75-80, 89.
- [22] 成卫宁, 仵均祥, 李修炼, 等. 美洲斑潜蝇寄主抗虫性与寄主叶片化学物质和物理结构的关系 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2006, 45(5): 71-75.
- [23] 王祎, 张月玲, 苏建伟, 等. 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性 [J]. 生态学报, 2014, 34(10): 2539-2547.

责任编辑 王新娟